

# VALORACIÓN DE LA HUELLA y SUSTENTABILIDAD HÍDRICA EN CULTIVOS DE VID EN CAFAYATE, SALTA.

Área de Consolidación: Gestión Ambiental y Producción Sostenible



**Autor:**

**Tiberi, Joaquín Gabriel**

**Tutores:**

**Dr. (Ing. Agr. MSc) Bracamonte, Enzo**  
**Lic. (Ing. Agr.) Angulo, Eduardo**



## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis tutores, el Dr. (Ing. Agr. Msc.) Bracamonte Enzo y el Lic. (Ing. Agr.) Angulo Eduardo, por abrirme las puertas con gran entusiasmo y colaborar en cada detalle de este trabajo. Su predisposición y apoyo fueron fundamentales en todo el proceso.

Agradezco a la bodega El Porvenir de Cafayate por brindar generosamente sus recursos, información y personal. Especialmente, mi agradecimiento al Ing. Agr. Daniel Guillen e Ing. Agr. Jonathan Vega por su dedicación.

No puedo dejar de mencionar al Ing. Agr. Jorge Romero, quien con su tiempo, vocación y valiosos aportes en información enriqueció aún más este trabajo.

También, quiero expresar mi gratitud a los docentes del Área de Consolidación de Gestión Ambiental y Producción Sostenible, por transmitir sus conocimientos a lo largo del cursado.

Agradezco a la Facultad de Ciencias Agropecuarias por brindarme esta gran oportunidad en mi vida.

Un agradecimiento especial a mis compañeros, colegas y grandes amigos que conocí en esta casa de estudios.

Por último, mi más profundo agradecimiento a mi familia, fuente inagotable de inspiración y motivación. Su apoyo incondicional y fe en mí me impulsaron en todo momento.

## RESUMEN

Actualmente el sector productivo agrícola se apropia del 70% del 1% del agua dulce disponible en el planeta. Argentina es uno de los principales productores agrícolas del mundo, desatancándose el cultivo de vid como el principal cultivo frutal de Argentina. Dentro de ella, Salta constituye la cuarta provincia productora de vino del país. Por lo citado, los objetivos de este trabajo fueron: evaluar la sustentabilidad hídrica por el consumo de agua durante el ciclo productivo de la vid en Cafayate, Salta. Como objetivos Específicos se propusieron a) Cuantificar la huella hídrica verde, azul y gris en tres variedades de vid para vinificación en Cafayate, Salta; b) Evaluar las huellas hídricas obtenidas en relación con la EUA en cultivos con diferentes sistemas de riego en Cafayate; c) Evaluar la sustentabilidad social y ambiental de las huellas hídricas obtenidas y d) Establecer estrategias y recomendaciones para mejorar y fortalecer la sustentabilidad hídrica de los sistemas productivos vitivinícolas de Cafayate como herramienta para un proceso de evaluación continua. Los resultados obtenidos mostraron que las huellas hídricas totales obtenidas en Cafayate en Torrontés son superiores a valores nacionales, aunque sin diferencias significativas, y menores a valores internacionales, siendo superiores en el caso de Malbec y C. Sauvignon a los valores nacionales e internacionales. La HHv de Malbec y C. Sauvignon en Cafayate son similares a las obtenidas en producciones de Mendoza y menor a valores medios internacionales. En la HHg el volumen de agua necesario para asimilar la carga de contaminantes es de 513 m<sup>3</sup>/ha, por, estos valores se ubicarían dentro de los estándares de calidad para agua de consumo. Para cubrir las necesidades de la HHa con riegos con 35% y 60% de EUA se precisan riegos anuales de 15.100 y 13.900 m<sup>3</sup>/ha o mayores, respectivamente. Para cubrir las necesidades de la HHa con riegos por goteo con 95% EUA se precisan riegos anuales iguales o superiores a 8.820 m<sup>3</sup>/ha. El riego por goteo precisa sólo el 7,8 % del total del agua extra que emplea el riego superficial por surco para alcanzar la máxima eficiencia en el uso del agua de riego. En un año hipotético sin precipitaciones, la oferta de agua de riego suministrada no cubre las necesidades totales de consumo del cultivo de la vid. La HHa promedio de las tres variedades representa un impacto sobre el recurso agua de riego de 83% sin considerar el método de riego empleado. El agua requerida para cubrir las HHt obtenidas posibilitarían el consumo de hasta 509 personas. Las pérdidas de agua por ineficiencia del riego por surco y por goteo posibilitan el consumo de hasta 2,41 y 1,2 personas, respectivamente. Los resultados obtenidos permiten establecer estrategias para mejorar y fortalecer la sustentabilidad hídrica del sistema productivo vitivinícola de Cafayate, priorizando establecer mayor investigación y transferencia sobre el uso prioritario y eficiente del agua.

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	1
RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN .....	4
Objetivo General: .....	7
Objetivos Específicos:.....	7
MATERIALES Y MÉTODOS .....	8
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
CONCLUSIONES .....	16
CONSIDERACIONES FINALES .....	17
BIBLIOGRAFÍA.....	18
ANEXO.....	20

## INTRODUCCIÓN

La superficie de la Tierra está cubierta en un 71% por agua, en ella, alrededor del 97% es salada y se encuentra principalmente en los océanos y mares. Del 3% restante que corresponde al agua dulce, 2% corresponde a los casquetes polares, aguas subterráneas y la capa del suelo permanentemente congelada de las regiones polares y solo el 1% se encuentra disponible en estado líquido en la superficie (Sabljic, 2012).

Considerando que la OMS (2023) indica que el acceso universal al agua dulce debe priorizar los servicios básicos de consumo, saneamiento e higiene el consumo de agua dulce sigue en aumento por el sector industrial, doméstico y agropecuario, siendo este sector el responsable de hasta el 70% de la demanda mundial.

