



Junta de Andalucía

Consejería de Agricultura,
Pesca, Agua y Desarrollo Rural

Instituto Andaluz de Investigación
y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria
y de la Producción Ecológica

Recomendaciones para reducir el impacto de la sequía en aguacate

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. RECOMENDACIONES PARA EL AGUACATE EN CONDICIONES DE SEQUÍA	3
2.1. ESTRATEGIAS DE RIEGO	3
2.2. MANEJO DEL SUELO	10
2.3. REDUCCIÓN DE LA TRANSPIRACIÓN	11
2.4. UTILIZACIÓN DE FUENTES DE AGUA ALTERNATIVAS	12

1. INTRODUCCIÓN

El consumo del aguacate (*Persea americana*) en las últimas décadas se ha extendido a más de 60 países, duplicándose en EE.UU. en la última década y crece un 25% cada año en Europa.

Hoy en día el cultivo del aguacate es rentable y genera beneficios teniendo aún margen para el crecimiento en Europa y Asia. Prueba de su rentabilidad es que actualmente podemos encontrar plantaciones comerciales de aguacate prácticamente en cualquier país que cuente con clima tropical, subtropical o mediterráneo (Australia, Sudáfrica, Estados Unidos, Asia, Europa...). Aunque España como país productor de aguacate a nivel mundial ocupa el decimoquinto y el décimo séptimo lugar en cuanto a la superficie cultivada (15; 2%) y a la producción (17; 116.769 Tm, 1.5%) se refiere, es el primer país productor en Europa. Dentro de España existen un total de 14.524ha en producción, de las cuales el 80% pertenecen a Andalucía (mayoritariamente en Málaga), aunque su cultivo se está extendiendo en los últimos años a otras provincias andaluzas como Cádiz, Huelva y Sevilla, y a otras comunidades autónomas entre las que destaca Valencia.

España produce más del 80% de la producción total de aguacate de Europa, de la que en torno al 70% se destina a exportación. Los países europeos cada vez demandan más aguacates y su consumo ha aumentado exponencialmente en los últimos años. Actualmente España contribuye con el 9% a las importaciones de aguacate europea, siendo muy apreciados por el consumidor europeo por la excelente calidad organoléptica y nutricional de la fruta, ya que es recogida en su punto, y por la baja huella de carbono en comparación con otros países exportadores dada la cercanía al mercado. Esta oportunidad de mercado para el aguacate español ha implicado que el sector sea cada vez más importante para la economía andaluza. Esto ha conllevado su expansión y un fuerte aumento de la superficie cultivada en la costa tropical andaluza en los últimos años, con la consiguiente mayor demanda de agua en una zona deprimida en recursos hídricos.

De hecho, uno de los grandes problemas al que se enfrenta el sector actualmente es la creciente escasez de agua derivada de una mayor incertidumbre climática (precipitaciones y calores extremos) como consecuencia del impacto del cambio climático en la región (EEA 2016), que se ha ido agravando en los últimos años y ha acarreado grandes recortes de las dotaciones hídricas para el cultivo de los subtropicales (aguacate), estando muy por debajo de los requerimientos hídricos del cultivo en la zona ($7500-8000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Estas dotaciones han pasado en menos de cinco años de $5300 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ a $2000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, y en la situación de sequía extrema en la que estamos actualmente, se ha cortado cualquier suministro de agua para los cultivos de subtropicales de la costa andaluza comprometiendo, no sólo su productividad y rentabilidad, sino también su viabilidad y supervivencia si se prolonga en el tiempo.

El aguacate es originario de los bosques de Centroamérica con una alta pluviometría, en donde el agua no es un factor limitante y, por ello, su consumo de agua es considerable. Las necesidades de riego en el cultivo del aguacate dependen de la pluviometría de cada zona productora, pero la mayoría de las plantaciones comerciales requieren agua de riego

durante toda la campaña o parte de ella. En la zona de la Axarquía malagueña, un estudio reciente realizado por el IFAPA en una plantación adulta de 'Hass' sobre 'Topa-topa', ha puesto de manifiesto que dotaciones entre 7500-8000 m³ ha⁻¹ año⁻¹ son adecuadas para lograr la mayor producción del cultivo en esta zona, con una productividad del agua en torno a 3 Kg/m³ (342 L/kg de aguacate producido). No obstante, con dotaciones de un 20% por debajo (~6500 m³ ha⁻¹ año⁻¹) aún se obtienen buenas producciones y de calidad, disminuyendo la huella hídrica (337 L/kg de aguacate producido). La aplicación de riegos deficitarios con dotaciones ≤60% de las necesidades calculadas según la FAO (~5000 m³ ha⁻¹ año⁻¹) conlleva un estrés hídrico en primavera-verano con la consiguiente pérdida de producción (~29%) y también de la calidad de la fruta (calibres más pequeños). Dotaciones por debajo de 4000 m³ ha⁻¹ año⁻¹ implican pérdidas significativas de frutos y en algunos casos la muerte de los árboles. A la luz de estos datos, las plantaciones de aguacate de la costa subtropical andaluza están condenadas, a menos que se mitigue la situación que actualmente vivimos.

