



Manual de producción de alcachofas

Editores:

Constanza Jana A. y Gabriel Saavedra del R.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

BOLETÍN INIA N° 359



Ministerio de
Agricultura

Gobierno de Chile

CORFO



Manual de producción de alcachofas

Editores:

Constanza Jana A.,
Gabriel Saavedra del R.

INIA INTIHUASI

La Serena, Chile, agosto de 2018.

BOLETÍN INIA N° 359

ISSN 0717 - 4829



Editores:

Constanza Jana A., Ingeniera Agrónomo, M.Sc., Dra.
Gabriel Saavedra del R., Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D.

Autores:

Gabriel Saavedra del Real, Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Ph.D., INIA La Platina.
Constanza Jana Ayala, Ingeniera Agrónomo, M.Sc., Dra., INIA Intihuasi.
Carlos Blanco Moreno, Ingeniero Agrónomo, Mg., INIA La Platina.
Claudio Salas Figueroa, Ingeniero Agrónomo, Dr., INIA Intihuasi.
Rodrigo Márquez Antivilo, Ingeniero Agrónomo, INIA Intihuasi.
Claudio Balbontín Nesvara, Ingeniero Agrónomo, M.C., Dr., INIA Intihuasi.
Paulina Sepúlveda Ramírez, Ingeniera Agrónomo, M.Sc., INIA La Platina.
Patricia Larraín Sanhueza, Ingeniera Agrónomo, M.Sc., INIA Intihuasi.
Fernando Graña Sarmiento, Técnico Agrícola., INIA Intihuasi.

Comité Revisor Técnico y de Textos:

Angélica Salvatierra G., Ingeniera Agrónoma, Ph.D.
Erica González V., Técnico en Biblioteca
Karinna Maltés R., Periodista

Directores Responsables:

Edgardo Díaz Velásquez, Ingeniero Agrónomo, Mg.,
Director Regional INIA Intihuasi.
Francisco Hoffmann Dacre, Ingeniero Comercial M.Sc.,
Director Regional INIA La Platina.

Boletín INIA N° 359

Cita bibliográfica correcta:

Jana, C y Saavedra, G (Eds). 2018. Manual de producción de alcachofas. Boletín INIA N°359. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile. 151p.

© 2018. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Centro Regional de Investigación INIA Intihuasi. Colina San Joaquín s/n, La Serena, Teléfono (51) 222 3290, Región de Coquimbo.

ISSN 0717 - 4829

Autorizada la reproducción total o parcial citando la fuente y/o autores.

Diseño y diagramación: Jorge Berríos V., Diseñador Gráfico.
Impresión: Impresos Raúl Gerardo León Abarzúa.

Cantidad de ejemplares: 200

La Serena, Chile, agosto de 2018.



Asociados y Coejecutores



UNIVERSIDAD DE CHILE



Índice de contenidos

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| Prólogo | 5 |
| Capítulo 1. Introducción | 6 |
| Capítulo 2. Origen, botánica, fisiología y genética | 11 |
| Capítulo 3. Germoplasma de alcachofa | 23 |
| Capítulo 4. Propagación de alcachofa | 30 |
| Capítulo 5. Población y distribución del cultivo | 44 |
| Capítulo 6. Fertilización racional en alcachofa | 53 |
| Capítulo 7. Riego en el cultivo de alcachofa | 58 |
| Capítulo 8. Plagas que atacan a la alcachofa en la Región de Coquimbo | 96 |
| Capítulo 9. Enfermedades que atacan a la alcachofa | 111 |
| Capítulo 10. Control de malezas | 123 |
| Capítulo 11. Cosecha y recolección | 138 |
| Capítulo 12. Clon de alcachofa tipo "Argentina" libre de virus | 143 |

Prólogo

Este boletín pretende entregar información agronómica de utilidad a la agricultura nacional, con el objetivo de cooperar en mejorar el manejo agronómico del cultivo de la alcachofa en Chile, a través de la compilación de información desarrollada durante el proyecto “PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO HORTÍCOLA PARA LA AGROINDUSTRIA DE EXPORTACIÓN DE CHILE”, ejecutado durante los años 2010 al 2018 y financiado gracias al apoyo de CORFO (proyecto 09-PMG-7244), donde uno de los tres cultivos estudiados fue alcachofa.

La alcachofa es una especie de importancia nacional variable, su superficie depende de las condiciones hídricas de la principal área de producción (Región de Coquimbo) y del mercado internacional, ya que puede ser exportada como producto procesado. A inicios de los años 2010 era una de las hortalizas más importantes a nivel nacional, sin embargo, al término de este proyecto, su superficie disminuyó drásticamente, tanto por un extenso periodo de sequía que afectó a gran parte del territorio nacional como por la entrada a mercado de exportación de otros países, más competitivos. Uno de los grandes problemas en el procesamiento de alcachofa para exportación era la baja oferta varietal y desuniformidad de las variedades con las que se contaba en Chile, por lo que el objetivo fue ampliar esta oferta varietal incorporando un programa de mejora a través de selección clonal, de la que era la principal variedad en Chile en esos años, la variedad tipo “argentina” y un programa de mejora a través de selección masal y desarrollo de segregantes y líneas avanzadas que también, pudieran servir de portainjertos por su alta tolerancia a enfermedades vasculares. Se aborda también dentro de este boletín los trabajos desarrollados en contenido de cinarina de los materiales seleccionados, propagación tradicional e in vitro, generación de plantas libres de virus, manejos agronómicos en fertilización, control de malezas, sanidad y riego.

Gabriel Saavedra Del Real

Ing. Agrónomo Ph.D.

Director del Proyecto

Constanza Jana Ayala

Ing. Agrónomo Dr.

Directora Alterna

Capítulo 1.

Introducción

Gabriel Saavedra Del Real

Ingeniero Agrónomo M.Sc., Ph.D.

gsaavedr@inia.cl

El cultivo de la alcachofa en Chile ha tenido bastante variación en superficie y producción durante los últimos años, principalmente debido a la incursión de países como Perú que entraron al mercado mundial con productos procesados, desplazando la producción chilena. Fundamentalmente, el consumo nacional no ha variado mucho en el tiempo, por lo tanto, la variación en superficie, como se muestra en el **Cuadro 1.1**, ha sido por la disminución en exportaciones de alcachofa procesada. Se observa una fuerte disminución porcentual desde la temporada 2012 hasta esta temporada, disminuyendo su participación en superficie en más de 50% respecto a la superficie total cultivada con hortalizas en el país.

Cuadro 1.1. Relación de superficie cultivada de alcachofa respecto al total de hortalizas cultivadas en Chile en los últimos 10 años.

| Año | Total Hortalizas (ha) | Alcachofa (ha) | Porcentaje de Superficie |
|---------|-----------------------|----------------|--------------------------|
| 2007/08 | 82.275 | 4.996 | 6,1% |
| 2008/09 | 84.336 | 5.875 | 7,0% |
| 2009/10 | 81.721 | 4.651 | 5,7% |
| 2010/11 | 83.149 | 4.409 | 5,3% |
| 2011/12 | 78.755 | 2.959 | 3,8% |
| 2012/13 | 67.297 | 1.733 | 2,6% |
| 2013/14 | 69.652 | 1.683 | 2,4% |
| 2014/15 | 63.775 | 1.342 | 2,1% |
| 2015/16 | 69.845 | 1.498 | 2,1% |
| 2016/17 | 70.707 | 1.464 | 2,1% |

Fuente, ODEPA.

En cuanto a la evolución de la superficie cultivada con esta hortaliza, como se muestra en la **Figura 1.1**, tuvo una variación entre 2.000 a 3.000 hectáreas anuales hasta la temporada 2002/2003, donde comienza un incremento muy fuerte de plantaciones nuevas debido al aumento de las exportaciones de productos procesados, llegando a un tope de casi 6.000 hectáreas en la temporada 2008/2009 y la apertura de varias empresas procesadoras/exportadoras en las Regiones de Coquimbo y Valparaíso. Sin embargo, luego de lograr esta máxima superficie, comienza un decrecimiento muy rápido, debido al ingreso de nuevos actores al mercado mundial de alcachofa procesada, como Perú; llegando a un mínimo histórico de casi 1.300 hectáreas en la temporada 2014/2015, aunque se observa un leve repunte en la temporada 2015/2016. Sin embargo, no solo la competencia internacional afectó esta disminución en superficie plantada, también hubo factores técnicos y de calidad que influyeron fuertemente, así como la calidad de las plantas de alcachofa tipo “Argentina”, las cuales tienen serios problemas de enfermedades fungosas y virus, transmitidas muy fácilmente a través de la reproducción clonal utilizada, que no les permite expresar su potencial productivo, pero lo más importante fue la gran sequía que afectó a la Región de Coquimbo, lo cual disminuyó la superficie plantada y trajo como consecuencia el cierre de todas las empresas procesadoras de la región.

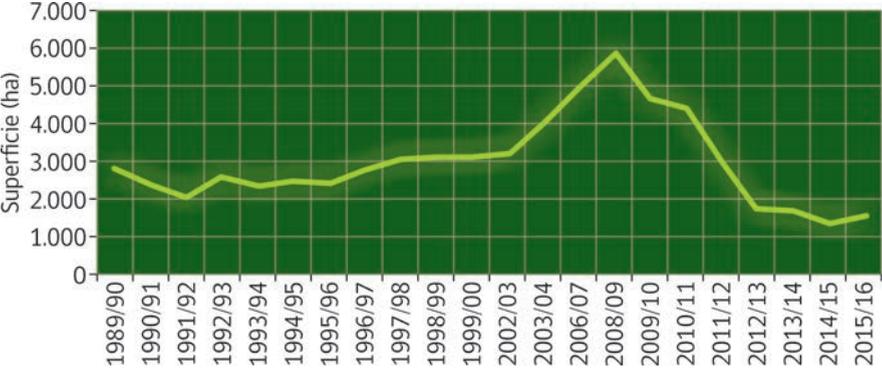


Figura 1.1. Superficie histórica de cultivo de alcachofa en Chile. (Fuente, ODEPA).

Esta región del norte chico representó aproximadamente dos tercios de la producción de alcachofas nacional durante varias temporadas, como se puede apreciar en la **Figura 1.2**, en la actualidad, está cultivado el 50% de la superficie nacional de alcachofa, seguido por la Región de Valparaíso con 25% y Metropolitana con

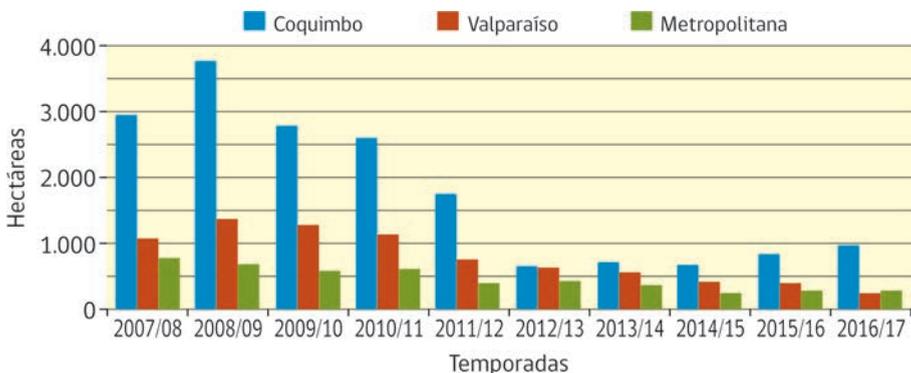


Figura 1.2. Evolución de superficie plantada (ha) de alcachofas en las tres principales regiones productoras. (Fuente, ODEPA).

casi 18%. O sea, en estas tres regiones se concentra casi el 93% de la producción de alcachofas del país. En las temporadas 2015 y 2016, se ha observado un leve incremento de superficie plantada en la Región de Coquimbo, pero con producto destinado al consumo fresco principalmente. A la vez, ha existido un cambio tecnológico en la producción con el uso masivo de plantas provenientes de semillas híbridas de compañías internacionales, las cuales han ido desplazando a las plantas de reproducción clonal tradicionales, aunque por costos y manejo que requiere este tipo de cultivo, aún quedan muchos agricultores que continúan con métodos tradicionales de propagación. También influye, en mantener la reproducción tradicional, la producción de alcachofas para consumo fresco de gran demanda por el mercado local, como las de tipo “Francesa” y “Española”, que son de producción tardía.

Como se mencionó anteriormente, la agroindustria procesadora de alcachofa tuvo un gran apogeo entre las temporadas 2006 y 2011, luego por diferentes vicisitudes de mercado, factores climáticos e inconvenientes técnicos de producción como, muy bajo rendimiento por hectárea y, calidad de plantas, empezó un decaimiento y cierre de plantas procesadoras, hasta la actualidad donde quedan solamente dos empresas procesadoras en el mercado. Esto se aprecia muy claramente en la **Figura 1.3**.

Desde la temporada 2010 a la actual, las exportaciones han caído de 5,5 millones de dólares a menos de 1 millón anual, con una tendencia casi lineal en decrecimiento; al igual que los volúmenes exportados, los cuales tuvieron una caída

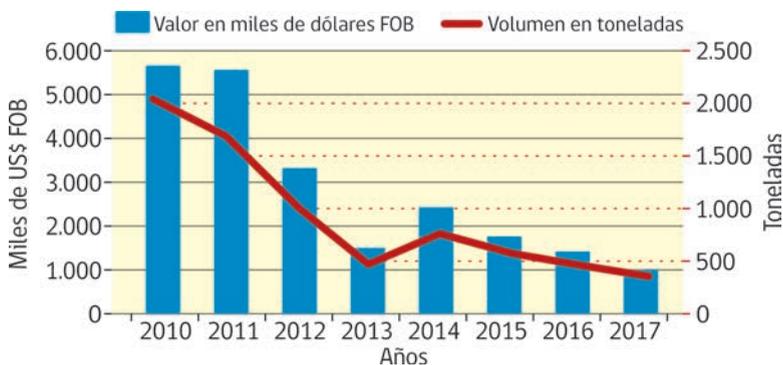


Figura 1.3. Evolución de las exportaciones de alcachofas procesadas de los últimos ocho años, en valor y volumen. (Fuente, ODEPA).

de 2.000 toneladas anuales a aproximadamente 360 toneladas en la temporada 2017, mostrando también una baja sostenida, siendo esta temporada la más baja históricamente en volumen exportado e ingreso por ventas. En la actualidad, las empresas partícipes del mercado usan el procesamiento de alcachofa para mantener las plantas en actividad durante el periodo que no hay otra materia prima para procesar, ya que la temporada de producción de alcachofa precoz, comienza en mayo y termina en noviembre, ocupando un buen periodo este espacio disponible.

Para el caso de alcachofas para consumo fresco, los mercados mayoristas son los que reciben principalmente este producto y lo distribuyen a todo el país. Como se muestra en la **Figura 1.4**, la producción es bastante estacional, concentrándose los mayores volúmenes entre los meses de septiembre y noviembre, que es cuando ingresan al mercado alcachofas tardías de tipo “Francesa” y “Española”, desde abril a agosto predominan las alcachofas precoces como la tipo “Argentina”, aunque en la actualidad ha ingresado fuerte al mercado fresco las variedades híbridas de semilla, desplazando en cierta forma a este tipo tradicional, la cual, una vez que entran al mercado las de tipo tardía, se usa exclusivamente para procesamiento, porque el mercado prefiere alcachofas más grandes y suculentas.