La problemática actual del agua no recae en su existencia sino en su disponibilidad y la eficiencia en su uso (EUA), dependiendo del método de riego utilizado. En la actualidad existen dos sistemas de riego con sus diferentes eficiencias, superficial (melgas 30-85% y surcos 30-75%), y presurizado (aspersión 40-85% y goteo 50-95%) (Temístocles, 2001). El uso y manejo de los mismos podría influir en el uso eficiente y racional del agua utilizada.

En las regiones agrícolas, la principal fuente de agua empleada para los cultivos proviene de las precipitaciones, pero en zonas cuya ocurrencia es muy escasa, se complementa con el uso de agua superficial y subterránea para riego y otras actividades.

Argentina es uno de los principales productores agrícolas del mundo, destacándose en la producción de cultivos extensivos como así también en intensivos. Dentro de este último sistema productivo, la vid se constituye en el principal cultivo frutal de Argentina, con un total de 185.251 ha de superficie implantada, 14.156 establecimientos agropecuarios (EAP) y 19.392 parcelas de producción (INDEC, 2019).

Este cultivo se destaca por ser una de las principales agroindustrias en las economías regionales del oeste argentino (Figura 1).



Figura 1. Regiones vitivinícolas de Argentina, 2020.

La superficie de vid de la República Argentina alcanza las 207.047 ha. Dentro de ella, Salta se constituye como la cuarta provincia productora de vino del país, con una superficie total de 3.641 ha (INV, 2023).

En esta provincia, el 86% de los viñedos se encuentran en el rango de superficie hasta 5 ha con sistemas de conducción en parral (68%) y espaldera alta (21%) (INV, 2018).

Las variedades predominantes en la región son el Torrontés riojano, Malbec y Cabernet Sauvignon, con rendimientos promedios de 16,3, 9,2 y 5,4 t/ha, respectivamente (INV, 2023).

El Valle de Cafayate, ubicado al sudoeste de la provincia de Salta, es considerada el centro de vitivinicultura del Norte, concentrando el 75% de los viñedos de Salta y se destaca por la excelente calidad y gran carácter varietal de sus vinos (Tabla 1).

**Tabla 1.** Superficie (ha) cultivada de vid en el año 2022 por departamento, Salta.

<b>Departamento</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Participación (%)</b>
CAFAYATE	2733,0	75,1%
SAN CARLOS	659,1	18,1%
MOLINOS	136,2	3,7%
CACHI	100,0	2,7%
LA VIÑA	9,7	0,3%
CHICOANA	3,0	0,1%
<b>Total</b>	<b>3.640,9</b>	<b>100%</b>

Fuente: Instituto Nacional de Vitivinicultura – 2023.

El clima de los Valles Calchaqués es templado con veranos largos, una marcada amplitud térmica y una extraordinaria diafanidad atmosférica. Ocasionalmente tienen lugar las heladas tardías en primavera, el periodo libre de heladas es amplio, abarcando desde el mes de octubre hasta abril. Son frecuentes las granizadas localizadas durante las tormentas de verano (INV, 2018).

La temporada de lluvias en Cafayate dura 7 meses aproximadamente, desde mediados de primavera hasta principios de otoño, registrándose las más abundantes entre los meses de diciembre a marzo. La precipitación media de la última década ronda en los 211 mm anuales, lo que hace que el recurso hídrico sea escaso y requiera un uso más eficiente teniendo en cuenta que la ciudad de Cafayate ha experimentado en los últimos años un crecimiento demográfico significativo, de 14.850 habitantes (INDEC, 2010) a 17.992 habitantes (INDEC, 2022) sumado a la gran ocupación hotelera durante la mayor parte del año, genera una fuerte competencia por el uso de agua.

Los suelos son generalmente franco arenosos o arenosos con elevada proporción de arena fina. El agua de irrigación proviene principalmente de los ríos Calchaquí, Santa María y de numerosos cursos de agua afluentes de esos colectores. También se capta agua del subsuelo mediante perforaciones (INV, 2018).

El sistema de riego de Cafayate pertenece a la sub-cuenca Este del río Santa María y se abastece de los ríos afluentes Chuscha, Alisal y Colorado, a través de tres tomas tipo parrilla situadas una en cada uno de estos ríos (Morandi, 2014).

Actualmente del total de área bajo riego de la provincia de Salta (117.031 ha), el 47,87% corresponde a riego gravitacional (56.023 ha), el 21,32% (24.959 ha) a riego presurizado (goteo, aspersión, micro aspersión, otros), donde el riego por goteo representa el 74,3%, y el 30,8% de la superficie bajo riego (36.048,2 ha) se encuentra sin discriminar entre tipos (INDEC, 2019).

Dentro del sistema más utilizado, la eficiencia de aplicación del riego gravitacional por surco (o por melgas) puede ser tan baja, incluso llegar a ser menor del 40%.

El riego por goteo es el sistema más eficiente de aplicación, siendo el más adecuado en lugares con vientos fuertes ya que al mojar solo una parte del suelo y formarse un bulbo debajo del gotero se reduce la evaporación desde el suelo (Demin, 2014).

Aunque en la industria del vino los impactos ambientales se asocian al proceso de fabricación por el uso de electricidad, el envasado y el transporte, los más importantes aportes se verifican en la etapa agrícola de producción de la materia prima: la uva (Civit *et al.*, 2012). Por tal motivo, en la industria vitivinícola, se ha instalado la necesidad de contar con indicadores de sostenibilidad como la huella de carbono (HC), emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y evaluación de la huella hídrica (HH) correspondiente al consumo de agua por el cultivo a lo largo del ciclo de vida del producto.