Ante la situación de sequía extrema que amenaza la sostenibilidad agroambiental y la viabilidad económica de un sector tan importante para la economía andaluza, es fundamental realizar un buen manejo de las dotaciones de agua reducidas, considerando tres escenarios de disponibilidad hídrica:

-Dotaciones >4000m³/ha

-Dotaciones entre 2000-4000m³/ha

-Dotaciones < 2000m³/ha

Asimismo, el uso de fuente alternativas como el uso de aguas regeneradas o aguas desalinizadas pueden aliviar la falta de agua procedente de fuentes convencionales.

En el presente documento se pretenden aportar soluciones o recomendaciones para poder ahorrar agua y realizar una gestión más eficiente de la misma en el cultivo del aguacate en los escenarios de dotación hídrica contemplados.

2. RECOMENDACIONES PARA EL AGUACATE EN CONDICIONES DE SEQUÍA

2.1. ESTRATEGIAS DE RIEGO

Para poder realizar un buen manejo del agua y aplicar estrategias de riego eficientes es fundamental conocer los factores que influyen en el uso del agua de cultivo del aguacate. Al igual que en otros cultivos, la mayor parte del agua que consume el aguacate se destina a la transpiración. Esto implica la absorción de grandes cantidades de agua del suelo por las raíces que es transportada, gracias al gradiente de potencial hídrico, hacia las hojas donde se pierde, en mayor o menor medida según el déficit de presión de vapor del aire (VPD) (que condiciona el grado de apertura estomática), en forma de vapor de agua. En el aguacate la transpiración se produce durante el día, cuando los estomas están abiertos, si bien durante la noche se produce un flujo ascendente de agua movido por el gradiente de potencial hídrico entre el suelo y las células que se han deshidratado durante el día hasta

que éstas alcancen su máxima turgencia. Esta dinámica genera ciclos de deshidratación-rehidratación, que en el tronco se observan como contracciones (durante el día) y dilataciones (durante la noche) de los tejidos extensibles alrededor del xilema, pudiéndose extraer información sobre el estado hídrico de la planta según la amplitud de la contracción, y sobre la tasa de crecimiento del tronco.

Al igual que en otros cultivos, en el aguacate la transpiración o consumo de agua de los árboles varía a lo largo del ciclo del cultivo en función de: i) la variación en las condiciones climáticas en las distintas estaciones del año (evapotranspiración); ii) periodo fenológico; iii) estado de desarrollo de la plantación (edad de los árboles); y iv) la alternancia productiva (vecería). En el caso del aguacate los períodos en los que se produce una mayor demanda evaporativa (primavera y verano) coinciden con la floración y cuajado, que a su vez ocurre simultáneamente con el crecimiento vegetativo, compitiendo por los recursos de la planta y demandando mayor cantidad de agua y nutrientes. El consumo de agua de las plantaciones jóvenes es mucho menor que el de las plantaciones adultas por el menor tamaño de la copa y por la menor carga de frutos. Además, la transpiración varía en función de la alternancia productiva ya que el fruto del aguacate tiene una elevada densidad estomática y clorofilas en la piel fundamentalmente, que implica que es capaz de cubrir sus propios requerimientos de carbono, pero también implica una demanda hídrica importante. Por tanto, en los años con menos carga de frutos la demanda hídrica del cultivo disminuye, por lo que, ante la falta de agua, es posible reducir las dotaciones durante los años en *off* y con ello ahorrar agua.

Todos estos factores, determinan la variación de las necesidades de riego para el cultivo.

- **Cálculo de las necesidades de riego**

Para estimar las necesidades de riego (NR) en nuestra zona de cultivo, se puede utilizar el método estándar de la FAO56 basado en el balance hídrico en el que se consideran los aportes (riego, precipitaciones) y las salidas de agua (evapotranspiración) según la fórmula:

$$NR = ET_c - P_e \quad , \quad ET_c = ET_0 \times K_c$$

Siendo ET_c la evapotranspiración del cultivo (en mm o L/m^2), ET_0 la evapotranspiración potencial (en mm o L/m^2), y K_c el coeficiente de cultivo del aguacate ($K_c = 0.6$ durante el crecimiento vegetativo; $K_c = 0.8$ durante la floración y cuajado; $K_c = 0.75$ en la etapa del desarrollo del fruto) y P_e la precipitación efectiva.

La evapotranspiración contempla la suma de las pérdidas de agua debidas al consumo de agua por parte de la planta (transpiración) y las pérdidas por evaporación directa del suelo (evaporación). El cálculo de la evapotranspiración potencial de referencia (ET_0), se realiza según la ecuación de Penman-Monteith, que integra la variación ambiental durante el ciclo de cultivo. Estos datos de ET_0 se pueden obtener directamente a partir de la estación agroclimática más próxima a la explotación, consultando la red de estaciones del SIAR (<https://portal.mapa.gob.es/websiar/Inicio.aspx>) o la Red de Información Agroclimática de Andalucía (RIA) (<https://lajunta.es/47pmy>) incluida en la primera.