La temporada 2010 presentó la mayor comercialización de alcachofas frescas en mercados mayoristas alcanzando sobre 23 millones de unidades comercializadas, probablemente provenientes de plantaciones de segundo año, ya que la máxima superficie se alcanzó en la temporada 2009 con casi 6 mil hectáreas. No toda

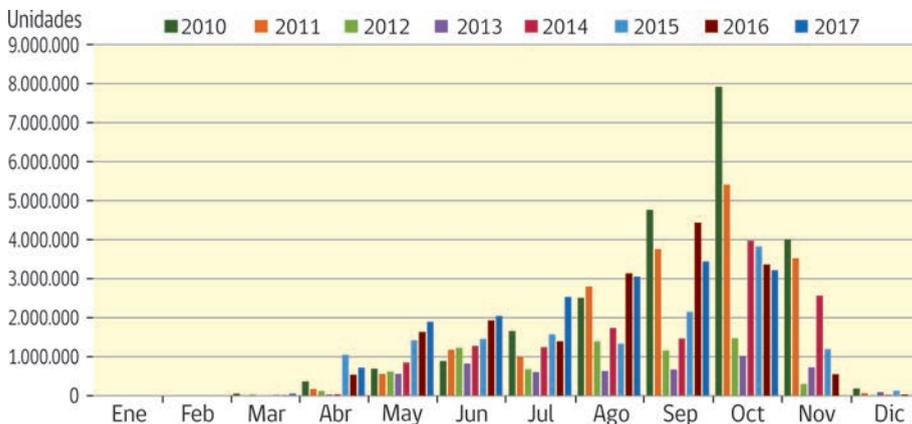


Figura 1.4. Volumen de alcahofas para consumo fresco mensual y por las últimas siete temporadas comercializadas en mercados mayoristas. (Fuente, ODEPA).

la producción pudo ser absorbida por la agroindustria, por lo tanto, gran parte de este material vegetal fue a mercado fresco. Esta temporada 2017, hubo un aumento en la comercialización de alcahofa fresca en mercados mayoristas, alcanzando a 17 millones de unidades, lo que indica un incremento de 17% respecto al 2015, pero igual cantidad que la temporada 2016.

Capítulo 2.

Origen, botánica, fisiología y genética

Gabriel Saavedra Del Real

Ingeniero Agrónomo M.Sc., Ph.D.

gsaavedr@inia.cl

2.1. Origen, botánica, fisiología y genética

La alcachofa (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* (L.) Fiori) es una planta alógama y entomófila perteneciente a la familia Asteraceae. El género *Cynara* es nativo de la cuenca del mar Mediterráneo y comprende ocho especies, de las cuales *C. cardunculus* es la más ampliamente distribuida. Este género contiene tres taxa dentro de las cuales está la alcachofa, pero además pertenecen el cardo comestible (*C. cardunculus* var. *altilis* DC) y el cardo silvestre (*C. cardunculus* var. *sylvestris* (Lam.) Fiori).

a) Origen, distribución y ancestros: La alcachofa es uno de los cultivos hortícolas más antiguos, en todas las civilizaciones antiguas de la cuenca del Mediterráneo se han encontrado evidencias del uso de esta planta (Calabrese, 2016); incluso en la historia antigua, la alcachofa se consideraba bastante exótica. Aunque los historiadores de la alimentación, no pueden precisar con exactitud dónde o cuándo se originó esta misteriosa planta, los humanos han tratado con la alcachofa por más de 3.000 años.

El centro de origen de la alcachofa ha sido descrito por varios autores en la cuenca del Mediterráneo (Vavilov, 1994; Sonnante y otros, 2007; Mauro y otros, 2009), pero sin que se conozca el lugar exacto, ya que la alcachofa se conoce solamente como planta cultivada, no existiendo en forma natural. Investigaciones realizadas por Gatto y otros (2013), localizan como centro de origen el sur de Italia, probablemente Sicilia. En general, el centro de origen de un cultivo a menudo coincide con su centro de diversidad, que es donde las plantas han existido mayor tiempo y acumulan variación genética, exhibiendo este alto grado de variación a nivel poblacional y genético (Gepts,

2004). Basado en este supuesto, Italia representa el centro de diversidad de la alcachofa (Porceddu y otros, 1976; Sonnante y otros, 2003).

Varios estudios recientes, basados en análisis genético y biomoleculares han reconocido que el cardo silvestre es el ancestro directo de la alcachofa. Sin embargo, la domesticación de la alcachofa no está del todo claro cuando ocurrió (Calabrese, 2016). Se ha postulado que la alcachofa sería un producto hortícola nacido de manos del hombre y estudios genéticos recientes parecen confirmar esta teoría. Selecciones hechas por el hombre a partir del cardo silvestre habrían resultado primero en la obtención del cardo cultivado, el cual a su vez habría sido la base genética para la obtención de la alcachofa. Algunos estudios proponen que, probablemente, la alcachofa derivó por la presión de selección humana, ya fuese por tamaño y presencia de espinas (Rottenberg y Zohary, 1996; Sonnante y otros, 2007, 2012; Barres y otros, 2013).

Este cultivo probablemente pudo ser domesticado desde material silvestre en Sicilia y el norte de África durante el periodo imperial romano (Pignone y Sonnante, 2004; Gatto y otros, 2013), alrededor del año 500 a. C. y luego distribuida por los árabes durante la Edad Media.

b) Historia de la alcachofa: No ha podido ser establecido con certeza cuando los antiguos griegos y romanos cultivaron alcachofas. Probablemente, ellos no cultivaban, sino colectaban capítulos de plantas silvestres o usaban las hojas con fines medicinales (Pignatti, 1982). Esta debería ser la razón del por qué la alcachofa era considerada un alimento muypreciado por la gente rica y para consumo en ocasiones especiales. Textos griegos del siglo VIII a. C. ya mencionan el cultivo de la alcachofa y cardo (probablemente ancestros) en la región central y cercano oriente del Mediterráneo (Foury, 2005), pero Homero y Hesíodo hablaban de ella como una planta ornamental en los jardines griegos. Variedades de alcachofas se cultivaron en Sicilia desde el período clásico de los antiguos griegos, los griegos los llamaban *kaktos*. En ese período los griegos comieron las hojas y las cabezas de las flores, que el cultivo ya había mejorado de la forma silvestre. Los romanos llamaron a los vegetales *carduus* (de ahí el nombre cardo). Se menciona la alcachofa en la literatura romana desde 77 a. C., pero la principal fuente de conocimiento de la agricultura romana que fue escrita por Columella (*Lucius Moderatus Columella*, 4-70 d. C.), entrega la primera descripción de la planta, aunque no está claro si se referían a ella o al cardo. Posteriormente, Plinio el Viejo (*Caius Plinius Caecilius Secundus*, 23-79 d. C.) reporta métodos del cultivo de la alcachofa en zonas tales como Cartago (Tunisia) y Córdoba (España)

(Calabrese, 2016). En siglos siguientes, la alcachofa fue descrita por Galeno (*Galenos*, 129–200 d. C.), el gran médico griego de Pergamon, hoy Bergama, Turquía, por su uso en medicina y farmacopea (Oliaro, 1969; Preziosi, 1969; Marzi, 1976).

Documentos egipcios reportan que el rey Ptolomeo III Evergete (284–222 a. C.) promovía el consumo de alcachofa entre sus soldados, porque creía que les transmitía fortaleza y coraje. En descubrimientos arqueológicos recientes en el área de la colonia penal de *Mons Claudianus* (132 – 68 a. C.), alrededor de 500 km de El Cairo, Egipto, encontraron semillas y brácteas, probablemente provenientes de plantas de alcachofa.

En la Edad Media, la alcachofa no desaparece, se sabe que se cultivó en Nápoles a mediados del siglo IX, pero está más bien asociada a los árabes, probablemente durante la conquista del Norte de África y España (alrededor de 650 – 732). De la época morisca de Andalucía, siglos XII y XIII, existen escritos inequívocos de su cultivo en la región. Ibn Bassal (Toledo, siglo 11) fue un botánico y agrónomo moro que escribió sobre el cultivo de ‘Tariah’, probablemente una alcachofa que se consumían sus capítulos; en la época medieval en la España musulmana y el Magreb al parecer habrían mejorado la forma cultivada, aunque la evidencia es sólo inferencial (Watson, 2009).

Durante la Edad Moderna es cuando más reaparece el cultivo de la alcachofa. Desde Nápoles fue llevada a Florencia en 1466 por uno de los miembros de la familia de Filippo Strozzi, fue una curiosidad en los jardines de Venecia, pero luego fue llevada de Toscana al resto de Europa (Bianco y Calabrese, 2012).

Probablemente, la alcachofa fue introducida a Francia por Caterina de Medici (1519–1589, esposa de Enrique II), quien consumía mucho de esta hortaliza, pero la mayor introducción debió ser durante las guerras italianas (1494–1559). Las primeras alcachofas en Saint Paul de León fueron cultivadas en los jardines del Obispo, pero en el siglo 18 se convirtió en el principal cultivo hortícola de Bretaña.

La diseminación del cultivo de la alcachofa tuvo un considerable impulso en los siglos 18 y 19, cuando los inmigrantes franceses y españoles llevan plantas a Estados Unidos, especialmente a Lousiana y California. También fue introducida a Sudamérica, esencialmente a Argentina, Chile y Perú. La gran inmigración italiana que ocurrió después de la Primera Guerra Mundial introdujo en Argentina los primeros cultivares de alcachofa, junto con prácticas agronómicas y métodos de consumo. En Chile no hay evidencias de cuando se introdujo el cultivo, pero se

supone que fue desde Argentina, de las regiones fronterizas de Mendoza y San Juan, llegando principalmente a la zona central y norte chico. El nombre del cultivar 'Argentina' el más utilizado por la agroindustria, indica posiblemente, su origen en este país, siendo su ancestro más probable el cultivar español 'Blanca de Tudela'.

Hoy en día corresponde a un producto típico de regiones del Mediterráneo, especialmente de países como Italia, Francia y España, los que son grandes productores (agrupan el 80% de la producción mundial) y consumidores de esta especie. Desde esta zona se ha difundido a otras áreas del mundo que tienen influencia étnica y condiciones climáticas mediterráneas. El nombre de la alcachofa en muchas lenguas europeas viene del árabe medieval فوشرخل *al-ḥaršūf* (American Heritage Dictionary, 2016), desde donde deriva artichoke (inglés), artichaud (francés) y alcachofa (español).

c) Botánica y fisiología: La alcachofa es una planta herbácea criptófita perenne, o sea que tiene sus órganos de renuevo subterráneos, además es alógama y entomófila en su fase de reproducción sexual. Tiene $2n = 2 \times 17 = 34$ cromosomas. Taxonómicamente está clasificada de la siguiente manera:

- Reino : *Plantae*
- División : *Magnoliophyta* (Angiospermas)
- Clase : *Magnoliopsida* (Dicotiledónea)
- Orden : *Asterales*
- Familia : *Asteraceae*
- Sub-familia : *Cichorioideae*
- Tribu : *Cardueae*
- Sub-tribu : *Echinopsidinae*
- Género : *Cynara*
- Especie : *Cynara cardunculus* var. *scolymus* (L.) Fiori

Raíces y tallos:

El sistema radical es muy fuerte y en él se inserta un rizoma subterráneo muy desarrollado donde la planta acumula reservas. Presenta raíces gruesas, cónicas y alargadas, bastante crasas, que hace que la planta aguante bien la sequía. El aparato radical de una planta adulta está formado por raíces principales de consistencia leñosa o sub-leñosa, raíces secundarias fibrosas y abundante cantidad de raíces capilares. Si la reproducción es de tipo sexual por semilla, la raíz deriva de la radícula del embrión; pero si es asexual, su origen es adventicio y proviene de las yemas del tallo, hijuelo, u óvulo (**Figura 2.1**).

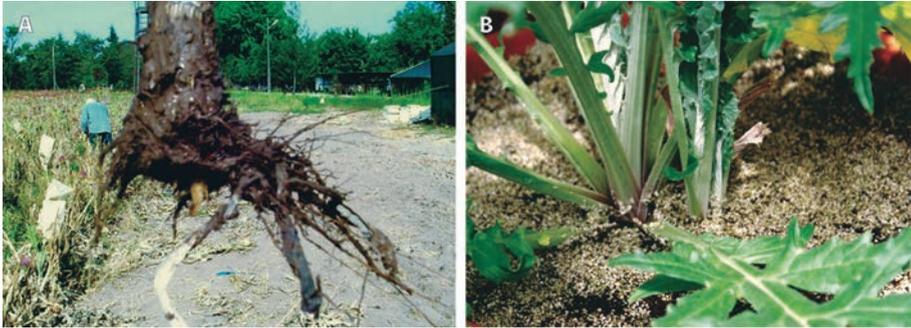


Figura 2.1. A) Rizomas y raíces. B) Hijuelos de alcachofa.

El tallo es de naturaleza sub-leñosa, en una planta adulta se diferencian dos zonas: una hipógea, provista de yemas que origina los óvulos e hijuelos, y otra epígea, breve en el primer periodo de crecimiento de la planta, de la cual nacen las hojas. Los tallos son erguidos, acanalados y muy ramificados que alcanzan 1,5 m de altura con tallos simples, asurcados o estriados y caducos. Después de la aparición de las hojas, coincidiendo con un cambio morfológico de las mismas a bordes ligeramente más enteros, dan en sus extremos las inflorescencias en capítulos, que cuando están tiernas y cerradas constituyen la parte comestible. A su vez origina ramificaciones laterales que también florecen.

Hojas:

Las hojas son pubescentes, con envés blanquecino y haz de color verde claro, aunque el color de la lámina varía de acuerdo al cultivar: verde claro, verde oscuro o grisáceo en su cara superior y más opacas y pubescentes en el envés.

Las hojas son simples, más grandes las basales, pinatífidas o pinasectas, habiendo gran variabilidad respecto de la forma y tamaño de la lámina. Estas son arrosadas y pecioladas, 2-3 pinnatisectas y de 0,7-1 m de longitud y hasta 40 cm de anchura, tendiendo la lámina a ser más recortada. En cambio, las hojas caulinares son sésiles, lobuladas o pinnatífidas, con el ápice espinoso, glabrescente en el haz y tomentoso en el envés, tiende a ser más entera (**Figura 2.2c**).

El nervio central es muy marcado y el limbo está dividido en lóbulos laterales, a veces muy profundos y menos hendidos en hojas del tallo. También la forma del limbo es un carácter varietal y un indicador de precocidad, pues los cultivares con predominancia de hojas enteras son generalmente más precoces, y a la vez son un indicador de cambio de fase vegetativa a reproductiva (**Figura 2.2d**).



Figura 2.2. Tipos de hojas de alcachofa. A). Hojas lisas iniciales. B). Hojas aserradas iniciales. C) Hojas corrientes maduras. D) Hojas maduras lisas.

En plantas originadas de semillas, además de las cotiloneareas, las primeras tres a cinco hojas son enteras, luego aparecen lobuladas (**Figuras 2.2a** y **2.2b**). En algunas variedades con hojas recortadas (pinatisectas), en los ápices de los lóbulos aparecen pequeñas espinas, normalmente no punzantes.

Respecto al tamaño, hay diferencias notables según los cultivares: en plantas adultas, su longitud varía entre 20 cm hasta 120 cm. El ancho del limbo oscila entre 8 y 20 cm aproximadamente. En cuanto a los peciolo, son más o menos carnosos según la variedad, algo aplanados y su longitud equivale aproximadamente a un quinto del largo de la lámina.

Flores e inflorescencia:

Una vez iniciada la fase reproductiva de la planta, comienza el crecimiento del tallo floral o pedúnculo, desde donde el despliegue de sus hojas determina la aparición de la inflorescencia, que es un capítulo, en el centro de la roseta. Es un receptáculo carnoso, con las brácteas del involucre imbricadas, siendo más

anchas y gruesas las basales, cuya parte inferior es comestible juntamente con el receptáculo, antes de la apertura de la inflorescencia (**Figuras 2.3a y 2.3b**). Los capítulos son ovoideos o globosos y solitarios. La forma y tamaño de estas brácteas es de carácter varietal, algunas tienen espinas breves en el ápice, aunque en la mayoría están ausentes (**Figuras 2.3c a la 2.3f**). Excepcionalmente, algunas variedades presentan espinas agudas que molestan en la recolección y posterior manipulación en el envasado y comercialización.

La inflorescencia o capítulo, si no se cosecha da lugar a un alto número de flores alógamas con tonalidad azulada, de polinización cruzada, las cuales son fértiles, que maduran centrípetamente, es decir, progresivamente desde fuera hacia adentro. En cada una de las flores el polen germina inmediatamente, pero el estigma no es receptivo hasta pasados 5 a 7 días. El polen es viable durante 4 a 5 días, que fertilizará flores de la misma cabeza o de otros capítulos, transportado por insectos. Esta asincronía entre órganos reproductivos o protandria, y la polinización por insectos, asegura una alta proporción de fecundaciones alógamas, las cuales mantienen las poblaciones altamente heterocigotas.