La huella hídrica se define como el volumen total de agua consumida y/o contaminada por unidad de tiempo que se emplea para producir un bien o servicio. Es un indicador multidimensional, que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuentes y volúmenes de contaminación por cada tipo de contaminación, y cuyos componentes de Huella Hídrica total pueden ser especificados geográfica y temporalmente (Hoekstra *et al.*, 2011)

Se diferencian tres tipos de huellas: azul, verde y gris. La huella hídrica azul se refiere al consumo de los recursos de agua superficial y subterránea a lo largo del ciclo de vida del producto o actividad. La huella hídrica verde representa el consumo de agua de lluvia en la medida en que no se convierta en escorrentía. Por último, la huella hídrica gris se define como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de un contaminante dado y llevarlo a concentraciones admitidas en las normas de calidad del sitio donde se realiza el estudio (Civit *et al.*, 2012).

Estas definiciones constituyen las bases para iniciativas como la Water Footprint Network (Hoekstra, Water Footprint Network, 2020) o la ISO 14046 (ISO, 2020), que trabajan para comunicar la relevancia de la huella hídrica y obtener información e indicadores sobre el consumo real del agua y el uso que se hace de ella con el fin de medir el impacto humano en los recursos hídricos del planeta (Aquaefundación, 2020).

Actualmente entre las diferentes metodologías que pueden ser utilizadas para la estimación de huella hídrica, se destaca la propuesta por Hoekstra *et al.* (2020) en el estándar global para la "Evaluación de la huella hídrica", de la Water Footprint Network (2020). Esta red muestra cómo calcular las huellas hídricas para procesos individuales y productos, además incluye métodos para la evaluación de la sostenibilidad del agua y una gama de opciones de respuesta de las huellas obtenidas.

El uso de estos indicadores permite conocer los puntos críticos para reducir los impactos, permitiendo maximizar el uso eficiente y racional del agua utilizada (Temístocles, 2001) y posicionar de un modo altamente competitivo el producto (Civit *et al.*, 2012).

Por lo anteriormente citado, los objetivos de este trabajo fueron:

**Objetivo General:** Evaluar la sustentabilidad hídrica por el consumo de agua durante el ciclo productivo de la vid en Cafayate, Salta.

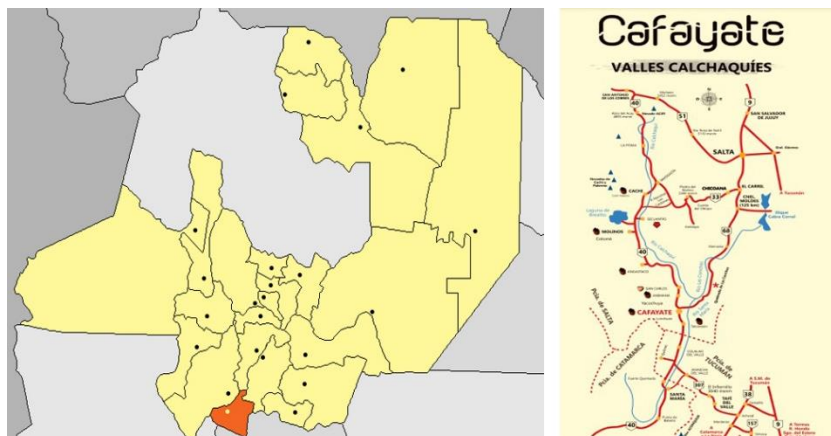
**Objetivos Específicos:**

- a) Cuantificar la huella hídrica verde, azul y gris en tres variedades de vid para vinificación en Cafayate, Salta.
- b) Evaluar las huellas hídricas obtenidas en relación con la EUA en cultivos con diferentes sistemas de riego en Cafayate.
- c) Evaluar la sustentabilidad social y ambiental de las huellas hídricas obtenidas.
- d) Establecer estrategias y recomendaciones para mejorar y fortalecer la sustentabilidad hídrica de los sistemas productivos vitivinícolas de Cafayate como herramienta para un proceso de evaluación continua.



## MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en cultivos de vid (*Vitis vinifera* L.) de Cafayate (26°04'10''S – 65°58'34''O), Salta (Figura 2).

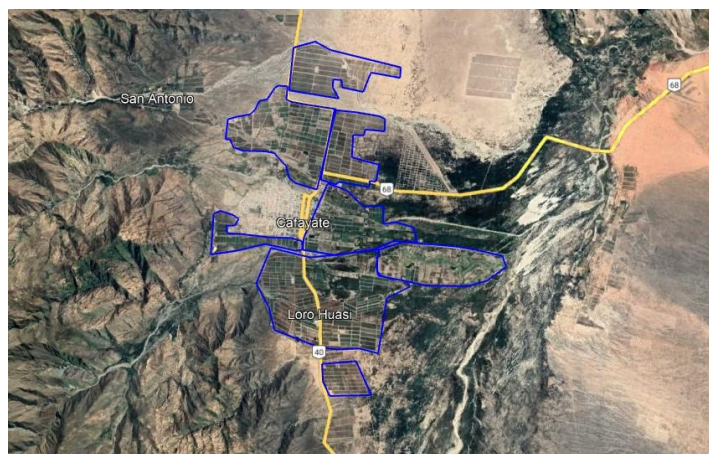


**Figura 2.** Ciudad y región vitivinícola de Cafayate.

Las variedades objeto de estudio fueron Malbec (1.307,6 ha), Torrontés (555,9 ha) y Cabernet Sauvignon (401,7 ha), por ser las más representativas de la zona (INV, 2022).

Para el cálculo del consumo de agua del cultivo se consideró el periodo desde brotación a cosecha (septiembre a marzo).

Para evaluar la EUA, considerando el sistema actual de distribución de agua para uso agropecuario en la región (Figura 3), se consideraron dos métodos de riego diferentes: riego presurizado por goteo y riego por gravedad (manto o surco), con valores de EUA de 95% y 35-60%, respectivamente.