Si bien este método se puede usar como referencia, hay que considerar que las necesidades reales del cultivo pueden no coincidir exactamente con las estimaciones de la FAO debido a las particularidades de las condiciones de cultivo: edad y volumen de copa (porcentaje de sombreado), marco de la plantación, suelo, orientación, eficiencia del sistema de riego, etc. Asimismo, los patrones y variedades utilizados pueden diferir en la conductividad hidráulica de la planta (flujo de agua desde el suelo a la hoja) y su nivel de regulación de la pérdida de agua a nivel estomático, entre otros aspectos, modificando los Kc, aunque apenas existen estudios que consideren los mismos.

Con esta estimación, y realizando las correcciones correspondientes de acuerdo con las particularidades de nuestro cultivo, se pueden calcular las necesidades y el tiempo de riego en un periodo determinado. Todas las pautas y cálculos necesarios para estimar las necesidades de riego en un cultivo de aguacate se pueden encontrar en la plataforma SERVIFAPA (<https://lajunta.es/47pm8>). De esta manera se obtiene un criterio para saber qué cantidad de agua se debe aplicar teóricamente al cultivo en condiciones de no limitación hídrica.

Las dotaciones contempladas en los escenarios de escasez hídrica implican:

-**Dotaciones >4000m³/ha:** dotación de agua por debajo de las necesidades que compromete una producción rentable y de calidad.

-**Dotaciones entre 2000-4000m³/ha:** dotación de agua insuficiente para la producción.

-**Dotaciones <2000m³/ha:** dotación de agua insuficiente para el cultivo y estrés hídrico severo que compromete su supervivencia.

- **Riego deficitario en el aguacate**

En los escenarios de escasez de agua en que nos movemos, los cultivos de aguacate inevitablemente han de hacer frente al estrés hídrico pues a medida que el suelo se seca, el árbol debe usar más esfuerzo de succión para extraer el agua, lo que aumenta el estrés para la planta. En general el aguacate se ha descrito como una especie sensible al estrés hídrico. Así se ha visto que la falta de agua durante la floración, momento en el que se incrementa sustancialmente la superficie de evapotranspiración del árbol, puede disminuir el cuajado e incrementar la caída de frutos en los primeros estadios de desarrollo, mientras que, durante el desarrollo y crecimiento del fruto (verano-otoño), la falta de agua puede redundar en una pérdida de tamaño y calidad interna.

No obstante, las distintas variedades y patrones de aguacate pueden presentar diferentes necesidades y/o una tolerancia diferencial frente a estrés hídrico, que además pueden variar según la combinación patrón-variedad injertada. Apenas existen datos que permitan recomendar uno u otro patrón ante la falta de agua, si bien recientemente investigadores del IFAPA han visto que el portainjerto 'Dusa' tiene cierta habilidad para sobrellevar el estrés hídrico. Por ello la elección del patrón puede significar una mayor eficiencia en el uso del agua de la variedad, y representar una ventaja para sobrevivir y hacer frente a la escasez de agua a la que nos enfrentamos.

El uso de estrategias de riego deficitario (RD) se plantea como un método para gestionar

el riego de forma más eficiente y, con ello, ahorrar agua y mejorar su productividad (rendimiento por unidad de agua) intentando mitigar los efectos negativos del estrés hídrico sobre el cultivo. La estrategia de riego deficitario sostenido (RDS) implica un recorte proporcional sobre las necesidades de riego teóricas estimadas, mientras que la estrategia de riego deficitario controlado (RDC) consiste en reducir el agua en determinados periodos *a priori* menos sensibles, manteniendo una producción y calidad de fruto adecuadas. En el caso del aguacate, diversos estudios sugieren que el RDS es mejor que la estrategia de RDC, porque la primera permite que el árbol se adapte poco a poco a la falta de agua en lugar de sufrir cambios bruscos en la disponibilidad de agua. No obstante, no hay muchos estudios de RDC en aguacate y quizás sea posible manejar distintos niveles de estrés hídrico según el periodo fenológico, en proporción a las pautas de niveles de tensión del suelo recomendadas para el cultivo convencional.

De forma general, tratamientos de RDS con recortes del 40% (~3500-4000 m³/ha) sobre las necesidades de riego teóricas (NR_{FAO}) para el aguacate implican una pérdida sustancial de producción y calidad de los frutos en los años de carga, pero este efecto es menos acusado en los años de baja producción, por lo que, ante la falta de agua se plantea reducir las dotaciones durante estos años y con ello ahorrar agua como ya adelantábamos anteriormente. Además de los recortes que implica el RDS, hay que recordar que es importante optimizar la aplicación de los riegos deficitarios para que toda el agua que apliquemos esté disponible para la planta y se distribuya en la superficie (ver manejo del suelo más adelante).

Las recomendaciones de recortes de las NR en función de la dotación de agua recibida para la campaña son las siguientes:

-**Dotaciones >4000m³/ha:** Se recomienda realizar el cálculo de las necesidades de riego y aplicar RDS en proporción a la dotación disponible (p.e. 60% de la ETc) en los años de alta producción y realizar un mayor recorte si es necesario en los años de baja.