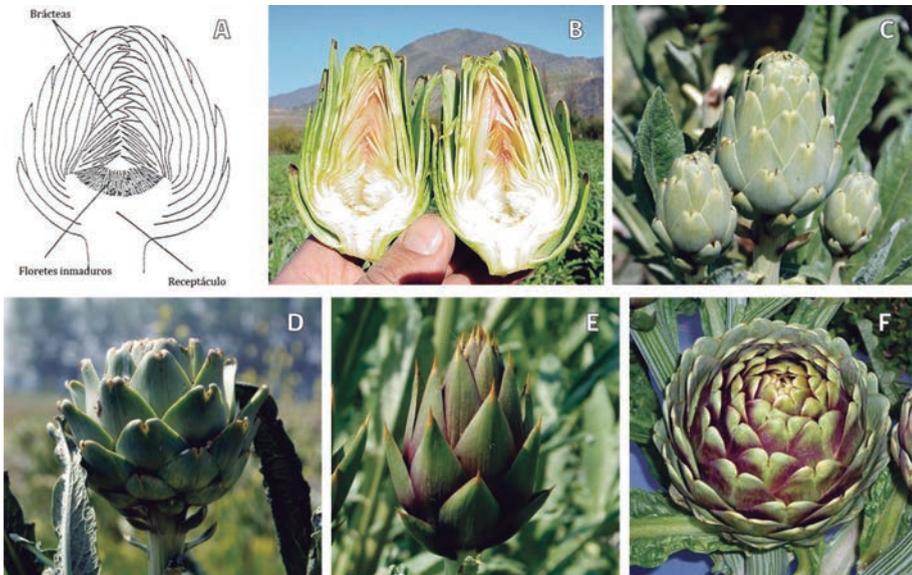


Figura 2.3. Estructuras y formas de capítulos de alcachofa. A) Esquema de capítulo inmaduro. B) Estructuras de capítulo inmaduro. C) Capítulo cónico verde sin espina. D) Capítulo cilíndrico verde. E) Capítulo cónico morado y con espinas. F) Capítulo globoso morado.

Las flores tubulares, pentámeras y perfectas (**Figuras 2.4b** a la **2.4d**) se ubican sobre un receptáculo ensanchado, cóncavo al principio y posteriormente plano (**Figura 2.4a**). Generalmente, cada flor está provista de una bráctea tectriz llamada pálea, la corola, de forma tubular, es actinomorfa o de simetría radial. El cáliz desarrollado está formado por un penacho de pelos (vilano) que no persiste en el fruto (efecto de la domesticación). El ovario proviene de la concrecencia o fusión de dos carpelos, el cual es unilocular, uniovulado e ínfero. El estilo es único, está dividido en dos labios estigmatíferos en la parte superior y los estambres, en número de cinco, se sueldan por las anteras formando un tubo.

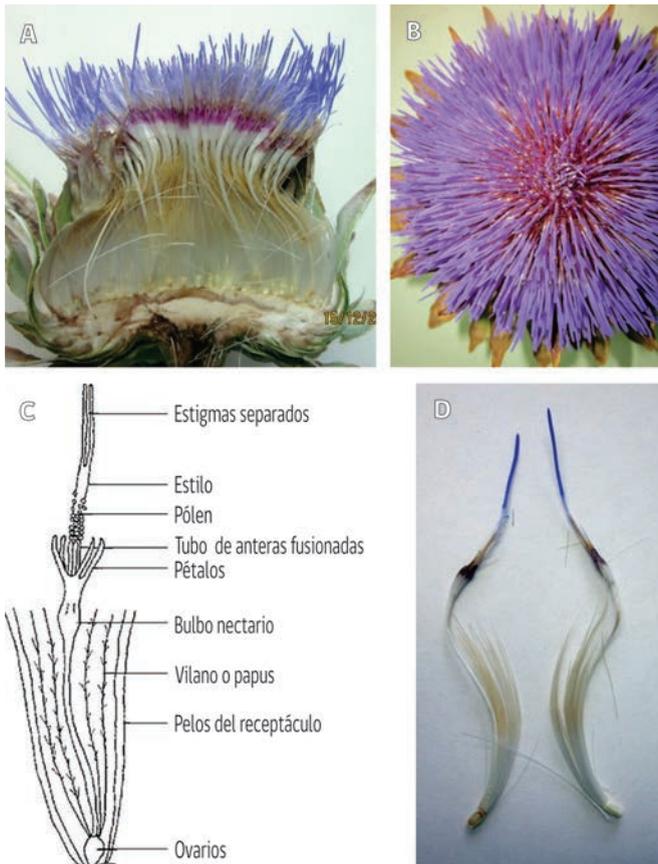


Figura 2.4. Estructuras de capítulo y flores de alcachofa. A) Estructuras de capítulo maduro. B) Flores de capítulo en antesis. C) Estructuras de flor individual. D) Flores individuales

Frutos y semillas:

Los frutos son secos e indehiscentes, llamados aquenio y están provistos de un vilano o papus de pelos que lo rodean. En un gramo se puede contener 25-27 semillas con una capacidad germinativa de entre 6-12 años. Los aquenios no tienen periodo de dormancia. Puestos en condiciones adecuadas de humedad y temperatura, germinan perfectamente desarrollando dos hojas cotiledonares epígeas. Las primeras hojitas son de borde entero o aserrado. A medida que crece la planta, las hojas se van diferenciando, con predominio de las recortadas en la parte basal, tendiendo a ser más enteras las caulinares.

Fisiología:

La alcachofa es una planta perenne, que, en un principio, solamente forma una roseta de hojas hasta que sufre la diferenciación floral, en condiciones normales produce hojas y escapos florales en una época del año, dependiendo de su precocidad, y durante un periodo de tiempo variable, luego la parte aérea se seca y la planta inicia un periodo de reposo. Sobrevive gracias a su tallo subterráneo que posee yemas caulinares que brotarán en el momento de la reactivación, generalmente con el primer riego, volviendo a generar la parte aérea. Paralelamente al desarrollo de las hojas, se produce una acumulación de reservas en el rizoma que servirán para la multiplicación de la planta en forma de hijuelos. Este ciclo se puede repetir por muchos años, a no ser por alguna causa que provoque la muerte de la planta.

Una vez activada la planta, produce muchas hojas hasta que se inicia la fase reproductiva, entonces, el tallo principal da una cabeza que es la de mayor tamaño y calidad, y a consecuencia de las ramificaciones laterales se producen nuevas cabezuelas de menor tamaño. Es un cultivo que se suele utilizar durante dos o tres años seguidos de cultivo.

Sin embargo, el cultivo plurianual presenta el problema de la llamada “degeneración” de la alcachofa. Esto se presenta progresivamente con el aumento de la edad de la plantación, traduciéndose en incremento del número de plantas menos precoces y productivas, que morfológicamente se caracterizan por presentar hojas más profundamente divididas en contraposición con las plantas precoces de hojas enteras en planteles jóvenes de un año. Es evidente y se ha comprobado, que sobre el mismo tronco o tallo hipógeo coexisten yemas que producen hojas divididas y otras que las dan enteras, con tendencia favorable a las primeras con el aumento de edad de la planta madre.

El frío es el único factor obligado que repercute en la floración. Las altas temperaturas del verano, unidas a la interrupción del riego, provocan una fuerte paralización del cultivo. Si se dan temperaturas demasiado elevadas mientras se produce la diferenciación floral, puede dar el caso de que se atrofien las cabezuelas terminales que son las de mayor calidad.

Si las temperaturas bajan de los 5°C la planta detiene su desarrollo, siendo la temperatura óptima de desarrollo de 15-18°C. Es sensible a las heladas y temperaturas bajo cero pueden destruir la parte aérea, puede sufrir heladas de -2 a -4°C, aunque para destruir la parte subterránea e impedir su rebrote es necesario que se produzcan temperaturas por debajo de -10 a -15°C. Con más de 20°C de media puede ralentizarse el crecimiento. El reposo vegetativo puede producirse por temperaturas demasiado bajas en invierno o muy altas en verano. El calor, dentro de ciertos límites, favorece el desarrollo de la planta y obstaculiza la diferenciación de capítulos.

En plantas multiplicadas por semilla, el frío es el único factor inductor de la floración, aunque puede influir la edad de la planta y la duración del fotoperiodo, las necesidades se estiman en unas 250 horas con temperatura por debajo de 7°C (Trigo y López, 1984; Maroto, 2002 y 2007). Aunque si se aplica ácido giberélico en otoño y primavera se consigue adelantar la producción de alcachofas sin disminuir su crecimiento. En algunos cultivares se necesitan al menos 250 horas con una temperatura menor de 7°C para que se induzca la floración, mientras que en otras se produce sin apenas haber estado las plantas sometidas a bajas temperaturas (Miguel *et al.*, 2001). La inducción floral de la alcachofa se produce, en clima mediterráneo, cuando los días son cortos. Mientras algunos cultivares no forman los capítulos hasta después de iniciado el invierno, los cultivares precoces se comportan como indiferentes al fotoperiodo y pueden tener una inducción floral precoz, en otoño e incluso en pleno verano (Miguel *et al.*, 2001).

Su semilla germina bien con temperaturas comprendidas entre los 17 a 25°C en condiciones de alta humedad preferentemente en cámara de germinación.

En relación a las necesidades edáficas no tiene exigencias muy marcadas, aunque en suelos arenosos no da muy buena producción. El 90% de las raíces no supera los 30 a 40 cm de profundidad, por lo que la planta no es muy exigente en suelo. Soporta bien la humedad del suelo, los suelos ligeramente alcalinos y es resistente a la salinidad, aunque un exceso puede producir necrosis de las brácteas internas, debido a una mala traslocación de calcio, necrosis que pueden ser el origen de infecciones secundarias, pudiéndose ver afectado el desarrollo y el rendimiento.

2.2. Literatura citada

- Barres, L., Sanmartín, I., Anderson, C.L., Susanna, A., Buerki, S., Galbany-Casals, M. and Vilatersana, R. 2013.** Reconstructing the evolution and biogeographic history of tribe Cardueae (Compositae). *American Journal of Botany* 100(5):867-882. <http://dx.doi.org/10.3732/ajb.1200058>.
- Bianco, V. and Calabrese, N. 2012.** The artichoke: a travelling companion in the social life, traditions and culture. *Acta Horticulturae* 942:25-39. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.942.1>.
- Calabrese, N. 2016.** From Mediterranean basin to the Andean mountains, the long journey of the artichoke that unites different people and cultures. *Acta Horticulturae* 1147:23-34. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1147.4>.
- Fouy, C. 2005.** Some historical sketches on artichoke and cardoon. *Acta Horticulturae* 681:29-38. <http://dx.doi.org/10.1017660/ActaHortic.2005.681.1>.
- Gatto, A., De Paola, D., Bagnoli, F., Vendramin, G. and Sonnante, G. 2013.** Population structure of *Cynara cardunculus* complex and the origin of the conspecific crops artichoke and cardoon. *Annals of Botany*. 112(5):855-865. <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mct150>.
- Gepts, P. 2004.** Crop domestication as a long-term selection experiment. *Plant Breeding Reviews*. 24(2):1-44. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470650288.ch1>.
- Mauro, R., Portis, E., Acquadro, A., Lombardo, S., Mauromicale, G. and Lanteri, S. 2009.** Genetic diversity of globe artichoke landraces from Sicilian small-holdings: implications for evolution and domestication of the species. *Conservation Genetics*. 10(2):431-440. <https://dx.doi.org/10.1007/s10592-008-9621-2>.
- Oliaro, T. 1967.** Lineamenti di una storia del carciofo. In *Congresso Internazionale di Studi sul Carciofo*. p. 1-7.
- Pignatti, S. 2002.** *Flora d'Italia*. Bologna, Italia: Edagricole-New Business Media. 3 Vol., 2.324 pp.

- Pignone, D. and Sonnante, G. 2004.** Wild artichokes of south Italy: did the story begin here? *Genetic Resour and Crop Evol.* 51(6):577-580. <http://dx.doi.org/10.1023/B:GRES.0000024786.01004.71>.
- Porceddu, E., Dellacecca, V. and Bianco, V. 1976.** Classificazione numerica di cultivar di carciofo. *Proceedings II International Congress on Artichoke.* 1105-1119.
- Preziosi, P. 1969.** Valutazione farmacologica dei principi attivi del carciofo. In: *Atti Congresso Internazionale di Studi sul Carciofo, Edizioni Minerva Medica, Torino, 237-281.*
- Rottenberg, A. and Zohary, D. 1996.** The wild ancestry of the cultivated artichoke. *Genet. Resour. and Crop Evol* 43(1):53-58. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00126940>.
- Sonnante, G., De Paolis, A. and Pignone, D. 2003.** Relationships among artichoke cultivars and some related wild taxa based on AFLP markers. *Plant Genetic Resources: Characterization and utilization.* 1(2-3):125-133. <http://dx.doi.org/10.1079/PGR200319>.
- Sonnante, G., Pignone, D. and Hammer, K. 2007.** The domestication of artichoke and cardoon: from Roman times to the genomic age. *Annals of Botany.* 100(5):1095-1100. <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mcm127>.
- Sonnante, G., Morgese, A., Sonnante, G. and Pignone, D. 2012.** The evolution of *Cynara*: diversity and domestication of artichoke and cardoon. *Acta Horticulturae.* 942:61-66. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.942.5>.
- Vavilov, N. 1994.** *Origin and Geography of Cultivated Plants.* Cambridge, UK: Cambridge University Press. 342 pp.
- Watson, A. 2009.** *Agricultural innovation in the Early Islamic world.* Cambridge University Press. 64 pp.

Capítulo 3.

Germoplasma de alcachofa

Dra. Constanza Jana Ayala

Ingeniera Agrónomo M.Sc.

cjana@inia.cl

Introducción

La alcachofa (*Cynara cardunculus* var *scolymus* (L) Fiori) es una especie nativa de la región mediterránea, donde crece con su ancestro, el cardo silvestre (*Cynara cardunculus* var *sylvestris*). En esta especie, es muy difícil determinar el número de cultivares de alcachofa propagados vegetativamente ya que materiales genéticos diversos utilizan el mismo nombre, pero también materiales genéticos iguales, son considerados tipos varietales diferentes, por diferencias asociadas a la localidad donde son producidas en características, como la época de cosecha, la forma de la cabezuela, color, dimensiones y presencia o ausencia de espinas. Bianco (1991), por ejemplo, reconoce más de 14 denominaciones diferentes para el tipo de alcachofa “Catanesa”.

A nivel mundial, el germoplasma de alcachofa ha sido caracterizado fundamentalmente por la época de producción y por las características morfológicas de la cabezuela. Por la época de producción se distinguen producción otoñal y primavera, sin embargo, este sistema es variable de acuerdo a la zona de producción y por ello, Vanella *et al.* (1991), subdividieron el germoplasma de alcachofa de acuerdo a la forma de la cabezuela, en globoso, elongado y espinoso y por color en violeta y verde.

En Chile, el panorama varietal ha sido siempre muy reducido y hasta hace 20 años, solo se hablaba de tres tipos de germoplasma, “Francesa, Chilena y Argentina”. Hoy esta situación se ha modificado al incorporar variedades de semilla de diferentes formas a las tradicionales variedades de propagación vegetativa.

Tipos de alcachofa

El grupo Espinoso, caracterizados por cultivares con largas espinas sobre las brácteas y hojas (A).

Grupo Violeta. Grupo que contiene cultivares con cabezuelas de tamaño medio y de color morado (B).

Grupo Romanesco, grupo que contiene a los cultivares con cabezuelas esféricas o subsféricas. Son de cosecha tardía en la primavera (C).