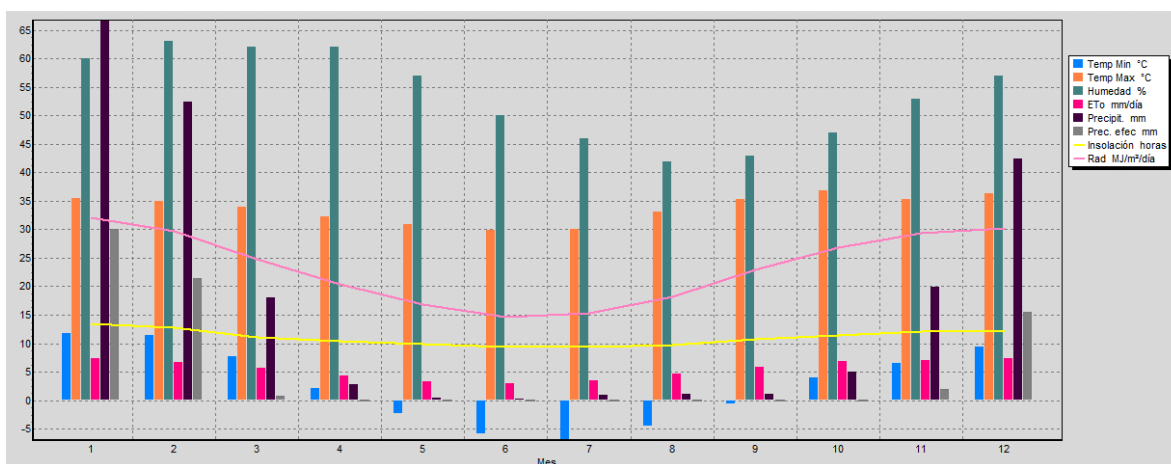


**Figura 3.** Sistema de distribución del agua para uso agropecuario en Cafayate, 2014.

Se colectó información actual e histórica de los sistemas productivos provistas por el INV (2023), INDEC (2020) y técnicos de las empresas encuestadas.

Los rendimientos promedio de las fincas seleccionadas fueron 8,41 t/ha para Malbec, 21,9 t/ha para Torrontés y 4,95 t/ha para Cabernet Sauvignon.

Los datos climáticos utilizados corresponden al promedio de los últimos 10 años de registros en los sistemas productivos y la estación meteorológica automatizada de la empresa Pernod Ricard cuya gestión y estadísticas están a cargo del INTA Salta (Figura 4).



**Figura 4.** Condiciones meteorológicas promedio de los últimos 10 años en Cafayate, Salta.

Los suelos de la región son generalmente franco arenosos o arenosos con elevada proporción de arena fina. El perfil edáfico es profundo, con subsuelo algo pedregoso que asegura una excelente permeabilidad y la lixiviación de sales (INV, 2018).

Para el cálculo de las huellas hídricas se consideró el consumo de agua del cultivo considerando el periodo productivo desde brotación a cosecha (septiembre a marzo).

Los valores de las Huellas Hídricas azul, verde y total se obtuvieron de manera indirecta mediante el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo utilizando el modelo CROPWAT 8.0 y siguiendo las metodologías propuestas por Hoekstra *et al.* (2011) en el Water Footprint Assessment (WFA) Manual y por Civit *et al.* (2012).

El modelo considera como valores de entrada tipo de suelo, incluyendo humedad de suelo disponible (CC-CMP), tasa máxima de infiltración de la precipitación (lámina de infiltración en un periodo de 24 horas), profundidad radicular máxima, agotamiento inicial de humedad del suelo y humedad de suelo inicialmente disponible.

Considera también datos meteorológicos de precipitación media, temperatura mínima y máxima, humedad, viento e insolución, de la zona. El valor de la precipitación efectiva fue calculado para esta región agroecológica específica.

Los datos necesarios del cultivo incluyen producción media de cada variedad, fechas de siembra y cosecha, los coeficientes de cultivo (Kc): la capacidad de la planta para extraer agua del suelo a medida que se va desarrollando desde que se siembra hasta su cosecha (kc inicial, kc medio y kc

final), etapas de crecimiento del cultivo, número de días de las mismas, la profundidad de las raíces de cada planta, la fracción de agotamiento crítico, el factor de rendimiento y la altura que alcanza el cultivo. Los valores de Kc para los distintos estadios de la vid se obtuvieron de bibliografía especializada.

El modelo permite conocer el valor de evapotranspiración del cultivo y la radiación para cada mes. La evapotranspiración de referencia es calculada por el programa siguiendo el método de ET<sub>0</sub> Penman–Monteith.

El cálculo de la HHv, se realizó mediante el cociente entre el agua utilizada por el cultivo proveniente de precipitación efectiva y el rendimiento del cultivo, (Hoekstra, 2010).

$$HHv = \frac{Pef}{Y} \left[ \frac{m^3}{t} \right]$$

La Pef es la precipitación efectiva expresada en m<sup>3</sup> e Y es el rendimiento del cultivo expresado en t/m<sup>2</sup>.

Para el cálculo de la HHa se consideró el cociente entre el agua aprovechada por el cultivo proveniente de riego [CW riego (m)] y el rendimiento del cultivo (t/m<sup>2</sup>), (Hoekstra, 2010).

$$HHa = \frac{CW \text{ riego}}{Y} \left[ \frac{m}{\frac{t}{m^2}} \right]$$

Donde CW riego es la cantidad de agua que debe ser suministrada a la planta para compensar las pérdidas provocadas por la evapotranspiración.

En el cálculo de la HHg se consideró el volumen de agua necesario para diluir los contaminantes que llegan al cuerpo de agua. Esta componente se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$HHg = \frac{\alpha \times AR}{\frac{Cmax - Cnat}{Y}} \left[ \frac{m^3}{t} \right]$$

Donde  $\alpha$  es la fracción de lixiviación, AR la cantidad aplicada de agroquímicos por hectárea, Cmax y Cnat las concentraciones máximas permisibles y natural respectivamente e Y el rendimiento del cultivo (t/m<sup>2</sup>).

Para este análisis se determinó probable contaminación difusa nitrogenada considerando los fertilizantes de suelo y foliares más utilizados en la región.