-**Dotaciones entre 2000-4000m³/ha:** Se recomienda realizar el cálculo de las necesidades de riego y aplicar RDS en proporción a la dotación disponible (p.e. 40% de la ETc) en los años de alta producción y realizar un mayor recorte en los años de baja.

-**Dotaciones <2000m³/ha:** Riegos de supervivencia. Se recomienda dar riegos semanales en los meses de mayor demanda evaporativa para evitar el colapso de los árboles y destinar la dotación a una parte de la explotación.

- **Programación del riego y manejo del agua en el suelo**

Conocido el volumen de agua que necesita el cultivo, la programación del riego, es decir la frecuencia y duración máxima de cada pulso de riego que se ajustará en función del tipo de suelo y de sus propiedades fisicoquímicas (composición, estructura y textura) teniendo en cuenta las características del sistema radicular del aguacate. No hay que olvidar que el objetivo del riego es mantener la humedad de la zona de influencia de las raíces dentro de unos niveles de agotamiento permisible (tolerables por la planta) evitando las pérdidas por exceso y el estrés hídrico por defecto.

Sistema radicular del aguacate

El aguacate posee un sistema radicular poco profundo (el 70% se localiza en los primeros 60 cm de suelo), con raíces finas, no suberizadas y prácticamente sin pelos radiculares con poca capacidad de absorción que se concentran en las capas superficiales por lo que hay que manejar el agua en los primeros 40cm del suelo. Además, el sistema radicular del aguacate es muy sensible a la falta de oxígeno (necesitan suelos con un contenido de oxígeno > 15%), y también al encharcamiento, que inhibe el desarrollo del sistema radicular, provoca asfixia y, finalmente, la muerte de las raíces. Además, los suelos encharcados promueven el crecimiento y dispersión de los patógenos causantes de las podredumbres radiculares, principal causa de pérdidas de rendimiento en las explotaciones comerciales. Por ello el manejo adecuado y eficiente del agua en el suelo es primordial para un buen desarrollo del cultivo.

En general, se suele recomendar su cultivo en suelos con una buena aireación y drenaje (con una macroporosidad en torno al 25%) con al menos un metro de profundidad (70 cm para el desarrollo del sistema radicular y 30 cm para el drenaje) y con un pH ligeramente ácido entre 5.5 y 6.5, sin llegar a exceder 7.5 en climas semiáridos. Asimismo, se recomiendan suelos con un buen contenido de materia orgánica que: i) mantiene la humedad en el suelo y protege a las raíces, estimulando su crecimiento; ii) favorece la presencia de una biota en el suelo que mejora la absorción de nutrientes (micorrizas, etc.) y dificulta la presencia de hongos patógenos; iii) conforme va transformándose y mineralizándose, mejora la textura en suelos muy arcillosos haciéndolos más permeables y aireados y iv) aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la formación de quelatos naturales de hierro, zinc, etc.

Manejo del agua en el suelo

Aunque el aguacate puede cultivarse en un amplio rango de suelos es necesario conocer sus propiedades fisicoquímicas, pues son las que determinan las propiedades hidráulicas del suelo y, por tanto, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas, siendo un factor determinante del crecimiento y productividad del cultivo.

La conductividad hidráulica del suelo, ligada a la textura, determina el tiempo en el que el agua permanece en el suelo y condiciona la distribución del agua emitida por un emisor en el perfil del suelo, es decir el bulbo húmedo.

De forma general se puede afirmar que:

- 1) cuanto mayor es el tamaño de las partículas del suelo más rápida es la infiltración y menor es el agua retenida por los suelos.
- 2) los suelos con buena estructura tienen mayor aireación y velocidad de infiltración que los compactados.
- 3) el mayor contenido en materia orgánica aumenta el agua retenida por el suelo.
- 4) a mayor espesor del suelo mayor capacidad de retener agua.

Esto es importante de cara a mantener un buen porcentaje de área mojada bajo el árbol

(en el aguacate se recomienda entre un 30 y un 50% del área sombreada por el árbol) y homogénea, pues las raíces del cultivo se desarrollan principalmente en el volumen de suelo humedecido bajo la misma. Se recomienda dotar a los árboles con el mismo número de goteros, misma distribución (distancia entre goteros) y del mismo tipo (caudal) en todo el entorno del árbol, para evitar afectar negativamente a la uniformidad del riego. En plantaciones jóvenes, los goteros que queden entre árboles se pueden tapar con tal de reducir el consumo de agua.

El caudal de los emisores y el tiempo de riego determinan el tamaño del bulbo húmedo tanto horizontalmente como verticalmente y la distancia entre los goteros. En suelos pesados los bulbos húmedos se extienden en la superficie mientras que en suelos arenosos los bulbos húmedos suelen ser alargados con poca superficie de mojado. En general, a mayor número de goteros, más superficie mojada y menos pérdidas por percolación. Por ello, en suelos ligeros con textura arenosa se recomienda aumentar el número de goteros y reducir su caudal (<2L/h) con tiempos de riego cortos y frecuentes, mientras que en suelos pesados con textura arcillosa se recomiendan goteros con un caudal medio-bajo (2-4L/h) y riegos de mayor duración (sin sobrepasar el volumen de agua disponible, VAD) y poco frecuentes. Se puede encontrar un ejemplo de cómo estimar el número de goteros por árbol en la plataforma SERVIFAPA (<https://lajunta.es/47pmf>). El manejo del área de mojado con riegos deficitarios puede marcar la diferencia entre la supervivencia y la muerte del árbol ante la escasez de agua.