Grupo Catanes, se caracteriza por cabezuelas de pequeño tamaño y elongadas. Con cabezuelas que inician su cosecha en los períodos otoñales y terminan en primavera (D). **Figura 3.1.**

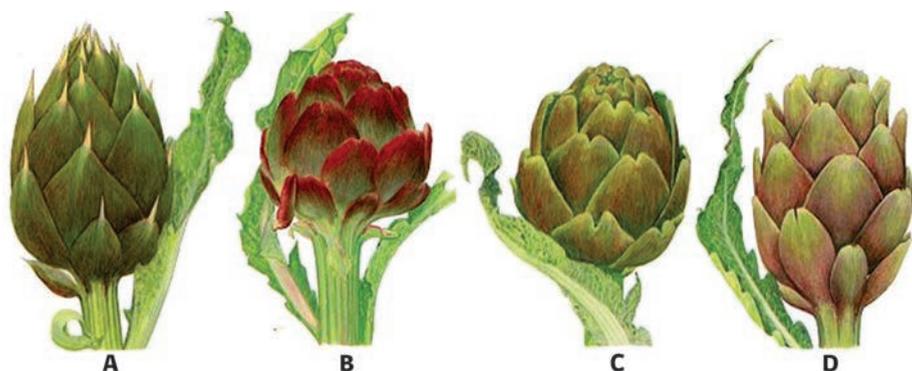


Figura 3.1. Clasificación del germoplasma de alcachofa basado en rangos morfológicos de cabezuelas. Fuente: Dr. Mario Pagnotta. Universidad de Tuscia, Italia.

Dentro de estos grupos, algunos cultivares más conocidos a nivel mundial, se detallan a continuación. Dentro del grupo Espinoso, se encuentra el cultivar Espinoso Sardo, cultivado en el área de Sardeña en Italia, con cosechas en primavera-verano y una cabeza de 145 g y Espinoso Violeto de Liguria de cosecha otoñal de 190 g. En el grupo Violeta el cultivar Local de Sibari de cosecha otoñal y cabezuelas de 120 g y Violeto d'Algerie cultivada en Egipto, de cosecha otoñal y cabeza de 180 g. Del grupo Romanesco, el cultivar Camus de Bretaña, 80% producción francesa, con plantas de 1,2 m de altura y cabezuelas de 300 a 400 g. En el grupo catanes se encuentra la variedad Blanca de Tudela,

la principal variedad producida en España de producción otoñal y primaveral y tamaño de cabezas en promedio de 100 g. En la **Figura 3.2**, se muestran algunos cultivares de los diferentes tipos.



Figura 3.2. Principales tipos de alcachofas. A) Espinoso de Palermo. B) Opal Violeta. C) Camus de Romanesco. D) Blanca de Tudela, Catanesa.

Distribución de germoplasma a nivel mundial

España:

La zona de producción se concentra principalmente en la zona del Mediterráneo en la Región de Murcia y Alicante y de la Comunidad Valenciana para la producción de cabezuelas y el Valle del Ebro (Navarro y La Rioja) como zona destinada a la obtención de material para la multiplicación, de la variedad más cultivada que es la Blanca de Tudela.

Francia:

Bretaña es la principal zona de producción con el cultivar Camus de Bretaña, Castel, derivado de Camus por autofecundación y Petit Violet de Provence, con producción otoñal y primaveral en el mediterráneo, planta pequeña, de cabezuelas pequeñas (150 a 300 g). En Rousillon, la variedad más importante es Blanc Hyerois de producción exclusivamente primaveral en la zona mediterránea, del tipo Macau, de cabeza verde, globosa, muy ramificada y Petit Violet de Provence en Bouche-du-Rhone. Por último, en Nord Pas de Calais y Picardie, el principal cultivar es Gros Vert de Laon.

Túnez:

El cultivo se localiza principalmente en el valle de Medjerda. El cultivar más utilizado es Violet d'Hyeres, originario de Francia, un cultivar vigoroso de rápido crecimiento, que produce cabezuelas de primavera a otoño. En la región de Oran en Algeria, se cultiva Blanc Oranais, cultivar precoz de vigor medio, de producción primaveral u otoñal dependiendo del manejo agronómico.

Egipto:

La alcachofa fue introducida en Egipto a través de Etiopía y los tipos de alcachofas locales egipcias (Balady) son una mezcla entre especies italianas y especies francesas (Violeta de Provence) desde el siglo XVIII, especialmente en Alejandría y el área de producción se sitúa en la parte oeste del Delta del Río Nilo. Es una cabezuela de color verde y precoz.

Marruecos:

La región en la que se práctica el cultivo es Moulouya, Sais, Haouz y principalmente Gharb. Se utilizan cultivares con brácteas verdes (Blanc Heterosis, Blanca de Tudela, Imperial Star) y violetas (Violet d'Alger y Salanquet). Salvo Imperial Star, que se propaga por semilla, todas de propagación vegetativa.

Argentina:

El principal cultivar es Romanesco conocido como Ñato Frances o Frances, de color violeta, de producción primaveral y productividad baja y el Blanco o Argentino que es descendiente de Blanco de Navarra o Blanca de Tudela.

Germoplasma en Chile

En Chile, no existen antecedentes de cómo fue introducida esta especie al país, sin embargo, se infiere que la migración italiana, que siguió a la primera guerra mundial, permitió su introducción en Argentina. A partir de las zonas de producción de San Juan y Mendoza en Argentina, habría llegado a Chile, principalmente a las zonas norte y central del país. A partir de esa fecha, se cultivó tradicionalmente para consumo fresco y mercado interno, con una superficie estable en torno a las 2.500 ha. Sin embargo, desde mediados de la década de 1990, la superficie se duplicó, incremento que estuvo asociado a la expansión de la producción para procesamiento. Déficit hídrico severo (más de 10 años), entrada al mercado de Perú, entre otras razones, dejaron a la alcachofa desde los años 2010 con una superficie no mayor a las 1000 ha para el año 2017 (Fuente:

ODEPA). Para Chile esta especie es un producto que aparece en el mercado en períodos de escasa oferta hortícola, por lo que posee un alto valor económico pese a que el consumo per cápita es bajo (1 kg habitante año).

Características de los principales cultivares en Chile

En Chile tradicionalmente se ha trabajado con dos tipos de cultivares: "Argentina" y "Chilena". Estos dos tipos han sido producidos y seleccionados comercialmente desde hace muchas décadas, por lo que se identifican localmente como cultivares, pese a que técnicamente no se les puede llamar variedades, porque presentan una gran variabilidad genética en las poblaciones que los componen. Los últimos 20 años, también se ha incorporado al grupo de los cultivares producidos en el país a la variedad "Francesa". Las características de estos tipos de alcachofa son las siguientes:

Cultivar o tipo "Argentina"

Se ha postulado que este cultivar provendría del tipo Blanco Temprano cultivado en Argentina y, especialmente, con el cultivar Tudela o Blanco de España, lo que permite pensar en un probable origen español. La planta es erecta, prolífica en hijuelos, de altura reducida (entre 0,5 y 1 m), con hojas enteras o pinnadas, de tamaño medio, sin espinas y de color verde claro a grisáceo. Produce, entre otoño y primavera, varios capítulos florales por planta, los que son de forma ovoide-cónica, de tamaño medio (200 a 250 g los primarios), compactos, de color grisáceo, con brácteas elongadas, escasamente invaginadas, sin espinas, y con pedúnculo medio en grosor y extensión. Organolépticamente, presenta un sabor suave y brácteas y fondo poco carnosos. Se utiliza tanto para consumo fresco, cuando no hay otros tipos en el mercado, como para la agroindustria (**Figura 3.3**).



Figura 3.3. Cabezuela principal y secundaria de alcachofa tipo "Argentina".

Cultivar o tipo “Chilena”

A diferencia del anterior, se ha sostenido que este cultivar tendría un origen francés, postulándose que habría derivado de los cultivares franceses, siendo Verde Gruesa de Laon el progenitor más probable. La planta es de hábito semi-erecto, con pocos hijuelos, alta (cerca de 1,5 m), con hojas de pecíolo grande, rosado en la base, y lámina grisácea, fuertemente pinnada y sin espinas. Presenta producción concentrada desde inicios a fines de primavera, con pocos capítulos florales por planta, los que son de forma cilíndrica elipsoidal, de tamaño grande (300 a 350 g los primarios), semi-compactos, de color verde oscuro, con brácteas redondeadas, levemente invaginadas, con espinas, y pedúnculos largos y gruesos. Organolépticamente, presenta un sabor intenso y brácteas y fondo carnosos (**Figura 3.4**).

Cultivar “Francesa” correspondería a una variedad de origen francés, específicamente a Camus de Bretaña. La planta y las cabezuelas son de gran tamaño, con brácteas abiertas y carnosas, verde claro y con espinas. Puede llegar a producir 2 a 3 capítulos por planta (**Figura 3.5**).



Figura 3.4. Cabezuela principal alcachofa tipo “Chilena”.



Figura 3.5. Cabezuela de alcachofa tipo “Francesa”.

Literatura citada

- Cadinu, M., Baghino, L., Mallica, G., Pisanu, A., Repetto, A. Tatti, A. and Muntoni, M. 2012.** Collection of artichoke germplasm from different mediterranean regions. *Acta Horticulturae* 942:103-108. DOI: 10.17660/Acta-Hortic.2012.942.11.
- Vanella, B., Porceddu, E. and De Pace, C. 1981.** Applicazioni di metodi di analisi numerica per il miglioramento genetico del carciofo. *In: Industria Grafica Laterza (ed) Proceedings of the III international congress on artichoke, Bari, 27-30.*

Capítulo 4.

Propagación de alcachofa

Dra. Constanza Jana Ayala

Ingeniera Agrónomo M.Sc.

cjana@inia.cl

4.1. Introducción

La alcachofa es una especie que tradicionalmente se ha propagado solo vía vegetativa. Sin embargo, desde la década de los noventa, han empezado a surgir variedades de semillas tanto de polinización abierta como híbridos (especialmente desde el año 2000). La distribución porcentual entre ambos sistemas de propagación, es difícil estimarla ya que es muy variable entre los diferentes países productores de alcachofa. Países con la mayor superficie a nivel mundial, como Italia, Egipto y España tienen a la propagación vegetativa, como la forma principal (Mauromicale y Licandro, 2004). En Chile, donde la propagación vegetativa fue durante muchos años la única alternativa, las variedades híbridas de semilla ocupan un sitio relevante a partir del año 2005 destinadas a producción industrial, principalmente por la uniformidad de plantas y de cabezuelas.

La propagación por semillas tiene múltiples ventajas, entre ellas producción homogénea, alto porcentaje de prendimiento al trasplante, uniformidad del cultivo, sanidad, ciclos de producción cortos, siendo la principal desventaja el alto costo de las semillas o de la plántula entregada por vivero. Por otro lado, la propagación vegetativa, si bien no cumple con la mayoría de las ventajas que otorga la propagación por semillas, es una alternativa de un costo menor, que solo requiere conocimiento y rigurosidad en el manejo de los órganos a propagar, pudiéndose obtener rendimientos similares, bajo el manejo agronómico adecuado.

Sistemas de propagación vegetativa:

Existen varias alternativas de propagación vegetativa utilizadas en alcachofa. Entre ellos:

Tallo: conocido en Chile como “palo”, corresponde a la porción basal de un tallo productivo de la temporada anterior, que ha entrado en receso y tienen yemas en su base. Para su extracción no es necesaria la destrucción de la planta madre. En la **Figura 4.1**, se observa un tallo.



Figura 4.1. Órgano de propagación vegetativa de alcachofa: tallo.

Rizoma: conocido en Chile como “tronco”, corresponde a trozos del tallo modificado que por equivocación se ha denominado rizoma. Se extrae y se destruye la planta madre. Este trozo posee una cierta cantidad de yemas en estado de latencia, debido al proceso de seca que se da antes de la extracción. De acuerdo a la cantidad de yemas, el rizoma puede ser dividido en 2, 3 ó 4 trozos, los que son utilizados directamente en las plantaciones, **Figura 4.2**.



Figura 4.2. Órgano de propagación vegetativa de alcachofa: Tronco.

Hijuelo: corresponden a los esquejes o brotes nuevos que salen directamente desde la parte subterránea del tallo principal (o "rizoma"), los que son desprendidos de su base con el máximo de raíces. Para su extracción no requiere la extracción de la planta madre, **Figura 4.3.**

Zueca: de amplia utilización en España, pero no en Chile. Corresponde a un tallo unido al trozo de tallo modificado desde donde nace, **Figura 4.4.**

Óvoli: tampoco se utiliza en Chile, pero es ampliamente utilizado en Italia. Corresponde a hijuelos que detuvieron su crecimiento por desecación de la planta, perdiendo sus hojas y quedando reducidos a un pequeño vástago con yemas apical y laterales en receso, **Figura 4.5.**



Figura 4.3. Órgano de propagación vegetativa de alcachofa: hijuelo.



Figura 4.4. Órgano de propagación vegetativa de alcachofa: Zueca.



Figura 4.5. Órgano de propagación vegetativa de alcachofa: Óvoli.

Otros órganos de propagación vegetativa, prácticamente desconocidos son: Yemas viverizadas: corresponde a almácigos hechos a partir de yemas extraídas de los rizomas. No es una forma común, pero se encuentra en desarrollo en algunos países e Hijuelos viverizados: corresponde a hijuelos con raíces formadas en vivero para ser trasplantados con raíces al campo. En algunos casos se realizan en cepellón, es decir, a raíz cubierta.

En Chile, los agricultores utilizan principalmente tallos y tallos modificados. Sin embargo, estudios realizados por INIA Intihuasi, demostraron que el mejor órgano de propagación son los hijuelos. La característica más importante de los órganos de propagación, es su capacidad de brotación, tanto en “número de órganos brotados” como en el tiempo que este proceso tarda. Entre antes broten y en mayor cantidad, menor será el porcentaje de replante, se iniciará en forma más uniforme la cosecha y con anticipación. En el **Cuadro 4.1**, se observa una comparación en porcentaje de brotación entre diferentes órganos, a las 4, 6 y 8 semanas, donde se observa que, al mes, el órgano de propagación con mayor porcentaje de brotación es el hijuelo fresco, lo que asegura el menor porcentaje de replante. En esta misma figura se observa que a los dos meses desde la plantación, se obtienen los mismos resultados con hijuelos enraizados y con óvolis. La utilización de hijuelos enraizados tiene poca probabilidad de adopción por los agricultores, ya que significa disponer de un terreno para enraizar los hijuelos en forma previa a la plantación, por alrededor de un mes. Sin embargo, en este estudio, resultó ser mejor el hijuelo recién sacado de la planta y plantado dentro del mismo día. Por otro lado, es muy interesante la respuesta de los óvolis. A los dos meses su porcentaje de brotación, no presenta diferencias significativas con los hijuelos, alcanzando porcentajes de brotación del orden del 97%.

Cuadro 4.1. Porcentajes de brotación de los cinco órganos de propagación de alcachofa evaluados.

| Órganos de propagación | 4 semanas | 6 semanas | 8 semanas |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Hijuelo fresco | 92,26 a | 93,75 a | 99,40 a |
| Hijuelo enraizado | 83,92 b | 87,20 ab | 96,13 a |
| Tallo | 80,95 b | 89,28 ab | 90,47 b |
| Tallo modificado | 80,95 b | 89,28 ab | 90,77 b |
| Óvoli | 61,90 c | 84,82 b | 97,32 a |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p <= 0,05$) Test de Duncan.

En porcentaje de floración, también el hijuelo es el órgano de vegetación que obtuvo el mayor porcentaje a los 103, 110 y 117 días después de plantación, mostrando ser el órgano más precoz, **Figura 4.6**. Posteriormente, a los 138 días después de plantación, el óvoli resulta ser el órgano de propagación con mayor porcentaje de floración. Pese a lo anterior, en rendimiento promedio total, no se observaron diferencias entre los diferentes órganos de propagación, como puede observarse en el **Cuadro 4.2**. Por otro lado, en la evaluación de desecho productivo, que en este caso correspondió a plantas de centro morado no comercializable (Cuadro 4.2), se encontraron diferencias significativas entre los diferentes órganos de propagación. La obtención de cabezuelas con centro morado en número, en este caso, las plantas originadas de rizomas presentaron un mayor número de cabezuelas con centro morado que las plantas provenientes de

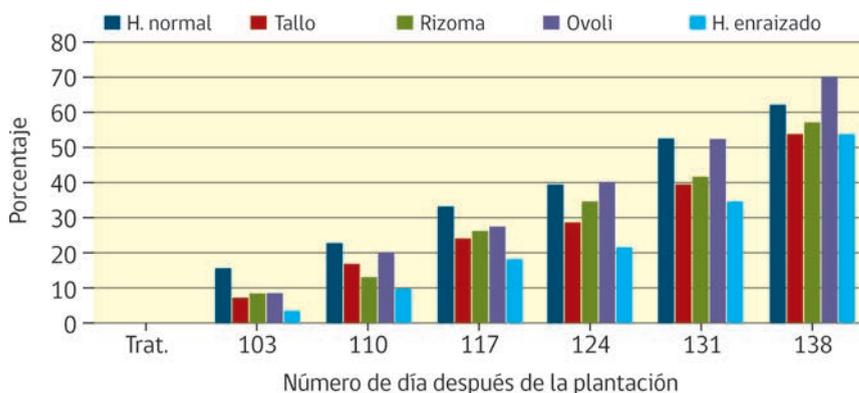


Figura 4.6. Porcentaje de floración de diferentes órganos de propagación de alcachofa, desde los 103 a los 138 días después de plantación.