Se consideró como fracción de lixiviación un valor de 10% del total de fertilizante nitrogenado utilizado, una concentración máxima admitida de 10 mg/L de nitrógeno en el agua (EPA, 2005; Hoekstra *et al*, 2010), lo que es equivalente a 45 mg NO<sub>3</sub>/L, valor que coincide con el límite máximo permitido en agua para consumo (Código Alimentario Argentino, 2022) y como rendimiento se consideró el máximo de cada variedad.

Los valores de huellas hídricas y de EUA obtenidos a nivel parcelario con diferentes manejos del agua de riego se correlacionaron entre sí y con valores a nivel nacional e internacional.

La evaluación de la presión ambiental de las huellas hídricas obtenidas se realizó en relación a la oferta hídrica de riego anual a nivel de parcela.

El sistema de riego Cafayate está comprendido en el Tipo 1, que corresponde a sistemas públicos de aguas superficiales abastecidos desde el río Santa María y de sus distintos afluentes, administrados por la entidad provincial de riego en forma conjunta con los consorcios de regantes (Morandi, 2014).

Se consideró la oferta hídrica del Consorcio Chuscha-Lorohuasi que cuenta con 364 usuarios y 2.138 ha empadronadas. El caudal global del sistema es de ~1.000 l/s, con un caudal promedio por ha de 0,50 l/s, distribuido en: 65% de la superficie cultivada utiliza el riego superficial (por surcos y melgas) y 35% utiliza riego presurizado por goteo.

Para este cálculo de consumo de agua, se consideró un turno de riego mensual desde brotación a cosecha, con una duración de 64 horas y un caudal de 129,6 m<sup>3</sup>/h. En este cálculo se utilizó una reducción o pérdida conservadora de 15% del agua de riego debido a pérdidas dentro de los lotes de la propiedad.

Para calcular el **grado de presión o sustentabilidad del indicador HHt** obtenido se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{IPHHt (\%)}: \text{CHHt} / \text{OA}$$

Donde IPHHt = Índice de presión de la HHt (%)

CHHt: consumo de la HHt (m<sup>3</sup>) OA: oferta de agua de riego (m<sup>3</sup>)

Se calculó el grado de presión de la HHa ejerce sobre la oferta de agua de la fuente de riego:

$$\text{IPHHa (\%)}: \text{C HHt} / \text{OAa}$$

Donde IPHHa = Índice de presión de la HHa (%)

CHHt: consumo de la HHa (m<sup>3</sup>)

OAA: oferta de agua de riego (m<sup>3</sup>)

**Indicador de presión de la HHt en relación al agua de consumo y para necesidades varias** (cocinar, higiene personal, limpieza del hogar y otros).

Para ello, se consideró el número de personas que podrían abastecerse con la cantidad de agua que es empleada en el cultivo de vid durante el periodo productivo. La cantidad adecuada mínima sugerida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) es de 50 l/hab/día para satisfacer sus necesidades básicas y 100 litros para atender todas las necesidades de manera óptima (Huaquisto Cáceres, 2019).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo utilizado permitió conocer la variación de la  $ET_0$  durante el ciclo productivo de la vid, mostrando los meses de noviembre, diciembre y enero como los de mayor radiación y  $ET_0$  (7.09, 7.31 y 7.35 mm/día, respectivamente) y junio como el de menor demanda de  $ET_0$  (2.92 mm/día) (Anexo A).

Los resultados mostraron que el agua utilizada por el cultivo proveniente de precipitación es significativamente baja, con un valor de 69,8 mm/año, evidenciando pérdida por escorrentía superficial y/o percolación profunda (Anexo B).

Considerando las huellas hídricas promedio de las tres especies en la región, los resultados mostraron valores altos de la HHa en relación a HHv y la HHg, evidenciando alta dependencia del aporte de agua azul o de riego (Tabla 2, 3 y 4).

Los resultados también mostraron que las HHt obtenidas dependen de las variedades y de su rendimiento (Tabla 2, 3 y 4), evidenciando que las variedades Malbec y C.Sauvignon son superiores a los obtenidos por Civit *et al* (2012) y Morabito *et al* (2012) y a la media mundial de 869 m<sup>3</sup>/t, reportado por Mekonnen and Hoekstra (2011) en uva para vinificar y espumantes.

La variedad Torrontés mostró mayor eficiencia en el uso del agua y menores valores de HHv y HHa, aunque sin diferencias significativas con Malbec, mostrando además valores similares a reportes nacionales y menor a la media mundial reportado por Mekonnen and Hoekstra (2011).

**Tabla 2.** Cálculo de Huella Hídrica verde en las variedades Malbec, Torrontés y C. Sauvignon, en Cafayate, Salta. 2022.

VARIEDAD	Precipitación Efectiva (m)	Rendimiento (t/m <sup>2</sup> )	HHv (m <sup>3</sup> /t)
MALBEC	0,0698	0,0008496	83,13
TORRONTÉS	0,0698	0,0021879	31,90
C. SAUVIGNON	0,0698	0,0004955	140,86
<b>PROMEDIO</b>			<b>85,29</b>

**Tabla 3.** Cálculo de Huella Hídrica azul en las variedades Malbec, Torrontes y C. Sauvignon, en Cafayate, Salta. 2022.

VARIEDAD	Requerimiento de Riego (m)	Rendimiento (t/m <sup>2</sup> )	HHa (m <sup>3</sup> /t)
MALBEC	0,9657	0,0008496	<b>1.199,61</b>
TORRONTÉS	1,35	0,002187	<b>617,28</b>
C. SAUVIGNON	0,5814	0,0004955	<b>1.173,36</b>
<b>PROMEDIO</b>			<b>996,75</b>

**Tabla 4.** Cálculo de Huella Hídrica total en las variedades Malbec, Torrontes y C. Sauvignon, en Cafayate, Salta. 2022.