Las recomendaciones para el manejo del área de mojado en función de las dotaciones contempladas son:

-**Dotaciones >4000m³/ha:** Distribuir el riego en superficie (primeros 30-40cm). En suelos ligeros utilizar cintas de riego de ultra bajo caudal (<1L/h) o goteros de bajo caudal (1-2L/h) y en suelos pesados manejar el riego con goteros de 2-4 L/h, aumentando su número por árbol en según el tipo de suelo.

-**Dotaciones entre 2000-4000m³/ha:** En suelos ligeros utilizar cintas de riego de ultra bajo caudal (<1L/h) o goteros de bajo caudal (1-2L/h) y en suelos pesados manejar el riego con goteros de 2-3 L/h aumentando su número por árbol.

-**Dotaciones <2000m³/ha:** Riegos de supervivencia. Distribuir el riego con cintas de riego de ultra bajo caudal (<1L/h) en suelos ligeros con tiempos de riego cortos y frecuentes, y en suelos pesados manejar el riego con goteros de 2 L/h con tiempos de riego más largos y menos frecuentes. En la medida de lo posible distribuir los riegos en varias veces por semana especialmente en primavera-verano o bien destinar la dotación a la mitad de la explotación y sacrificar la otra.

Niveles de agotamiento permisibles: sensores de humedad

De cara al riego, el suelo se puede interpretar como un contenedor o vaso de volumen dado del que la planta 'bebe'. Dependiendo del nivel de agua que tenga el vaso y de su máxima capacidad, habrá que reponer mediante riego una cantidad de agua determinada para su completo llenado tantas veces como sea necesario.

Para ello hay que establecer los niveles de agotamiento permisible (PAP) para la planta a una determinada profundidad (es decir, el nivel de desecación del suelo a partir del cual hay que **iniciar el riego**) y con ello determinar el volumen de agua fácilmente disponible (VAD) en cada tipo de suelo, que equivale al volumen máximo de agua que hay que reponer en cada evento de riego según el umbral de agotamiento preestablecido. Estos umbrales se pueden monitorizar mediante el uso de sensores de humedad de suelo, que hoy día suelen estar vinculados a sistemas de comunicación que permiten el acceso remoto a las mediciones y visualizar los datos en tiempo real desde una app. Asimismo, existen sistemas de control automático que activan o desactivan el riego en base a estos sensores realizando una gestión inteligente del mismo.

Los sensores más extendidos en las fincas de aguacate para la gestión del riego son los tensiómetros, aunque existen otro tipo de sensores que miden humedad volumétrica. Los tensiómetros miden la fuerza que hay que realizar para extraer el agua del suelo en kilopascales (kPa) o centibares (cbar) de presión de succión (1KPa=1cbar) y tienen la ventaja de que *a priori* sus lecturas son válidas para cualquier tipo de suelo. La ubicación de los sensores de humedad del suelo es muy importante. La mejor ubicación en riego por goteo es situarlos a una distancia media del diámetro del bulbo húmedo asegurándose de que hay desarrollo radicular en ese punto, y situarlos a dos o tres profundidades (15, 30 y 60cm).

En el riego del aguacate, los niveles de tensión que se utilizan para manejar el riego están entre -20 kPa y -35kPa en los primeros 30cm, pudiéndose manejar el riego en función de estos valores a 15 y 30 cm de profundidad, según el tipo de suelo (p.e. en suelos pesados a 15 cm y en suelos ligeros a 30cm). En la costa andaluza subtropical la pauta recomendada para manejar el riego en un cultivo convencional es:

- de Octubre a Febrero valores entre 30-35cbar a 15cm y entre 20-25cbar a 30cm.
- de Marzo a Mayo valores de 25cbar a 15cm y entre 18-20cbar a 30cm.
- de Junio a Septiembre valores de 20cbar a 15cm y de 15cbar a 30cm.

Las distintas combinaciones de patrones x variedades de aguacate pueden tener diferentes capacidades para extraer agua y pueden manejar diferentes niveles de estrés hídrico: estrés leve -20kPa, estrés moderado -40kPa y estrés alto -60kPa y más. La determinación de estos niveles es objeto de estudio para poder definir con mayor precisión el nivel de agotamiento permitido (PAP).

Las recomendaciones de niveles de PAP en función de las dotaciones contempladas son:

-**Dotaciones >4000m³/ha**: Ajustar la frecuencia y duración del riego en función del VAD a 15cm en suelos pesados y a 30 cm en suelos ligeros para un nivel de agotamiento de 30-40cbar en verano.

-**Dotaciones entre 2000-4000m³/ha**: Ajustar la frecuencia y duración del riego de acuerdo con el VAD a 30 cm para un nivel de agotamiento de 40-50cbar en verano.