Cuadro 4.2. Rendimiento Promedio por Tratamiento en calibres cosechados, expresado en miles de kilos por hectárea.

| Órganos de propagación | Producción total | |
|---------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| | Desecho (kg ha ⁻¹) | Comercial (kg ha ⁻¹) |
| Hijuelo Fresco | 2.651,4 b | 25.058,7 a |
| Tallo | 2.722,0 b | 25.334,8 a |
| Tallo modificado (Rizoma) | 3.315,1 a | 25.263,5 a |
| Óvoli | 2.287,6 b | 26.361,8 a |
| Hijuelo enraizado | 2.346,0 b | 25.210,2 a |

Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) Test de Duncan.

tallos, sin diferencias entre los otros tipos de propágulos. Así mismo, en el desecho total, las plantas provenientes de tallos modificados (rizomas) presentaron un mayor número de cabezuelas de desecho que los óvolis y los hijuelos enraizados.

En términos generales, la posibilidad de utilizar sistemas de propagación vegetativa en alcachofa, se sugiere siempre y cuando se realice bajo un sistema de manejos apropiados. Por ejemplo, en el caso del tallo, principal órgano utilizado, bien manejado puede posibilitar altos porcentajes de prendimiento, pero en general es del orden del 75%. Esto se produce porque se utiliza la práctica de contratar personas externas para la extracción de tallos después de la cosecha y pagar por unidad. Obviamente los cosechadores de tallos intentarán sacar la mayor cantidad sin atender a la calidad.

Para obtener órganos de propagación de calidad, se puede imitar el sistema utilizado en España, país gran productor de alcachofas, que utiliza mayoritariamente a la propagación vegetativa como sistema de propagación para la especie. Un estudio realizado en España indica qué calidad del material de reproducción influye directamente en las características de las plantas que van a ser cosechadas (Macua, 2000). Ellos recomiendan elegir las plantas más productivas, sanas y vigorosas y marcarlas durante el cultivo para luego extraer de ellas, los órganos de propagación. Es posible modificar este método y elegir a las plantas malas productoras, marcarlas y no extraer material de ellas. Además, en el caso de utilizar tallos estos deben ser frescos, con más de 4 yemas, diámetro de 3 cm o mayor y un largo que no supere los 10 cm sobre la yema para facilitar la manipulación y evitar las plantaciones profundas. Lo más importante: evitar tallos enfermos o elegidos de sectores donde ha habido enfermedades. El ideal es que provengan de sectores de no más de un año en el mismo potrero. Se recomienda desinfectarlos, y no utilizar tallos modificados, ya que muchas veces se encuentran enfermos con *Erwinia* o *Verticillium*. De ser posible, y contando con el riego que asegure que no va a ocurrir deshidratación, el mejor órgano de propagación en alcachofa es el hijuelo.

Dos aspectos críticos hay que recalcar, uno, el material de origen: se debería recorrer los potreros en el peak de cosecha (julio a octubre en la zona norte) y marcar las plantas de baja producción, cabezuelas defectuosas o falta de sanidad, para no extraer material de ellas. El segundo: se requiere de capacitación del personal que extrae el material y de incentivos a la calidad por sobre el número. Por último, los tratamientos desinfectantes y el uso de enraizantes de los órganos de propagación vegetativa, dan muy buenos resultados, tanto para

hongos como para bacterias y se recomienda, si es que se dispone de terreno, realizar rotaciones con cultivos que rompen el ciclo de enfermedades de suelo de alcachofa como maíz o alguna crucífera.

Sistema de propagación por semilla:

El fruto de alcachofa es un aquenio que comercialmente es la semilla (**Figura 4.7**) de colores variables, de café claro a marrón, de forma elipsoide oblonga y en promedio 3,5 mm ancho y 7 mm de largo, con un peso promedio de 100 semillas de 30 a 70 g.



Figura 4.7. Semillas de alcachofa.

Para la propagación de alcachofas es factible utilizar variedades de semillas de polinización abierta y variedades híbridas. En Chile, la oferta de variedades de polinización abierta (OP) está representada por Imperial Star, Lorca y A-106 principalmente. Las tres variedades se caracterizan por ser recomendadas tanto para proceso como para consumo fresco, de capítulos verde y alta precocidad, el costo es de US\$ 75 por 1.000 semillas (**Figura 4.8**). Las variedades híbridas



Figura 4.8. Variedades de alcachofa de polinización abierta (OP). A) Imperial. B) A-106. C) Lorca.

reportan rendimientos cercanos a las 20 t ha⁻¹, con alta homogeneidad de cabezuelas variedades adaptadas para la transformación industrial como para la exportación en fresco y un valor de US\$200 por 1.000 semillas.

Densidad y marco de establecimiento:

Debido al gran desarrollo que alcanzan las plantas de alcachofa provenientes de semillas y para que se exprese su potencial productivo, es que se utilizan densidades bajas, que dependiendo del vigor varietal pueden oscilar entre 6.000 a 12.000 plantas por hectárea, las cuales son bastante inferiores a las 20.000 a 25.000 que suelen utilizarse en la alcachofa Argentina con fines industriales, que se propaga con órganos vegetativos. Esto se realiza para permitir una adecuada entrada de luz y buena aireación del cultivo, la distancia entre hileras debe ser alta, fluctuando de 1,5 a 2,5 metro. Cada gramo de semilla contiene entre 25 a 27 semillas, con una capacidad germinativa media de 6 a 12 años (**Figura 4.9**).

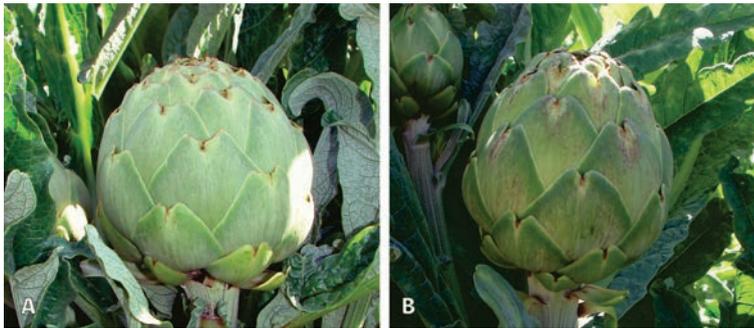


Figura 4.9. Variedades híbridas de Alcachofa de semillas que se están promoviendo en Chile. A) Madrival. B) Sinfonía.

Sistema de establecimiento:

En California se recomienda establecer por sistema de siembra directa con maquinaria o por sistema de almácigo - trasplante, tanto manual como con maquinaria. Es viable la siembra directa con maquinaria, siempre y cuando las condiciones de suelo permitan preparar una adecuada cama de semilla; por las buenas condiciones de suelo junto al alto costo de la mano de obra, este es el sistema más utilizado en California, mediante sembradoras de precisión que depositan 2 - 3 semillas por golpe a 2 cm de profundidad, a 0,6 - 0,9 m sobre la hilera por 1,5 - 2 m entre hileras y realizando el posterior raleo de plántulas. Con este sistema se necesita en torno a 1 kilo de semilla por hectárea, por lo

cual, esta modalidad es más factible con las variedades OP dada el menor costo de la semilla. Una es que con temperaturas elevadas del suelo se han reportado bajos porcentajes de germinación, toda vez, que en Chile normalmente la época de establecimiento es en época de calor (fines de primavera y verano).

El sistema de almácigo en el caso de las semillas híbridas, por su alto costo y, viabilidad para el caso de Chile, inclusive con las variedades OP se recomienda trasplante de tipo manual, las condiciones de suelo en las zonas productoras dificultan obtener una aceptable cama de semilla para la siembra directa, así como el uso de máquinas trasplantadoras (suelos arcillosos y pedregosos); además, el trasplante manual se compatibiliza con el menor costo de la mano de obra.

Producción de almácigos y prendimiento a campo:

En INIA Intihuasi en la Región de Coquimbo, se han obtenido buenos resultados produciendo los almácigos en bandejas de poliestireno expandido de 135 celdillas, obteniendo para las 5 variedades bajo invernadero, y en siembras de mediados de diciembre y de fines de marzo, emergencias entre 89 a 99% y de 63 a 86%, respectivamente, sin registrarse en ambos almácigos caídas de plántulas. El trasplante de plantines se recomienda al estado de 3 a 4 hojas verdaderas, para las fechas indicadas, se obtuvo al cabo de los 40 y 44 días, respectivamente (**Figura 4.10**).



Figura 4.10. A) Almácigo de semillas de alcachofa. B) Plántula de alcachofa lista para trasplante a campo.

En trasplantes realizados a fines de enero se registró un 92 a 96% de prendimiento en campo y en los trasplantes de mediados de mayo fue de 100% y en ambos casos, con una alta homogeneidad de desarrollo del cultivo (Figura 4.11); estos prendimientos son muy superiores al tradicional 70 a 85% que se obtiene en la alcachofa Argentina, establecida por órganos vegetativos.

Utilización de Ácido Giberélico:

Las variedades de alcachofa de semilla requieren de la aplicación de ácido giberélico (GA_3) para inducir la floración, promoviendo así una mayor productividad y/o precocidad. La pérdida de precocidad se produce porque las alcachofas de semilla, se comportan como plantas bianuales y requieren bajas temperaturas y fotoperiodos de día largo para iniciar la elongación del tallo floral (Mauromicale y Ierna, 1995). El requerimiento estaría en el orden de 250 horas de temperatura bajo los $7^\circ C$ para inducción floral (Chaux and Foury, 1994).

La aplicación de ácido giberélico puede reemplazar parcialmente o completamente las necesidades de frío y transformar de un estatus vegetativo a un estatus floral (Baixauli *et al.*, 2007). GA_3 promueve la madurez de los cultivos y ha sido usado en forma exitosa en varios países del Mediterráneo, Estados Unidos e Israel. En alcachofa, los beneficios son una cosecha precoz, incremento en tamaño y número de yemas florales y prolongación de la época de cosecha. La dosis depende de la variedad, siendo las menores para las variedades precoces y las más altas para las tardías, pudiendo fluctuar entre 16 a 60 ppm (Baixauli *et al.*, 2013).

Se recomienda realizar tres aplicaciones cada 10 a 15 días a partir del estado de 8 a 10 hojas verdaderas (**Figura 4.11**). Otros aspectos a considerar es que se debe reducir el pH del agua en torno 5,0 y utilizar altos volúmenes, mojando toda la planta y priorizando la aspersión sobre el centro de crecimiento.

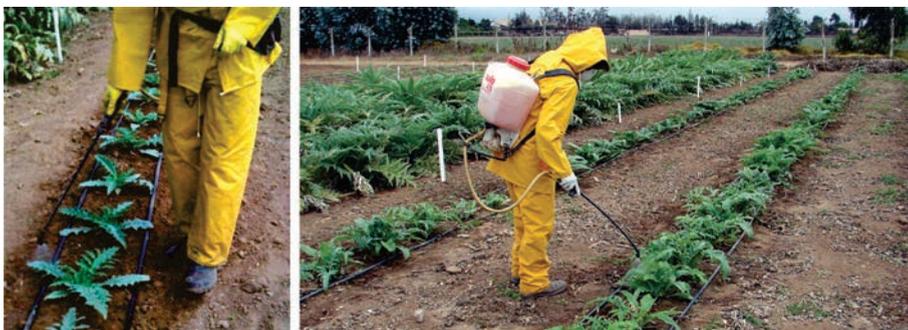


Figura 4.11. Estado de 8 a 10 hojas verdaderas, momento de aplicación de GA_3 y forma correcta de aplicación.

Con el objeto de evaluar el comportamiento de tres variedades de semilla, dos híbridas y una de polinización abierta en su respuesta al ácido giberélico, para la Región de Coquimbo, se establecieron ensayos en tres épocas de producción, invierno, primavera y verano y se evaluó inicio de cosecha, amplitud de cosecha, producción y desecho. Los **Cuadros 4.3, 4.4 y 4.5**, muestran los resultados, para las siembras de verano, invierno y primavera, respectivamente.

Cuadro 4.3. Resultados de inicio de días y de cosecha, amplitud de cosecha y diámetro ecuatorial, de tres variedades de alcachofa de semilla, con y sin aplicación de GA₃, en siembras de verano.

| Factor | | Cosecha | | | Producción t ha ⁻¹ | Desecho t ha ⁻¹ | Diámetro mm | | | | | |
|-----------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|--------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----|---------------------|---|-----|---|
| | | Inicio (Días después trasplante) | Final | Amplitud días | | | | | | | | |
| GA ₃ | Con GA ₃ | 108,56 | 308,00 | 199,44 | 22,20 | 2,98 | 72,83 | | | | | |
| | Sin GA ₃ | 186,78 | 307,22 | 120,44 | 27,39 | 3,43 | 73,64 | | | | | |
| (A) | Pr> F | <0,0001 | 0,3409 | <0,0001 | 0,0712 | 0,4778 | 0,0047 | | | | | |
| Variedad (B) | Lorca | 113,33 | 308,00 | 194,67 | 23,35 | 3,23 b | 72,29 | | | | | |
| | Madrigal | 172,17 | 308,00 | 135,83 | 25,71 | 0,76 c | 74,07 | | | | | |
| | Sinfonía | 157,50 | 306,83 | 149,33 | 25,33 | 5,63 a | 73,34 | | | | | |
| | Pr> F | <0,0001 | 0,4019 | <0,0001 | 0,7318 | 0,0003 | 0,0003 | | | | | |
| A*B | Pr> F | <0,0001 | 0,4019 | <0,0001 | 0,7679 | 0,6570 | 0,0373 | | | | | |
| | CV (%) | 3,88 | 0,536 | 3,59 | 21,98 | 40,84 | 0,649 | | | | | |
| Variedad | Inicio de cosecha (Días después trasplante) | | | | | | Amplitud de cosecha (días) | | | | | |
| | Con GA ₃ | | | Sin GA ₃ | | | Con GA ₃ | | Sin GA ₃ | | | |
| Lorca | B | 103 | b | A | 124 | c | A | 205 | a | B | 184 | a |
| Madrigal | B | 112 | a | A | 232 | a | A | 196 | b | B | 76 | c |
| Sinfonía | B | 111 | a | A | 204 | b | A | 197 | b | B | 101 | b |

Letras mayúsculas y minúsculas, indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) entre tratamientos de GA₃ y variedades, respectivamente.

En el trasplante de verano (Cuadro 4.3), se observaron diferencias entre variedades en los parámetros amplitud de cosecha, producción, cantidad de desecho y diámetro de cabezuela. La variedad de polinización abierta Lorca, es la variedad de mayor amplitud de cosecha, mayor producción y menor diámetro.

En las variables producción y desecho, hay diferencias entre usar y no usar GA₃, obteniendo mayor producción, pero también mayor desecho con el uso de ácido. En la variable inicio de cosecha, hay interacción Variedad*GA₃ y se aprecian diferencias significativas en los días de entrada en producción para las variedades híbridas Madrigal y Sinfonía con disminución de días entre 52 y 46%, respectivamente. La variedad Lorca, más precoz que las anteriores, muestra un menor efecto (17% de disminución).