<b>VARIEDAD</b>	<b>HHt (m<sup>3</sup>/t)</b>
<b>MALBEC</b>	<b>1.282,74</b>
<b>TORRONTÉS</b>	<b>649,18</b>
<b>C. SAUVIGNON</b>	<b>1.314,22</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.082,05</b>

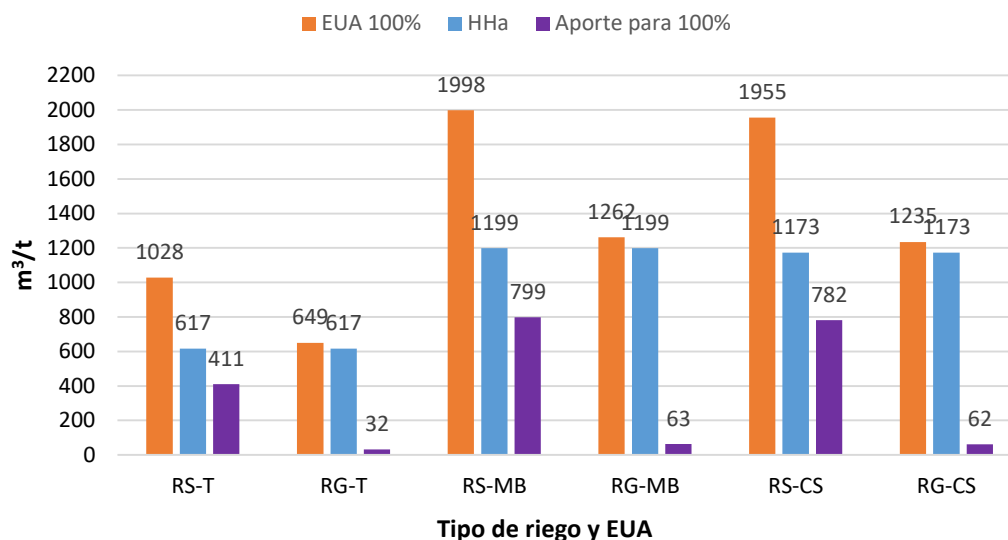
El cálculo de la HHg mostró un input promedio para las tres variedades de **36 kg/ha de nitrógeno**. La HHg promedio de las tres variedades fue de **42,4 m<sup>3</sup>/t** para alcanzar el valor de concentración máximo para agua de consumo (10mg N /L). Para alcanzar el valor máximo permitido a nivel de parcela, el volumen de agua necesario para asimilar la carga de contaminantes de 513 m<sup>3</sup>/ha.

Considerando por variedad y para la concentración máxima permitida, las HHg (m<sup>3</sup>/t) fueron para Malbec 38,25, para Torrontes 16,43 y para C. Sauvignon 72,7. Estos resultados evidenciaron un mayor aporte de la HHg o de carga de conaminantes en la variedad C. Sauvignon (Tabla 5).

**Tabla 5.** Participación (%) de las huellas hídricas en las variedades Malbec, Torrontes y C. Sauvignon, en Cafayate, Salta. 2022.

<b>VARIEDAD</b>	<b>HHv (%)</b>	<b>HHa (%)</b>	<b>HHg (%)</b>	<b>HHt (%)</b>
<b>MALBEC</b>	6,48	90,53	2,99	<b>100</b>
<b>TORRONTES</b>	4,91	92,55	2,54	<b>100</b>
<b>C. SAUVIGNON</b>	10,71	83,75	5,54	<b>100</b>
<b>PROMEDIO</b>	7,36	88,94	3,69	<b>100</b>

Para poder cubrir las exigencias de las HHa obtenidas con el uso de riegos por gravedad (35 y 60% de eficiencia) se precisan un aporte 1.763 y 1.028 m<sup>3</sup>/t para Torrontés, 3.425 y 1.998 m<sup>3</sup>/t para Malbec y 3.352 y 1.955 m<sup>3</sup>/t para C. Sauvignon. Con el uso de riego por goteo, con una eficiencia de 95%, se precisa un aporte de solo 649, 1262 y 1.235 m<sup>3</sup>/t, respectivamente. Estos valores muestran que el riego por goteo precisa un aporte extra de sólo 32, 63 y 62 m<sup>3</sup>/t para alcanzar la máxima eficiencia y cubrir las necesidades de las HHa obtenidas. Estos valores representan solo el 2,82% y 7,8% del total del agua extra que emplea el riego superficial con 35% y 60 % de EUA para alcanzar la máxima eficiencia requerida, respectivamente (Figura 5).



**Figura 5.** EUA de los sistemas de riego por gravedad (60%) y por goteo (95%) en cultivos de vid en Cafayate, Salta.

El grado de presión de las HHt obtenidas en relación a la oferta hídrica de 7 turnos al año a nivel entrada al campo de 9.317 m<sup>3</sup> (sin considerar 15% pérdida promedio por acequias internas no conservadas) mostró un Índice de presión o sustentabilidad de 0,97. La presión real de la HHt sobre el recurso es mayor, pues para cubrir la HHt, considerando una eficiencia de riego de 60%, se necesita un 38% más de oferta hídrica de riego (Tabla 6).

**Tabla 6.** Presión de la HHt y la HHa sobre la oferta de riego anual.

Indicador	HHt (m <sup>3</sup> )	Oferta de riego (m <sup>3</sup> ) **	IPHH	Necesidad (EUA 60%)	Balance (%)
Presión HHt*	9.077	9.317	0,97	15.128	-38
Presión HHa*	8.379	9.317	0,89	13.965	-33

\*Huellas hídricas promedio de las 3 variedades.

\*\* Oferta total Consorcio considerando 7 turnos y no incluyendo pérdidas internas del campo ni aporte de lluvia (año hipotético seco).

Estos resultados muestran que, en un año sin precipitaciones (hipotético), sólo la oferta de agua suministrada por el consorcio, con el caudal y frecuencia de turnos evaluado, no cubre las necesidades reales de consumo del cultivo de la vid.