-**Dotaciones <2000m³/ha**: Riegos de supervivencia. En la medida de lo posible distribuir

los riegos en varias veces por semana especialmente en primavera-verano o bien destinar la dotación a una parte de la explotación.

El momento de aplicación del riego vendrá definido por el PAP si bien en caso de no poder activar los riegos cuando se alcance el nivel de PAP establecido, se recomienda regar por la noche en suelos de textura pesada y al amanecer en suelos de textura ligera. En suelos con texturas intermedias, los riegos a media mañana y a media tarde son más recomendados.

- **Mantenimiento de las instalaciones**

El sistema de riego debe estar dimensionado, diseñado y mantenido apropiadamente considerando todos los aspectos agronómicos, hidráulicos, energéticos y las características particulares de la finca como la topografía, etc. Esto es importantísimo para garantizar el aprovechamiento del agua, pues gran parte de los problemas que surgen hoy en día en las explotaciones se derivan de un diseño ineficaz con falta de uniformidad o mal dimensionado.

2.2. MANEJO DEL SUELO

- **Uso de mesetas y acolchados**

En terrenos pesados y con mal drenaje puede ser recomendable el cultivo en meseta para favorecer la aireación del terreno, que además favorece la generación de un acolchado natural bajo los árboles y reduce la competencia con la maleza.

Se ha comprobado que, mediante un buen manejo del suelo y el uso de acolchados naturales ('mulching') procedentes de la hojarasca o de restos de poda triturados, por ejemplo, se favorece la aireación del suelo y el enriquecimiento en materia orgánica a la vez que se aumenta la retención de la humedad en la parte superior del suelo, permitiendo reducir la frecuencia de riego y disminuyendo la evaporación directa del suelo. Asimismo, el uso de acolchados favorece el crecimiento de las raíces y la biodiversidad. Por todo ello su uso es muy recomendable en el cultivo del aguacate.

- **Fertilización**

El cultivo comercial del aguacate requiere un aporte nutricional que cubra las necesidades de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn) del árbol, cuyo papel es muy importante para asegurar un buen desarrollo y rendimiento del cultivo. Los requerimientos nutricionales a lo largo de la campaña productiva están fundamentalmente marcados por las etapas fenológicas del aguacate siendo especialmente sensibles a las carencias nutricionales los periodos de floración, cuajado y desarrollo del fruto, que coinciden con la brotación vegetativa, aumentando los requerimientos nutricionales del árbol en esos periodos (primavera y finales de verano). Los distintos tejidos del árbol no demandan los mismos nutrientes (flores más P, K, Fe y B; hojas más Mg, Mn, Cu; frutos menos), de forma que demanda global de cada fracción dependerá de la proporción de biomasa que representen en el conjunto de la planta.

El abonado generalmente se realiza mediante fertirrigación, ya que el sistema de riego localizado permite aplicar los nutrientes justo en la zona de absorción de las raíces, aunque se están empleando también abonos foliares cuando determinadas condiciones del terreno hacen que los fertilizantes aplicados al suelo sean ineficaces, como por ejemplo temperaturas bajas o altas, humedad del suelo también baja o excesiva, elevado pH o alta salinidad. Sin embargo, no todos los nutrientes se absorben a través de las hojas, e incluso si lo consiguen, algunos permanecen inmóviles en el floema. La aplicación de abonos foliares generalmente se usa para corregir carencias de macro- (N, P, K, Ca, y Mg) y micro-nutrientes (B, Zn, Mn) de forma complementaria al fertirriego.

En general, en situaciones de escasez de agua se recomienda una disminución proporcional de los fertilizantes aplicados en el riego para evitar problemas de salinización de los suelos, aunque esto generalmente conlleva la disminución del crecimiento de la parte aérea y de las raíces (falta de N, P, K), y la aparición de síntomas de carencias nutricionales en los árboles como clorosis en las hojas inducida por la falta de N, Fe, Zn, S, Mg, Mn; malformaciones y hojas más pequeñas por la carencia de Ca y Zn; y frutos deformados, más pequeños y de menor calidad por la falta de B, Mn, Zn y P.

Las recomendaciones de fertilización en función de las dotaciones contempladas son:

-Dotaciones $>4000\text{m}^3/\text{ha}$: Disminución proporcional de los fertilizantes aplicados en el riego de acuerdo con el porcentaje de recorte del riego aplicado. Corregir carencias en su caso mediante abonos foliares.

-Dotaciones entre $2000\text{-}4000\text{m}^3/\text{ha}$: Disminución proporcional de los fertilizantes aplicados en el riego de acuerdo con el porcentaje de recorte del riego aplicado. Corregir carencias en su caso mediante abonos foliares.

-Dotaciones $<2000\text{m}^3/\text{ha}$: Disminución proporcional de los fertilizantes aplicados en el riego de acuerdo con el porcentaje de recorte del riego aplicado. Corregir carencias en su caso mediante abonos foliares.