En trasplante de invierno (Cuadro 4.4), hay diferencias varietales en producción, cantidad de desecho, siendo Lorca la variedad de mayor producción y Sinfonía la de mayor cantidad de desecho. La variedad Lorca tiene mayor amplitud de cosecha en relación a las variedades híbridas y es la más precoz. Se produce mayor producción y mayor cantidad de desecho con el uso de GA₃ con diferencias altamente significativas entre los tratamientos.

Cuadro 4.4. Resultados de inicio de días y de cosecha, amplitud de cosecha y diámetro ecuatorial, de tres variedades de alcachofa de semilla, con y sin aplicación de GA₃, en siembras de invierno.

| Factor | | Cosecha | | | Producción t ha ⁻¹ | Desecho t ha ⁻¹ | Diámetro mm |
|-----------------|---------------------|-------------------------------------|--------|------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------|
| | | Inicio (Días después trasplante) | Final | Amplitud días | | | |
| GA ₃ | Con GA ₃ | 129,22 a | 175,89 | 46,67 a | 16,59 a | 6,98 a | 74,33 a |
| | Sin GA ₃ | 131,56 a | 177,00 | 45,44 a | 13,13 b | 2,88 b | 74,77 a |
| (A) | Pr> F | 0,0707 | 0,0687 | 0,3409 | 0,0003 | 0,0002 | 0,4461 |
| Variedad | Lorca | 123,00 b | 177,00 | 54,00 a | 16,99 a | 4,03 b | 72,51 b |
| | Madrigal | 133,50 a | 175,33 | 41,83 b | 13,99 b | 1,22 c | 76,22 a |
| | Sinfonía | 134,67 a | 177,00 | 42,33 b | 13,60 b | 9,55 a | 74,93 a |
| (B) | Pr> F | <,0001 | 0,0467 | 0 | 0,0031 | 0 | 0,0005 |
| A*B | Pr> F | 0,0503 | 0,0467 | 0,4021 | 0,3107 | 0,1823 | 0,3367 |
| | CV (%) | 1,87 | 0,92 | 13,64 | 18,33 | 9,13 | 2,59 |

Letras mayúsculas y minúsculas, indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) entre tratamientos de GA₃ y variedades, respectivamente.

En el trasplante de primavera (Cuadro 4.5), se observa un gran efecto del ácido giberélico sobre las variedades híbridas en la disminución de los días para inicio de cosecha, de un 53% para Madrigal y un 40% para Sinfonía. Lorca disminuye el

número de días en solo 4 días. El efecto del ácido sobre la amplitud de cosecha se observa en las variedades más precoces Lorca y Sinfonía y las tres variedades aumentan el tamaño de su cabezuela en diámetro con aplicaciones de GA₃.

Cuadro 4.5. Resultados de inicio de días y de cosecha, amplitud de cosecha y diámetro ecuatorial, de tres variedades de alcachofa de semilla, con y sin aplicación de GA₃, en siembras de primavera.

| Factor | | Cosecha | | | Producción t ha ⁻¹ | Desecho t ha ⁻¹ | Diámetro mm |
|-----------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|---------------------|------------------------------------------|-------------------------------|----------------|
| | | Inicio (Días después trasplante) | Final | Amplitud días | | | |
| GA ₃ | Con GA ₃ | 137,56 | 381,00 | 243,44 | 16,51 | 4,35 a | 68,63 |
| | Sin GA ₃ | 219,44 | 355,33 | 135,89 | 22,12 | 3,91 a | 73,39 |
| (A) | Pr> F | <0,0001 | <0,0001 | <0,0001 | 0,0003 | 0,5717 | <,0001 |
| Variedad (B) | Lorca | 138,33 | 363,50 | 225,17 | 17,42 | 2,97 b | 68,61 |
| | Madrigal | 213,67 | 377,50 | 163,83 | 22,48 | 2,09 b | 73,38 |
| | Sinfonía | 183,50 | 363,50 | 180,00 | 18,05 | 7,32 a | 71,04 |
| | Pr> F | 0,0001 | <0,0001 | 0,0004 | 0,0053 | 0,0004 | <0,0001 |
| A*B | Pr> F | 0,0001 | <0,0001 | 0,0006 | 0,0016 | 0,1866 | 0,0014 |
| | CV (%) | 10,16 | 0 | 9,56 | 11,49 | 18,45 | 0,87 |
| Variedad | Inicio de cosecha (Días después de trasplante) | | Amplitud de cosecha (días) | | Diámetro ecuatorial de cabezuela (mm) | | |
| | Con GA ₃ | Sin GA ₃ | Con GA ₃ | Sin GA ₃ | Con GA ₃ | Sin GA ₃ | |
| Lorca | A 136 a | A 140 c | A 381 a | B 346 b | A 245 a | B 205 a | |
| Madrigal | B 138 a | A 289 a | A 381 a | A 374 a | A 242 a | B 85 c | |
| Sinfonía | B 138 a | A 228 b | A 381 a | B 346 b | A 242 a | B 117 b | |

Letras mayúsculas y minúsculas, indican diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) entre tratamientos de GA₃ y variedades, respectivamente.

De estos resultados se concluye que los efectos del ácido giberélico sobre la precocidad en variedades de alcachofa es de relevancia cuando se trasplanta en primavera y verano, su aplicación incrementa precocidad y amplitud de cosecha, sin efectos sobre la productividad o cantidad de desecho. En invierno, no hay efecto sobre la precocidad, pero si incrementa la producción, pero también la cantidad de desecho, debido a la cual la variedad Sinfonía no se adaptaría a esta época de producción.

4.2. Literatura citada

- Baixauli, C., Giner, A., Miguel, A., López, S., San Bautista, A. and Maroto J. 2007.** Interaction between cultivar and giberelic acid concentration in seed propagated artichoke. *In: Proc. VIth IS on Artichoke, Cardoon and their wild relatives.* Fernández (Eds.). *Acta Horticulturae* 730:165-170.
- Macua, J. 2000.** Alcachofa "Blanca de Tudela", su selección es la base de un buen cultivo. *Revista Agropecuaria* 819:672-675.
- Mauromicale, G. and Ierna, A. 1995.** Effects of gibberellic acid and sowing date on harvest time and yields of seed-grown globe artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Agronomie* 15(9-10):527-538.
- Mauromicale, G. y Licandro, P. 2004.** Ricerche sulla produzione di piantine di carciofo in vivaio. *Tecnica Agricola* 1/2: 1-7.

Capítulo 5.

Población y distribución del cultivo

Carlos Blanco Moreno

Ingeniero Agrónomo Mg.

cblanco@inia.cl

5.1. Rotación

La literatura menciona que por lo menos el cultivo se debe establecer después de 3 a 5 años en los suelos que han sido cultivados con alcachofa. Este tiempo se considera necesario para reducir la incidencia de algunos patógenos que causan enfermedades radiculares principalmente *Verticillium dahliae* que afecta significativamente los rendimientos y calidad de la planta. Sin embargo, una práctica habitual que realizan los agricultores en alcachofa Argentina destinada a la agroindustria es la multiplicación del cultivo en forma anual. Esto significa que levantan el cultivo a término de temporada (diciembre- enero) con el objetivo de seleccionar tallos para el establecimiento en un nuevo sector renovando el material vegetal cultivado. Esto ha permitido mantener los rendimientos del cultivo ya que permanecer con un segundo año en el mismo potrero y material vegetal disminuye el rendimiento entre un 15 a 20% según estimaciones que ha determinado INIA.

a) Preparación del terreno y manejo del suelo:

Las raíces de la planta de alcachofa pueden llegar a medir el primer año hasta 40-45 cm de profundidad y horizontalmente 80-90 cm y el 2º año alcanzan profundidad cercana a los 90 cm. La mayor concentración de raíces es entre los 40-55 cm tanto de profundidad como sentido horizontal, por lo tanto, es muy importante una buena preparación del terreno con araduras profundas y posteriores rastrajes con un grado de humedad adecuado.

- **Labranza y contenido de humedad en los suelos:** La humedad es uno de los factores más importantes en las labores de preparación de suelos, ya sea en su etapa inicial de aradura como el afinado de la cama para el establecimiento

del cultivo. La humedad le da propiedades de plasticidad al suelo, que lo hace adherirse a los implementos de labranza dificultando su acción. En suelos muy húmedos se afecta la tracción, al aumentar el patinaje y los requerimientos de potencia, debido a la gran resistencia que el suelo ofrece al desplazamiento de los arados de vertederas y discos.

Un suelo con un pequeño contenido de humedad es duro y coherente debido al efecto de cementación de las partículas secas. A medida que la humedad va aumentando, las moléculas de agua son absorbidas en la superficie de las partículas, lo cual disminuye la coherencia e imparte friabilidad a la masa del suelo. La consistencia friable representa las condiciones óptimas de humedad para realizar la labranza.

La condición friable se reconoce, en la práctica, al tomar suelo en la mano y conseguir que este se disgregue fácilmente al ser presionado, sin dejar restos adheridos en ellas. Un suelo muy húmedo se adhiere a la mano, incluso se puede moldear, en el caso opuesto se forman terrones que cuesta disgregarlos.

Un suelo con una humedad cercana a capacidad de campo, es mucho más susceptible a la compactación para un determinado nivel de presión de los equipos de labranza en el suelo, que con un contenido de humedad cercano al seco. Operaciones tales como el subsolado de suelo deben realizarse en temporadas de verano o comienzos de otoño, cuando el suelo presenta un contenido de humedad bajo, que permita eficientemente usar estas labores.

La labranza se puede dividir en dos tipos:

- Labranza Primaria.
- Labranza Secundaria.

Cada uno cumple con objetivos específicos independiente de la tecnología que se use en la labranza.

• **Labranza primaria:** Se denominan labores primarias o básicas a las roturaciones que determinan considerable movimiento de suelo. Normalmente interesan, en profundidad de suelo, el perfil denominado “capa arable”.

Sin embargo, se consideran también prácticas culturales básicas otras realizadas con menor frecuencia, como la sistematización del campo para riego, los subsolados y otras.

Principales labores básicas:

- a) Sistematización del terreno para riego:
 - 1. Nivelación primaria.
 - 2. Retoques periódicos de nivel.
- b) Destrucción de capas compactas:
 - 1. Subsolado.
 - 2. Araduras especiales.
- c) Araduras:
 - 1. De desfonde (profundidad superior a 30 cm).
 - 2. Profundas (profundidad de 15 a 25 cm).
 - 3. Medias (profundidad de 10 a 15 cm).

Su principal objetivo es dar soltura al suelo a fin de realizar las labores de sistematización para conducción del agua de riego y el establecimiento del cultivo.

Principales precauciones que se deben tomar con la aradura

- a) Evitar la destrucción de la estructura de los suelos por excesiva roturación del perfil arable. A veces ocurre que se realiza un excesivo número de rastros, tratando de reducir el tamaño de terrones por una inadecuada labor de aradura. Lo recomendable es arar el suelo con un contenido de humedad friable, y en forma inmediata realizar los rastros que permitan lograr el mullimiento apropiado para el establecimiento del cultivo.
- b) Evitar la formación de capas compactas en profundidad, por elección y/o uso incorrecto de implementos. El arado de discos, entra en el suelo por peso, por lo cual es el equipo que mayores problemas de compactación genera.
- c) Efectuar las labranzas en el estado de humedad del suelo adecuado para cada máquina o implemento elegido. Subsolar en los meses de invierno o inicios de primavera no tiene sentido, porque el suelo se encuentra con un alto porcentaje de humedad que haría ineficiente la labor.
- d) Enganche, regulación y manejo correcto del implemento. Es fundamental una nivelación transversal y longitudinal, como de la profundidad de los arados, para alcanzar una labor eficiente.

- **Época de aradura:** Cuando la superficie del suelo se encuentra cubierta por rastrojos del cultivo anterior, malezas o abonos verdes, la labranza primaria debe realizarse con suficiente anticipación. En esas condiciones, la roturación temprana de otoño (luego de un cultivo primavera-estival) facilita un proceso de significativa importancia agrícola. Sus objetivos son almacenar nitrógeno aprovechable por futuros cultivos y mejorar las condiciones físicas del perfil labrado. Las aplicaciones de enmiendas orgánicas al suelo, como guanos de ave, deben aplicarse e incorporarse con anticipación al trabajo de establecimiento de la alcachofa. De esta forma se evitan problemas de toxicidad que pudiese generar el nitrógeno amoniacal de los guanos, que afectaría el material de propagación.

Teniendo en cuenta nuestras características climáticas y la fertilidad de nuestros suelos, es importante realizar la incorporación de todo material vegetal disponible al finalizar el cultivo, para evitar que se pierda por intensos procesos de destrucción que lo afectan cuando queda en superficie. La materia orgánica incorporada al suelo se descompone por la acción de bacterias que cumplen su desarrollo y multiplicación utilizando la energía liberada en ese proceso.

Es fundamental que todo material o residuo vegetal de la temporada anterior, se deba picar lo más posible para su incorporación al suelo. Esto facilita la acción de los microorganismos, y con ello su descomposición y transformación en materia orgánica.

Al finalizar las actividades biológicas de descomposición, se origina la muerte y la desintegración de los microorganismos, quedando el nitrógeno en estado aprovechable para las plantas. El tiempo necesario para que se cumpla este proceso determina la necesidad de efectuar roturaciones y labores de inversión de suelos tempranas. La descomposición de los rastrojos y paso a materia orgánica, requiere que estos sean incorporados al suelo, y mientras más temprano se haga, más eficiente será esta descomposición.

Si la superficie del campo a sembrar se encuentra libre de residuos vegetales o estiércoles podrá realizarse una labranza primaria más tarde, próxima a las fechas de establecimiento.

Si el suelo está degradado en su estructura, con compactación generalizada en el perfil de labranza, con presencia de "pisos de arado", capas compactas o inconvenientes de permeabilidad, se recomienda una labranza media con arado de cincel para lograr un buen resquebrajamiento del perfil. Este resultado se ob-

tendrá trabajando el suelo con baja humedad y velocidad mínima de avance del equipo de 8 km/h (Cuadro 5.1 y Figura 5.1). Para que esta labor sea eficiente, se debe trabajar con un contenido de humedad ligeramente por debajo del estado friable indicado anteriormente.

Cuadro 5.1. Tipo de labranza según defecto físico del suelo.

| Defecto del Suelo | Labranza |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| a) Compactación generalizada del perfil de exploración radicular. Suelo de fina textura de gran esfuerzo al laboreo. | Aradura de cincel |
| b) Presencia de capas de fina textura, capas muy compactas e impermeables (tosca, caliche, etc.). b 1 Ubicación en el perfil de labranza. | Aradura de cincel |
| b 2 Ubicación a mayor profundidad. | Subsolado |
| c) Presencia de capas compactas en el perfil de labranza ocasionadas por el laboreo del suelo y el tránsito de la maquinaria (compactación del perfil de labranza, "pie de arado", etc.). | Aradura de cincel |



Figura 5.1. A) Tractor realizando subsolado. B) Labor de aradura.

- **Labranza secundaria:** Después de la aradura, cuando la superficie del suelo presenta terrones grandes, champas del rastrojo o rugosidades, es necesario realizar una labranza de refinamiento con una rastra de discos (Figura 5.2). Se recomienda realizar en lo posible una sola rastreada y a continuación, aprovechando la humedad del suelo, proceder al formado de mesas para la siembra o camellones para trasplante.



Figura 5.2. Diferentes implementos para realizar labranza secundaria de acuerdo a los objetivos requeridos. A) Rastra de discos offset. B) Vibrocultivador. C) Vibrocultivador trabajando. D) Rastra de tiro animal.

Cuando la aradura ha sido realizada con mucha anticipación a la fecha de siembra, es necesario dar humedad al perfil de labranza mediante previo surcada y riego posterior, a fin de poder efectuar la rastreada.

Si el perfil de labranza se encuentra “sucio”, con rastrojos o malezas no descompuestos en el momento de la siembra o trasplante, se recomienda efectuar rastreadas de limpieza con rastra de púas o dientes.

b) Época de establecimiento:

La época de establecimiento del cultivo ya sea mediante propagación vegetativa por medio de tallos, hijuelos, cepas o trozos de corona o mediante la multiplicación por semillas debe ser entre los meses de enero a marzo. Esto permite llegar con desarrollo vegetativo adecuado para el primer ciclo productivo invernal del cultivo y, lograr la ventaja del cultivar que es su precocidad, aprovechando las bajas temperaturas de algunas zonas, indispensables para la vernalización de la especie y expresión de la floración.