La presión de la HHa obtenida en relación a la oferta de riego ofrecida mostró un índice de presión teórico de 0,89, sin considerar las pérdidas internas por canales en mal estado. También aquí la presión de la HHa sobre el recurso es mayor, pues para cubrir esta necesidad y considerando una eficiencia de riego de 60%, se necesita un 33% más de oferta hídrica de riego (Tabla 6).

Considerando que la OMS (2023) indica la prioridad por el uso del agua dulce, el indicador de presión de la HHt sobre consumo humano, mostró que el número de personas que podrían abastecerse con la cantidad de agua demandada por HHt (promedio de las tres variedades: 9.300

m<sup>3</sup>/año) y considerando consumos personales de 0.05 y 0.1 m<sup>3</sup>/persona/día (50 y 100l/ persona/día) es de 509 y 254 personas, respectivamente.

Las pérdidas superficiales y subterráneas, considerando el promedio de las tres variedades y un rendimiento medio de 12.1 t/ha, en riego por surco es de 44 m<sup>3</sup>/ha. Estas pérdidas podrían abastecer el consumo de 2,41 y 1,2 personas, respectivamente.

Los resultados obtenidos permiten establecer estrategias para mejorar y fortalecer la sustentabilidad hídrica del sistema productivo vitivinícola de Cafayate. Entre ellos podemos mencionar, adoptar medidas de manejo integrado del cultivo de vid, fortalecer las buenas prácticas de manejo del cultivo para un rápido y vigoroso crecimiento y desarrollo, mayor investigación y transferencia sobre uso eficiente del agua y ecofisiología del cultivo, Además es importante efficientizar los tratamientos de plaguicidas y fertilizantes, adopción de técnicas avanzadas de recolección de las precipitaciones y en los sistemas de riego, implementación de técnicas de conservación y sistematización de suelos y agua, entre ellas, fomentar la adopción de tecnologías de riegos más eficientes, como la aspersión y localizadas en función de las necesidades del sistema suelo-cultivo.



## CONCLUSIONES

1. Las huellas hídricas totales obtenidas en Cafayate en Torrontés son superiores a valores nacionales, aunque sin diferencias significativas, e inferiores a los valores medios internacionales. En el caso de Malbec y C. Sauvignon, los valores obtenidos son superiores a los nacionales e internacionales.
2. La HHv de Malbec y C. Sauvignon en Cafayate son menores a valores internacionales y menores a las obtenidas en producciones de Mendoza, pero sin diferencias significativas.
3. En la HHg el volumen de agua necesario para asimilar la carga de contaminantes es de 513 m<sup>3</sup>/ha, por lo tanto, estos valores se ubicarían dentro de los estándares de calidad para agua de consumo.
4. Para cubrir las necesidades de la HHa con métodos de riego con 35% y 60% de EUA se precisan dotaciones anuales de 15.100 y 13.900 m<sup>3</sup>/ha o mayores, respectivamente.
5. Para cubrir las necesidades de la HHa con riegos por goteo con 95% EUA se precisan dotaciones anuales iguales o superiores a 8.820 m<sup>3</sup>/ha.
6. El riego por goteo precisa sólo el 7,8 % del total del agua extra que emplea el riego superficial por surco para alcanzar la máxima eficiencia en el uso del agua.
7. En un año hipotético sin precipitaciones, la oferta de agua de riego suministrada no cubre las necesidades totales de consumo del cultivo de la vid.
8. La HHa promedio de las tres variedades representa un impacto sobre el recurso agua de riego de 89% sin considerar el método de riego empleado.
9. El agua requerida para cubrir las HHt obtenidas posibilitarían el consumo anual de hasta 254 personas.
10. Las pérdidas de agua por ineficiencia del riego por surco y por goteo posibilitan el consumo anual de 2,4 y 1,2 personas, respectivamente.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

Actualmente, la evaluación de la huella hídrica no ha sido considerada a nivel regional como un indicador ambiental que refleje el uso del agua con fines productivos y permita su comparación con otros usos prioritarios, como el uso humano y ecológico.

El uso de estos indicadores permitiría utilizar el recurso agua de forma más eficiente, desde su captación hasta su aplicación en la parcela del cultivo. La implementación de tecnologías y prácticas sostenibles en la bodega, como la reutilización de aguas, el riego eficiente y la captación del agua de lluvia, contribuiría significativamente a la reducción del impacto hídrico.

Es fundamental capacitar al personal en prácticas de conservación del agua y en el uso adecuado de los recursos hídricos. Esto garantizará que todos los actores estén comprometidos y puedan contribuir activamente en la gestión responsable del agua.

La implementación de un sistema de monitoreo y medición periódica permitirá obtener datos precisos sobre el consumo de agua en las distintas fases del proceso productivo de la vid. Esto ayudará a identificar tendencias y patrones, permitiendo tomar decisiones informadas y establecer objetivos de reducción de la huella hídrica.

Finalmente, la valoración de la huella hídrica no solo tendrá un impacto positivo en el medio ambiente, sino también a nivel empresarial, contribuyendo a fortalecer la reputación y la competitividad de la bodega en mercados internacionales cada vez más conscientes y exigentes en términos de sostenibilidad ambiental. La implementación de prácticas de conservación del agua y la reducción de la huella hídrica permitirán a la bodega diferenciarse como una empresa comprometida con la protección del recurso hídrico y la gestión responsable de sus operaciones. Asimismo, al agregar valor al producto final mediante la comunicación de sus logros en sostenibilidad, la bodega y sus clientes podrán establecer relaciones comerciales más sólidas y duraderas.