2.3. REDUCCIÓN DE LA TRANSPIRACIÓN

- **Control de la vegetación**

Las necesidades hídricas de cada árbol variarán en función de su estado de desarrollo y del manejo que se haga de la biomasa aérea (poda de ramas y hojas). En situaciones de escasez de agua y sequía extrema un manejo de la superficie foliar y la reducción del porte del árbol puede reducir la superficie transpirante y por consiguiente la demanda hídrica de los mismos. Para ello se pueden realizar podas de formación y mantenimiento tras la cosecha (entre febrero y marzo), para eliminar ramas secas, chupones, ramas que se cruzan, y que provocan sombreamientos; y en verano (finales de julio hasta agosto) se puede realizar una poda de eliminación de chupones (poda en verde) para reducir el vigor del árbol, que conlleva un aumento de entrada de la luz al interior, y un incremento en el calibre de la fruta. En plantaciones viejas, se pueden realizar podas de rebajes hasta el

primer piso (en febrero) o aclareo gradual de los árboles. Asimismo, en situaciones extremas, se pueden realizar rebajes en cruz, que consiste en rebajar drásticamente los árboles, dejándose una altura alrededor de 1 metro del suelo. Las nuevas brotaciones serán muy vigorosas, entrando en producción a los 10- 12 meses; es aconsejable que se pinten los tocones para evitar quemaduras por insolación.

La falta de agua durante la primavera puede disminuir el cuajado e incrementar la caída masiva de frutos en los primeros estadios de desarrollo, que representaría un aclareo natural de frutos y una menor demanda hídrica.

Las recomendaciones de poda en función de las dotaciones contempladas son:

-Dotaciones $>4000\text{m}^3/\text{ha}$: Se recomienda hacer las podas de mantenimiento y podas en verde.

-Dotaciones entre $2000-4000\text{m}^3/\text{ha}$: Se recomienda reducir el área foliar mediante podas de rebaje hasta el primer piso.

-Dotaciones $< 2000\text{m}^3/\text{ha}$: Reducción de la superficie transpirante con rebajes en cruz o aclareo de árboles.

- **Variedades y patrones adaptados a la sequía**

En el aguacate, la mayoría de las variedades y patrones cultivados son híbridos entre tres razas guatemalteca y mexicana con características diferentes que les proporcionan diferente tolerancia/susceptibilidad a estreses ambientales como la tolerancia a la sal o al frío derivadas de su origen (M=templado subtropical; G=subtropical; A=Tropical).

Por tanto, al igual que frente a otros factores ambientales, las distintas variedades y patrones de aguacate pueden presentar diferentes necesidades hídricas y una tolerancia diferencial frente a estrés hídrico. Es más, las necesidades pueden variar en función de la combinación patrón-variedad injertada como se observó en un estudio en que la transpiración de árboles de aguacate 'Hass' injertados en 'Duke7' (H/D7), 'Duke7' sobre sí misma (D7), aguacate 'Hass' injertados en 'Toro Canyon' (H/TC) y 'Toro Canyon' sobre sí mismo (TC), difería según la combinación patrón variedad (H/TC $<$ H/D7 $<$ TC $<$ D7).

Por tanto, la elección y/o el uso de distintas combinaciones de patrón y variedad con bajos requerimientos hídricos y alta productividad del agua, y/o con mayor tolerancia a estrés hídrico podría representar un método para reducir el consumo de agua del aguacate y garantizar la sostenibilidad del cultivo a largo plazo en los escenarios de sequía en los que nos movemos, por lo que hace falta más investigación en esta línea.

2.4. UTILIZACIÓN DE FUENTES DE AGUA ALTERNATIVAS

El uso de fuentes de agua alternativas (regeneradas o aguas desalinizadas) *a priori*, además de ser una alternativa al agua convencional, podría tener un efecto beneficioso por la aportación de nutrientes a las plantas, disminuyendo el uso de fertilizantes. Desde la administración se está potenciando su uso si bien el uso de aguas regeneradas para el

regadío del aguacate puede tener efectos desfavorables si no se lleva a cabo de forma controlada y el efecto de estas fuentes sobre el cultivo a largo plazo está por determinar. En Israel se ha visto un efecto negativo del uso de aguas regeneradas (tratamiento secundario) a largo plazo (+de 5 años) en la productividad del aguacate y se propone la mezcla de agua de mala calidad con agua dulce y el uso de trincheras de turba para mitigar el efecto negativo.

El cultivo del aguacate se ha descrito como uno de los frutales más sensibles a las sales requiriendo niveles de conductividad eléctrica (CE) del agua por debajo de 0.75 dS m^{-1} ($=\text{mmhos cm}^{-1}$). Para usar estas fuentes es necesario asegurar que la calidad del agua está dentro del rango tolerable por el aguacate, considerándose agua de calidad permisible aquella cuya CE está por debajo de 2 dS m^{-1} , si bien niveles de CE por encima del 0.75 dS m^{-1} implican una reducción significativa del rendimiento del aguacate (entre un 20% y un 40%). En España, el Real Decreto 1620/2007 establece que la calidad del agua regenerada para el riego localizado de cultivos leñosos en los que el fruto consumido no entra en contacto con el agua, como el aguacate, se ajuste a la calidad 2.3 con una conductividad eléctrica máxima (CE_{max}) del agua de 3 dS m^{-1} . Estos valores están muy por encima de los que *a priori* tolera el aguacate, incluso con la utilización de patrones seleccionados por su mayor tolerancia a sales, ya que el rango de salinidad que toleran éstos está por debajo $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. El uso de tratamientos terciarios para la depuración de las aguas podría mejorar la calidad del agua haciéndola más adecuada para el aguacate, si bien podría aumentar la huella energética del cultivo.