Para lograr el establecimiento del cultivo entre los meses de enero a marzo, es necesario considerar que la madurez de cultivo (debido a las altas temperaturas de la época primaveral), se manifieste entre los meses de noviembre a diciembre con expresiones de fibrosidad en las brácteas, capítulos abiertos y presencia de centro morado (pigmentación del centro del capítulo debido a expresión de antocianos), todas estas fisiopatías desfavorables para el procesamiento son favorecidas por la escasa humedad y alta temperatura. Posteriormente, se deben suspender los riegos y favorecer la senescencia del cultivo, pasado un tiempo y posterior a la preparación de suelo en el lugar de establecimiento se debe sincronizar la extracción de los tallos para propagar el cultivo evitando periodos prolongados de espera o almacenamiento de los tallos, ya que aumenta la deshidratación de estos y se manifiesta la pérdida de brotación en el cultivo desfavoreciendo las poblaciones óptimas del cultivo.

Sin embargo, hay que considerar que en zonas donde las temperaturas son muy altas en los meses de establecimiento, es importante mantener una humedad en los surcos de plantación de manera de evitar el efecto de “cocción” en el material vegetal. Por tanto, en estas zonas es indispensable considerar la forma de tallo como medio de multiplicación.

c) Distribución espacial en terreno:

Una vez que el suelo se encuentra preparado se trazan surcos que pueden variar en la distancia desde 0,8 a 1,4 m. lo que estará determinado por la maquinaria disponible de cada agricultor y la mecanización que quiera otorgar al cultivo. Posteriormente se procede a dar un riego que permite humedecer el terreno y facilitar el establecimiento de los tallos (**Figura 5.3**).

La distancia entre tallos que determinará la densidad de plantas por hectárea puede ser variable. De acuerdo a investigaciones realizadas por INIA, un factor determinante en el cultivo es la densidad de plantas utilizadas por los agricultores en alcachofa para procesamiento mediante propagación vegetativa. En prospecciones realizadas a agricultores en las Regiones Metropolitana, IV y V se pudo verificar que las poblaciones de alcachofa Argentina fluctuaban entre 16 a 25 mil plantas por hectárea. Es indispensable considerar poblaciones que no afecten la calidad sanitaria y productiva del cultivo. Se determinó en las investigaciones realizadas por INIA que poblaciones sobre las 16.000 plantas por hectárea tienen efectos significativos en los rendimientos por competencia de nutrientes, luz, agua y aireación favoreciendo la presencia de enfermedades en



Figura 5.3. Sistema de establecimiento del cultivo por medio de tallos.

el follaje. Sin embargo, hay que considerar que las pérdidas por falta de brotación en los tallos a la plantación pueden fluctuar entre un 20 a 25% lo que se atribuye principalmente a una mala elección del material a propagar asociado a problemas de hongos.

Lo anterior determina que es indispensable contar con un material que garantice sanidad del material a propagar, en este contexto, en España se trabaja con un material certificado y obtenido en zonas donde la temperatura favorece los procesos de vernalización (acumulación de horas frías), indispensable para la brotación y floración del cultivo. La densidad de plantas en España también es variable, aunque por lo general oscila entre 8.000 a 10.000 plantas por hectárea como es la Zona de Navarra. En zonas de Valencia y Castellón que son más templadas se tiende a mayores poblaciones, incluso las 12.000 plantas por hectárea. El marco de plantación utilizado es en función de la maquinaria disponible y suele oscilar de 1,1 a 1,4 m entre hilera y 0,7 a 0,9 m entre hilera.

Para la realidad productiva nuestra y dado que no tenemos una normativa que garantice la calidad del material a propagar y tampoco zonas determinadas destinadas a la explotación de material vegetativo, para abastecer con certificación el material vegetativo a propagar el marco de plantación recomendado es de 1,4 m entre hilera con 0,5 a 0,6 m sobre hilera esto determina una población de 14.280 a 11.900 plantas por hectárea lo que considera cerca de un 15 a 20% de pérdidas por brotación. En el caso del cultivo multiplicado por semillas es importante no sobrepasar las 10.000 plantas por hectárea.

Lo anterior, deja de manifiesto que es necesario contar con material de propagación que garantice la sanidad del cultivo y determinar zonas productivas con temperaturas que favorezcan la brotación y floración del cultivo y así abastecer a zonas más templadas donde el cultivo normalmente puede entrar en producción más tardía. Contar con un material a establecimiento que garantice su sanidad, además de considerar en la prolificidad de las plantas como la capacidad para emitir hijuelos (3 a 4) y potencial de producción de plantas entre 8 a 10 alcachofines por hectárea, es ideal para llegar a un rendimiento comercial sobre las 15 toneladas por hectárea.

5.2. Literatura citada

- Blanco, C. 2010.** Alcachofa Argentina para procesamiento: la propagación es fundamental para lograr un buen rendimiento. Revista Tierra Adentro 88:10-14.
- Carrasco, J., García-Huidobro, J. y Peralta, J. 1993.** Selección de equipos de labranza. Investigación y Progreso Agropecuario (IPA) La Platina. N°75:3-17.
- Carrasco, J. y García Huidobro, J. 1998.** Los problemas de la labranza y los equipos. Revista Tierra Adentro 28:24-28.
- Macua, J. 2003.** Evaluación agronómica de variedades españolas y otras europeas de alcachofa (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus* (L.) Fiori) en las condiciones del Ebro. Tesis doctoral. Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Pública de Navarra. Pamplona, España.
- Macua, J., Arce, P. y López, B. 1991.** Multiplicación de la alcachofa en el Valle del Ebro. Navarra Agraria 65:3-6.

Capítulo 6.

Fertilización racional en alcachofa

Dra. Constanza Jana Ayala

Ingeniera Agrónomo M.Sc.

cjana@inia.cl

6.1. Aplicación del método racional a la fertilización de la alcachofa

Este método se basa en el llamado “balance nutricional”, el cual estima la diferencia entre la cantidad de nutrientes que requiere un cultivo para alcanzar un rendimiento dado y la cantidad que le puede aportar el suelo, para luego corregir esta diferencia por un factor de eficiencia, obteniendo la dosis a aplicar. La eficiencia expresa que las plantas sólo pueden recuperar una fracción del fertilizante aplicado y que, por lo tanto, la dosis será necesariamente mayor que el déficit estimado.

El balance nutricional se expresa por la siguiente ecuación:

$$\text{Dosis fertilización} = \frac{\text{Demanda cultivo} - \text{aporte suelo}}{\text{Eficiencia}}$$

La complejidad del método reside principalmente en cómo estimar el aporte del suelo, el cual varía en función de muchos factores, siendo uno muy importante el contenido de nutrientes en el suelo. En cambio, la demanda tiene una relación directa con la biomasa producida y se puede expresar finalmente en función del rendimiento esperado.

En el Manual de Fertilización (Rodríguez, 1995), se ha llevado la resolución de la ecuación de balance nutricional a tablas donde se puede encontrar la dosis para diferentes potencialidades productivas y niveles de disponibilidad de nutrientes en suelos de Chile.

La demanda del cultivo de alcachofa se observa en el **Cuadro 6.1**, de acuerdo a diversas fuentes.

Cuadro 6.1. Extracción del cultivo de alcachofa.

| Fuente bibliográfica | Extracción (kg ha) | | | Rendimiento (t ha) |
|----------------------|--------------------|-------------------------------|------------------|--------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | |
| 1 | 286 | 44 | 367 | |
| 2 | 275 | 89 | 445 | |
| 3 | 120 | 84 | 180 | 15,0 |
| 4 | 229 | 104 | 478 | 23,9 |
| 5 | 271 | 87 | 575 | 22,5 |

1 y 2 Hort Science V. 18(5).1983.

3 INIA Perú.

4 Anstett (1965) citado por Ribó (2004).

5 Pomares (1995) citado por Ribó (2004).

6.2. Cálculo de la dosis para alcachofa, en Parcela Experimental Pan de Azúcar, Región de Coquimbo

a) Análisis de suelo: (Cuadro 6.2). Se observa un nivel adecuado o alto en fósforo y potasio, asociado en el caso del fósforo, al efecto residual de muchos años bajo fertilización y, en el caso del potasio, a la riqueza natural de los suelos de la zona norte, más algún residuo de fertilizaciones.

La materia orgánica es baja, por lo que no se puede esperar un aporte muy alto de nitrógeno.

Cuadro 6.2. Análisis de suelo en dos cuarteles de producción de alcachofa, en Parcela Experimental Pan de Azúcar.

| Análisis | Unidad | Cuartel N°1 | Cuartel N°2 |
|----------------------|--------|-------------|-------------|
| pH | - | 7,1 | 7,4 |
| CE | dS/m | 2,1 | 2,8 |
| Materia orgánica | % | 1,2 | 1,5 |
| Nitrógeno disponible | mg/kg | 39 | 42 |
| Fósforo disponible | mg/kg | 40 | 31 |
| Potasio disponible | mg/kg | 182 | 248 |

b) Cálculo de la dosis de nitrógeno: Para nitrógeno, se desarrollará la ecuación de balance nutricional utilizando la siguiente información básica:

Demanda estimada = 240 kg ha (Ribo, 2004).

Aporte suelo estimado = 60 kg ha.

Eficiencia = 65%.

Dosis = $(240 - 60)/65\%$ = 277 kg ha.

c) Determinación de la dosis de fósforo y potasio: En estos dos nutrientes, se recurrirá a las tablas que relacionan las dosificaciones con los contenidos en el suelo (la ecuación está tabulada). En este caso se observa que los contenidos de fósforo y potasio se encuentran en un nivel que permite manejar los cultivos con las llamadas dosis de mantención.

Estas dosis de mantención para la alcachofa son (Rodríguez, 1995):

Fósforo (P_2O_5) = 75 kg ha.

Potasio (K_2O) = 80 kg ha.

- **Dosis de NPK determinada**

De acuerdo con esta información, en cada ciclo productivo del cultivo (puede ser más de uno por año), la fertilización a aplicar será del orden de:

Nitrógeno (N) = 280 kg ha.

Fósforo (P_2O_5) = 75 kg ha.

Potasio (K_2O) = 80 kg ha.

Anexo

Cuadro 6.3. Tabla de correspondencia entre índice de disponibilidad y contenido en el análisis de suelo para fósforo y potasio.

| Índice | P. Olsen (ppm) | K. Intercambio (ppm) |
|--------|----------------|----------------------|
| 1 | < 5 | < 30 |
| 2 | 5 - 10 | 30 - 60 |
| 3 | 10 - 15 | 60 - 90 |
| 4 | 10 - 20 | 90 - 120 |
| 5 | 20 - 25 | 120 - 150 |
| 6 | 25 - 30 | 150 - 180 |
| 7 | > 30 | > 180 |

Fuente: Rodríguez, 1995 Manual de Fertilización.

Cuadro 6.4. Dosificación de fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O), en alcachofa en base al análisis de suelo.

| Elemento | Índice de disponibilidad | | | | | | |
|-----------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Fósforo | 325 | 275 | 225 | 150 | 100 | 75 | 75 |
| Potasio: | | | | | | | |
| S. Arcilloso | 510 | 470 | 370 | 260 | 150 | M | M |
| S. Franco | 400 | 360 | 260 | 160 | M | M | M |
| S. Arenoso | 380 | 350 | 250 | 150 | M | M | M |

Nota: M = 80 kg K_2O /ha

Fuente: Rodríguez, 1995 Manual de Fertilización.

6.3. Literatura citada

Instituto de Innovación Agraria, INIA, Perú. 2004. Plan de producción de alcachofa. Disponible en <http://www.inia.gob.pe/SIT/consPr/adjuntos/2016.pdf>, leído el 10/12/2017.

Ribó, M. 2004. Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agroecosistemas hortícolas con manejo integrado ecológico. Disponible en http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UV/AVAILABLE/TDX-0519105-135709//ribo.pdf leído el 12/12/2008.

Rodríguez, J. 1995. Manual de Fertilización. Universidad Católica de Chile. Fac. de Agronomía. Santiago, 1995, 362 p.

Ryder, E., De Vos, N. and Bari, M. 1983. The Globe Artichoke (*Cynara Scolymus* L.) Hort Science. Vol 18(5).

Capítulo 7.

Riego en el cultivo de alcachofa

Rodrigo Márquez Antivilo,

Ingeniero Agrónomo

rodrigo.marquez@inia.cl

Claudio Balbontín Nesvara

Ingeniero Agrónomo, M.C., Dr.

claudio.balbontin@inia.cl

Introducción

La cantidad y calidad del agua aplicada al cultivo de alcachofa en forma de riego y para otros fines, representa el factor productivo más importante, tanto en rendimiento llevado a número y tamaño de cabezas cosechadas, como en calidad sensorial y compuestos funcionales presentes.

Para determinar un manejo adecuado del riego, tanto en cantidad de agua, forma de aplicación, tiempo y frecuencia de los eventos de riego; se debe tener presente que el objetivo del agua aplicada tiene cuatro fines principales:

- a) Humedecimiento inicial del suelo y humedad fácilmente aprovechable,
- b) Reposición del agua utilizada por transpiración del cultivo,
- c) Reposición del agua evaporada directamente desde el suelo, y
- d) Calidad de agua de riego.

Cada uno de los componentes señalados con anterioridad se analizan en detalle a continuación:

a) Humedecimiento inicial del suelo y humedad fácilmente aprovechable:

Cuando se aporta agua a través del riego, en la práctica llevamos agua al espacio poroso del suelo, desde donde las raíces de la planta pueden extraerla con mayor o menor dificultad. Esta dificultad depende de la fuerza con la que está

retenida el agua en la matriz del suelo, conocido como potencial matricial (ψ_m). El ψ_m es característico de cada clase textural de suelo, pero de manera general se considera que, en un suelo saturado, el agua es retenida con una tensión de 0 kPa, a capacidad de campo (CC) el agua se retiene con una tensión cercana a los 33 kPa mientras que en punto de marchitez permanente la tensión con que el agua se retiene alcanza los 1.500 kPa, condición en que el suelo está seco para las plantas. En términos cuantitativos, los valores de S.S., C.C. y P.M.P. varían en función de la clase textural del suelo y del grado de compactación al que estén sometidos. En este sentido, el contenido de agua en el suelo sobre CC se reconoce como agua libre (sujeta a drenaje), el contenido de agua entre CC y PMP como agua aprovechable (HA), mientras que el contenido de agua bajo PMP se considera no aprovechable por la mayoría de los cultivos. Un gráfico esquemático de lo descrito con anterioridad se puede ver en la **Figura 7.1**.

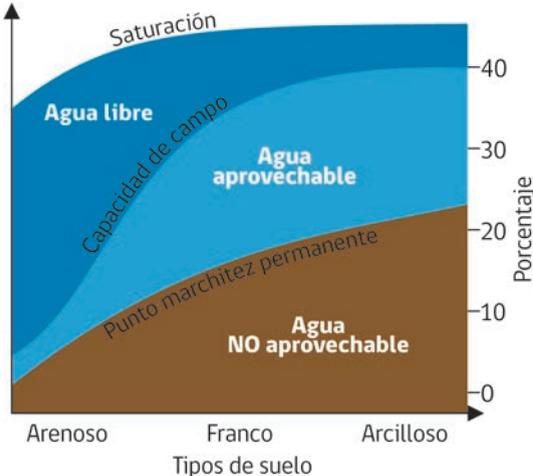


Figura 7.1. Esquema que relaciona distintos tipos de suelos con la capacidad de retención de agua en porcentaje volumétrico y el nivel de energía retenida.

Las características físicas de distintos tipos de suelo, según clase textural, se resumen en el **Cuadro 7.1**. En ella se observa que la humedad aprovechable, en suelo arenoso es escasa y en suelo franco es relativamente alta. Por otro lado, otros parámetros como la conductividad hidráulica saturada determinan cual es la tasa de riego que podemos aplicar, sin causar escorrentía superficial. La porosidad total y la densidad aparente señalan suelos compactados.