La valoración de la huella hídrica, por lo tanto, se convierte en un pilar clave para el crecimiento sostenible y la proyección a largo plazo de la bodega en la industria vitivinícola.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aquae Fundación. (2020). Las tres huellas que debes conocer para conseguir un mundo mejor. <https://www.fundacionaquae.org/consejos-del-agua/las-tres-huellas-que-debes-conocer-paraconseguir-un-mundo-mejor/>
- Civit, B. M. (2012). Rev. Enoviticultura. *Quatrebcn Editorial Técnica Ed. ISSN: 2013- 609, 14, 1–9*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/95985>
- FAO. 2020. CROPWAT: a computer program for irrigation planning and management. Irrigation and Drainage. <http://www.fao.org/land-water/databases-andsoftware/cropwat/es/>
- Hoekstra, A. C. (2010). The Water Footprint Assessment Manual. Obtenido de Setting the Global Standard. Earthscan Ed. London Washington, DC.228pp.: <http://www.waterfootprint.org/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual.pdf>
- Hoekstra, A. (2020). Water\_Footprint\_Assessment\_Manual\_Spanish. *Setting the Global Standard*. [https://waterfootprint.org/media/downloads/Water\\_Footprint\\_Assessment\\_Manual\\_Spanish.pdf](https://waterfootprint.org/media/downloads/Water_Footprint_Assessment_Manual_Spanish.pdf)
- Huaquisto Cáceres, S., Chambilla Flores, I.G., 2019. Análisis del consumo de agua potable en el centro poblado de salcedo, puno. *Investigación & Desarrollo*, 19 (1), 133- 144. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2518-44312019000100010&lng=pt&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312019000100010&lng=pt&tlng=es)
- INDEC (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia-999-999-66-021-2010>
- INDEC (2022). Distribución de la población por departamento, partido o comuna. Total país. Año 2022. Obtenido de INDEC: [https://censo.gob.ar/index.php/mapa\\_poblacion2/](https://censo.gob.ar/index.php/mapa_poblacion2/)
- INDEC (2019). Censo Nacional Agropecuario. Resultados Preliminares. ISBN 978-950-896- 556-1. [https://www.indec.gov.ar/ftp/cuadros/publicaciones/cna2018\\_INDEC](https://www.indec.gov.ar/ftp/cuadros/publicaciones/cna2018_INDEC) (2022)
- INV (2018). REGIONES VITIVINÍCOLAS ARGENTINAS NOROESTE. Obtenido de Instituto Nacional de Vitivinicultura: <https://www.argentina.gob.ar/inv/vinos/estadisticas/regiones-vitivinicolas>
- INV (2023).INFORME ANUAL DE SUPERFICIE 2022. Obtenido de Instituto Nacional de Vitivinicultura: <https://www.argentina.gob.ar/inv/vinos/estadisticas/superficie/anuarios>
- INV (2023). INFORME ANUAL DE COSECHA Y ELABORACIÓN 2022. Obtenido de Instituto Nacional de Vitivinicultura: <https://www.argentina.gob.ar/inv/estadisticas-vitivinicolas/cosecha/anuarios>
- ISO. (2020). Normas ISO. Obtenido de International Organization for Standardization: <https://www.normas-iso.com/>

- Demin, PE. 2014. Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones. - 1a. ed. - San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca. Ediciones INTA 349pp.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. 2011. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrol Earth Syst Sci* 15(5):1577–600.
- Morabito, J. 2012. La Huella Hídrica una aproximación a su conocimiento en vid. Comparación con la eficiencia de uso del agua según distintos métodos de riego en Mendoza.
- Morandi, J.L. 2014. CARACTERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO DE LOS VALLES CALCHAQUÍES. CARTA ACUERDO FAO – INTA.
- Sabljic, I. (2012). Agua, producción y consumo bajo la lupa. La huella hídrica. Obtenido de Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Argentina.: <http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Publicaciones/revistas/nota.php?id=499>
- Temístocles, M. R. (2001). *Manual de riego parcelario*. [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/reclnat/pdf/MR\\_cap3.PDF](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/reclnat/pdf/MR_cap3.PDF)
- WFN (Water Foodprint Network). 2020. <https://waterfootprint.org/en/about-us/>

## ANEXO

### Anexo A. Cálculo de Radiación y ET<sub>0</sub> en Cafayate, Salta.

ETo Penman-Monteith Mensual - C:\Users\Admiral\OneDrive\Documentos\Joaco\Gestión A...

País  Estación

Altitud  m. Latitud  °S Longitud  °W

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m <sup>2</sup> /día	ET <sub>0</sub> mm/día
Enero	11.8	35.5	60	164	13.5	32.1	7.35
Febrero	11.4	34.9	63	152	12.8	29.8	6.73
Marzo	7.8	33.9	62	148	11.1	24.8	5.66
Abril	2.2	32.3	62	116	10.5	20.5	4.33
Mayo	-2.4	31.0	57	105	10.0	16.8	3.36
Junio	-6.0	29.9	50	105	9.5	14.7	2.92
Julio	-7.0	30.1	46	143	9.5	15.4	3.49
Agosto	-4.6	33.1	42	170	9.7	18.2	4.65
Septiembre	-0.7	35.4	43	179	10.8	22.9	5.86
Octubre	4.0	36.9	47	183	11.5	26.8	6.87
Noviembre	6.6	35.4	53	180	12.1	29.4	7.09
Diciembre	9.4	36.4	57	177	12.2	30.2	7.31
Promedio	2.7	33.7	54	152	11.1	23.5	5.47

### Anexo B. Cálculo de la precipitación efectiva en Cafayate, Salta.

Precipitación mensual - C:\Users\Admiral\OneDrive\Documentos\Joaco\Gestión A...

Estación  Método Prec. Ef

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	66.8	30.1
Febrero	52.4	21.4
Marzo	18.1	0.9
Abril	2.9	0.0
Mayo	0.5	0.0
Junio	0.3	0.0
Julio	0.9	0.0
Agosto	1.1	0.0
Septiembre	1.1	0.0
Octubre	5.0	0.0
Noviembre	19.9	1.9
Diciembre	42.5	15.5
Total	211.5	69.8