Por ello, además de patrones tolerantes a la salinidad adaptados a nuestra zona productora, hacen falta medidas que minimicen los efectos de la acumulación de sal en el perfil superior del suelo. Entre éstas, el uso de bioestimulantes como las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB), se presenta como una línea de investigación abierta para mejorar la tolerancia a la salinidad.



Tabla 1. Resumen de estrategias y recomendaciones para realizar una gestión eficiente del agua en el cultivo de aguacate ante la escasez hídrica en los tres escenarios de dotación de agua para la campaña de riego.

		DOTACION DE AGUA DISPONIBLE			
		>4000m ³ /ha	2000-4000m ³ /ha	< 2000m ³ /ha	
ESTRATEGIAS DE RIEGO	<i>Cálculo de las necesidades de riego</i>	Dotación de agua por debajo de las necesidades que compromete una producción rentable y de calidad.	Dotación de agua insuficiente para la producción.	Dotación de agua insuficiente para el cultivo y estrés hídrico severo que compromete su supervivencia.	
	<i>Estrategias de riego deficitario (RDS)</i>	Se recomienda realizar el cálculo de las necesidades de riego y aplicar RDS en proporción a la dotación disponible (p.e. 60% de la ETc) en los años de alta producción y realizar un mayor recorte si es necesario en los años de baja.	Se recomienda realizar el cálculo de las necesidades de riego y aplicar RDS en proporción a la dotación disponible (p.e. 40% de la ETc) en los años de alta producción y realizar un mayor recorte en los años de baja.	Riegos de supervivencia. Se recomienda dar riegos semanales en los meses de mayor demanda evaporativa para evitar el colapso de los árboles y destinar la dotación a una parte de la explotación.	
	<i>Programación del riego</i>	<i>Manejo del agua en el suelo</i>	Distribuir el riego en superficie (primeros 30-40cm). En suelos ligeros utilizar cintas de riego de ultra bajo caudal (<1L/h) o goteros de bajo caudal (1-2L/h) y en suelos pesados manejar el riego con goteros de 2-4 L/h, aumentando su número por árbol en según el tipo de suelo.	Distribuir el riego en superficie. En suelos ligeros utilizar cintas de riego de ultra bajo caudal (<1L/h) o goteros de bajo caudal (1-2L/h) y en suelos pesados manejar el riego con goteros de 2-3 L/h aumentando su número por árbol.	Distribuir el riego con cintas de riego de ultra bajo caudal (<1L/h) en suelos ligeros con tiempos de riego cortos y frecuentes, y en suelos pesados manejar el riego con goteros de 2 L/h con tiempos de riego más largos y menos frecuentes. Distribuir los riegos en varias veces por semana especialmente en primavera-verano o bien destinar la dotación a la mitad de la explotación y sacrificar la otra.
		<i>Niveles de agotamiento permisibles</i>	Ajustar la frecuencia y duración del riego en función del VAD a 15cm en suelos pesados y a 30 cm en suelos ligeros para un nivel de agotamiento de 30-40cbar en verano.	Ajustar la frecuencia y duración del riego de acuerdo con el VAD a 30 cm para un nivel de agotamiento de 40-50cbar en verano.	En la medida de lo posible distribuir los riegos en varias veces por semana especialmente en primavera-verano o bien destinar la dotación a la mitad de la explotación.
MANEJO DEL SUELO	<i>Uso de mesetas y acolchados</i>	Cultivo en meseta para favorecer la aireación del terreno y usos de acolchados naturales (restos de hoja y podas triturados) aumentan la capacidad de retención de agua en el suelo.			
	<i>Fertilización</i>	Disminución proporcional de los fertilizantes aplicados en el riego de acuerdo con el porcentaje de recorte del riego aplicado. Corregir carencias en su caso mediante abonos foliares.			
REDUCCIÓN DE LA TRANSPIRACIÓN	<i>Control de la vegetación</i>	Se recomienda hacer las podas de mantenimiento y podas en verde.	Se recomienda reducir el área foliar mediante podas de rebaje hasta el primer piso.	Reducción de la superficie transpirante con rebajes en cruz o aclareo de árboles.	
	<i>Variedades y patrones adaptados a sequía</i>	Uso de portainjertos y variedades con mayor eficiencia en el uso del agua y tolerantes a la estrés hídrico.			
USO DE FUENTES DE AGUA ALTERNATIVAS	<i>Aguas regeneradas o desaladas</i>	Uso de portainjertos tolerantes a la salinidad adaptados a nuestra zona de cultivo y calidad del agua dentro del rango tolerable por el aguacate (CE<2 dS/m),			



Junta de Andalucía