Cuadro 7.1. Resumen de las principales características físicas de los suelos.

| Tipo de suelo (clasificación) | Conducción Hidráulica saturada (mm/h) | CC (% v/v) | PMP (% v/v) | Humedad aprovechable (%) | Densidad aparente (g/cm ³) | Porosidad total (%) |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------|----------------|--------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|
| Arenosa (a) Normal | 114,0 | 9,4 | 5,0 | 4,4 | 1,42 | 46,4 |
| Areno Francosa (aF) Normal | 91,2 | 12,1 | 5,7 | 6,4 | 1,44 | 45,7 |
| Franco Arenosa (Fa) Normal | 50,3 | 17,9 | 8,1 | 9,8 | 1,46 | 44,9 |
| Franca (F) normal | 18,6 | 26,7 | 12,6 | 14,1 | 1,44 | 45,7 |
| Franco Limosa (FL) Normal | 12,2 | 32,1 | 13,7 | 18,4 | 1,37 | 48,3 |
| Limosa (L) normal | 18,9 | 31,6 | 6,3 | 25,3 | 1,37 | 48,3 |
| Franco Arcillo Arenosa (FAa) normal | 7,8 | 31,0 | 19,0 | 12,0 | 1,51 | 43,0 |
| Franco Arcillosa (FA) Normal | 0,8 | 42,0 | 29,9 | 12,1 | 1,36 | 48,7 |
| Franco Arcillo Limosa (FAL) normal | 5,9 | 37,9 | 21,0 | 16,9 | 1,30 | 50,9 |
| Arcillo Arenosa (Aa) normal | 0,8 | 37,1 | 26,0 | 11,1 | 1,48 | 44,2 |
| Arcillo Limosa (AL) normal | 12,2 | 32,1 | 13,7 | 18,4 | 1,37 | 48,3 |
| Arcillosa (A) normal | 0,8 | 42,0 | 29,9 | 12,1 | 1,36 | 48,7 |

Fuente: USDA + Saxton *et al.* 2006.

La facilidad o dificultad con que un cultivo pueda extraer el agua del suelo, estará dado por: Capacidad de raíces a explorar el perfil del suelo, realizar ajustes osmóticos internos, estado fisiológico del cultivo y de su edad. Así mismo, la conductividad hidráulica del suelo y la demanda evapotranspirativa del conjunto planta/atmósfera, también tendrán un efecto en la facilidad de aprovechamiento de agua del suelo. En este sentido, existe un concepto de riego conocido como

umbral crítico de riego (UR), el cual corresponde al límite al que un cultivo puede extraer agua del suelo sin caer en condiciones de estrés hídrico. El valor de UR es distinto para cada especie, familia, variedad y cultivar, de este modo, un cultivo sensible al déficit hídrico puede tener un UR del 20% de la humedad aprovechable, mientras que uno tolerante al déficit hídrico podría utilizar hasta un 70% del HA sin problemas. El rango de humedad comprendido entre CC y UR se denomina humedad fácilmente aprovechable (HfA) (Figura 7.2).

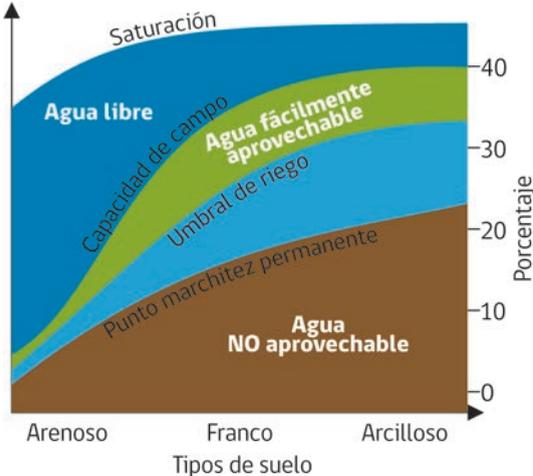


Figura 7.2. Esquema que relaciona distintos tipos de suelos con la capacidad de fracción de agua fácilmente aprovechable.

Si el cultivo se somete a humedades de suelo menores al UR pero sobre PMP hablamos de condiciones de estrés hídrico, ante lo cual el cultivo reduce su rendimiento en función de un factor de estrés (k_s), también característico de cada cultivo. Un contenido de humedad inferior a PMP usualmente gatilla procesos de defoliación, senescencia prematura o muerte de las plantas.

Al consultar el UR en diversas fuentes, como el Boletín FAO56 (Allen *et al.* 1998); se suele señalar un valor numérico de UR referencial que es válido para ciertas condiciones (ET_c estandarizada a 5 mm/día), sin embargo, la realidad climática es diferente en distintas localidades, por lo anterior se recomienda realizar ajustes a este valor en función de la **Ecuaación 1**, para lograr una máxima optimización y no sobre o sub estimar su valor al momento de realizar los riegos.

$UR \text{ Ajustado} = UR \text{ tabla} + 0,04 \times (5 - ET_c)$

Lo anterior se traduce en la práctica en que, si tenemos el cultivo de alcachofa con un UR definido en 45% de la HA según datos Boletín FAO 56 (Allen *et al.* 1998), pero la ET_c es de 7,5mm/día (alta demanda), el UR o la capacidad de extraer agua fácilmente por la planta se verá limitada hasta solo un 35% de la HA, por otro lado, si la ET_c es de 1,5mm/día (baja demanda), el UR mejoraría hasta un 59% de la HA. De este modo se pueden tener cultivos en zonas de mucha demanda evapotranspirativa que requieren un aumento de la frecuencia de riego para no caer en condiciones de estrés hídrico, mientras que el mismo cultivo desarrollándose en zonas de baja demanda evapotranspirativa, puede soportar frecuencias de riego más amplias sin mermas en el rendimiento.

Respecto al riego en condiciones de estrés Kolodziej (2012), trabajando en clima continental, con suelo franco limoso de pH 7,7 evaluó el manejo de riego por goteo con un umbral de riego del 60% y una situación sin riego (regado solo por las lluvias), de modo de someter al cultivo a un estrés hídrico intermitente. Los resultados indicaron un rendimiento de materia seca cosechada un 45% superior en el riego por goteo, junto a un 22,7% más de flavonoides por hectárea; por otro lado, la condición sin riego permitió encontrar un 6,78% más de ácidos cafeilquínicos por hectárea, aunque en términos de concentración de metabolitos secundarios por unidad de materia seca cosechada, la condición sin riego es más favorable, lo cual es de interés para la industria de compuestos funcionales y medicinales. Lo anterior tiene que ver con la relación directa que posee la alcachofa en cuanto a generación de metabolitos secundarios como mecanismo de resistencia al estrés, sacrificando rendimiento, pero ganando en compuestos funcionales.

Para fines de manejo del riego, es recomendable el uso de sensores de humedad de suelo para monitorear el momento adecuado para regar, de este modo, cuando se detecta la llegada de la humedad del suelo en la zona de raíces al UR, se debiese programar un riego para reponer la capacidad de almacenamiento calculada para el suelo que soporta el cultivo. La mayoría de los sensores de humedad actuales entregan una lectura en unidades de porcentaje de humedad volumétrica, este valor se debe cotejar con la curva característica del suelo para saber cuándo se está en CC o en UR y saber si corresponde regar.

Como la alcachofa presenta un arraigamiento superficial, se recomienda utilizar sensores de humedad a una profundidad de 10, 25 y 45 cm, siendo el primero el

que indica cuándo regar, mientras que el promedio de los tres indicará cuánto se debe regar. Si no se puede contar con sensores y registradores de forma permanente, se recomienda hacer monitoreos con un único sensor “pinchando” el suelo a distintas profundidades en varios puntos del cuartel a regar. Este tipo de sensores tiene un área de influencia de cerca de 125 cm³, lo que lo hace idóneo para el monitoreo de cultivos hortícolas.



Figura 7.3. Sensores de humedad de suelo instalados en la zona del bulbo húmedo creado por el riego por goteo en Parcela Experimental Pan de Azúcar, INIA, Región de Coquimbo.

Bajo las condiciones de riesgo de salinidad del agua de riego imperantes en la Región de Coquimbo, es recomendable hacer junto con el monitoreo de humedad de suelo, un monitoreo de salinidad. Lo anterior ayudará a gatillar riegos lixiviativos si se supera el umbral definido para el cultivo de alcachofa (este umbral se menciona más adelante)

Para la correcta lectura de los sensores de humedad, se debe consultar los valores tabulados para cada suelo y bajo distintas demandas ambientales según se señala en el **Cuadro 7.2.**

Cuadro 7.2. Valores de guía para interpretación de humedad de suelos idóneos para la alcachofa en distintos tipos de suelo y distintas demandas evapotranspirativa.

| Tipo de suelo (Clasificación USDA + Saxton <i>et al.</i> 2006) | Días de baja demanda evapotranspirativa (ET _c 1,5 mm/día) | | Días de demanda evapotranspirativa estándar (ET _c 5 mm/día) | | Días de alta demanda evapotranspirativa (ET _c 7,5 mm/día) | |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| | Humedad fácilmente aprovechable Total (% v/v) | U.R, lectura en sensor (% v/v) | Humedad fácilmente aprovechable Total (% v/v) | U.R, lectura en sensor (% v/v) | Humedad fácilmente aprovechable Total (% v/v) | U.R, lectura en sensor (% v/v) |
| Arenosa (a) Normal | 2,6 | 6,8 | 2,0 | 7,0 | 1,5 | 7,9 |
| Areno Francosa (aF) Normal | 3,8 | 8,3 | 2,9 | 8,6 | 2,2 | 9,9 |
| Franco Arenosa (Fa) Normal | 5,8 | 12,1 | 4,4 | 12,5 | 3,4 | 14,5 |
| Franca (F) normal | 8,3 | 18,4 | 6,3 | 18,9 | 4,9 | 21,8 |
| Franco Limosa (FL) Normal | 10,9 | 21,2 | 8,3 | 22,0 | 6,4 | 25,7 |
| Limosa (L) normal | 14,9 | 16,7 | 11,4 | 17,7 | 8,9 | 22,7 |
| Franco Arcillo Arenosa (FAa) normal | 7,1 | 23,9 | 5,4 | 24,4 | 4,2 | 26,8 |
| Franco Arcillosa (FA) Normal | 7,1 | 34,9 | 5,4 | 35,3 | 4,2 | 37,8 |
| Franco Arcillo Limosa (FAL) normal | 10,0 | 27,9 | 7,6 | 28,6 | 5,9 | 32,0 |
| Arcillo Arenosa (Aa) normal | 6,5 | 30,6 | 5,0 | 31,0 | 3,9 | 33,2 |
| Arcillo Limosa (AL) normal | 10,9 | 21,2 | 8,3 | 22,0 | 6,4 | 25,7 |
| Arcillosa (A) normal | 7,1 | 34,9 | 5,4 | 35,3 | 4,2 | 37,8 |

Cabe señalar que estos valores de humedad de suelo deben ser medidos en la zona de raíces y trabajar con promedio de varios puntos dentro del huerto. En la (Figura 7.4) se puede leer una humedad volumétrica de 24% y una salinidad de 0,096 dS/m. nótese como el valor medido para este suelo, está en el límite del U. tabulado en el Cuadro 7.2 anterior (21,8%) para una condición de alta demanda evapotranspirativa por lo que sería necesario gatillar un riego. Por otro lado, este mismo valor en una condición de baja demanda evapotranspirativa (20,9%) tendría margen para un día más sin regar sin caer en condición de estrés. Además, se debe conocer la variabilidad edáfica de la zona cultivada, ya que no es raro que un cultivo y sector de riego este posicionado sobre varios tipos de suelo que requieren manejos distintos.



Figura 7.4. Sensores de humedad y salinidad de suelos franco, en Parcela Experimental Pan de Azúcar, INIA, Región de Coquimbo.

b) Reposición del agua utilizada por transpiración del cultivo:

La mayor parte del agua de riego aportada a un cultivo se transfiere hacia la atmósfera mediante el proceso de transpiración de las plantas. El propósito principal de este proceso es la regulación térmica, manteniendo la temperatura de los tejidos dentro de los rangos de mayor actividad enzimática y por lo tanto de mayor actividad fotosintética. En última instancia, la capacidad transpirativa de la planta se correlaciona directamente en la cantidad de follaje vivo por unidad de superficie y las condiciones ambientales de la atmósfera, lo cual en términos

de agronomía del riego es conocido como coeficiente de cultivo basal (K_{cb}). Este coeficiente no es estático, sino que variable según la edad, la arquitectura, las adaptaciones fisiológicas y otros factores de cada cultivo. Las necesidades de riego calculadas para cualquier cultivo quedan dadas por el producto del K_{cb} y la demanda de evapotranspiración de referencia (ET₀), este último componente se puede obtener desde estaciones agrometeorológicas representativas de cada huerto (<http://agromet.inia.cl>) o, en su defecto, por el método de la bandeja.

Una representación comparativa del crecimiento del cultivo de alcachofas bajo distintos sistemas de riego y edad, se puede apreciar en la **Figura 7.5**.



Figura 7.5. Imagen aérea de un cultivo de alcachofa regado por pivote central.

En la Figura 7.5, se puede ver los distintos estados de cobertura del huerto, donde abajo, a la izquierda el cultivo se encuentra en su segundo año, mientras que a la derecha está en su tercera temporada. Se puede visualizar que la fracción de suelo descubierto es relativamente alta.

Como se puede apreciar en la **Figura 7.6**, el riego por goteo propicia un cubrimiento del suelo más anticipado que otros métodos de riego. Además, se ha observado que los huertos envejecidos, de dos o más temporadas, comienzan a decaer en producción y en cobertura producto de la muerte de plantas y aumento de malezas. No obstante, la curva se trunca a mediados de septiembre, es posible que la cosecha se pueda extender hasta octubre si las condiciones climáticas y de mercado lo permiten.

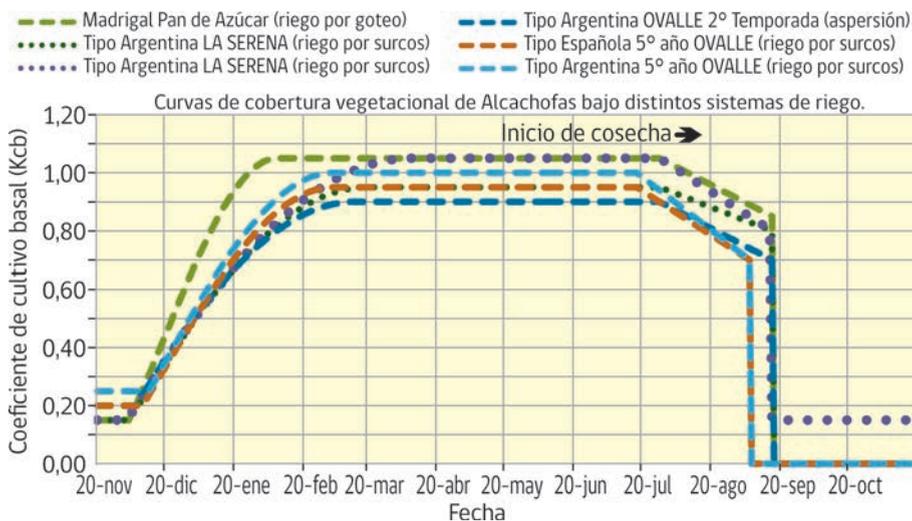


Figura 7.6. Modelo del coeficiente de cultivo basal de varios huertos de alcachofa expuestos a distintos manejos de riego y edad. Las curvas se obtuvieron en base al índice vegetacional NDVI desde imágenes satelitales multiespectrales¹ de huertos visitados durante 2018.

La comparación a nivel productivo de distintos sistemas de manejo de riego en alcachofa concuerda con la información presentada en la Figura 7.6. Donde, por ejemplo, un ensayo en alcachofas propagadas por semillas (Boari *et al.*, 2000), que contó tanto con riego por goteo como con riego por aspersión, encontró que el riego por goteo generó un crecimiento más rápido de la alcachofa hasta periodo de cosecha en la primera temporada, aunque al final el riego por aspersión alcanzó una cobertura mayor. También se notó una diferencia de crecimiento entre la primera y segunda temporada del cultivo, con un apreciable deterioro del 25% del LAI final, aunque según los datos de este autor, igualmente la producción fue mayor a la segunda temporada con 102.300 cabezas/hectárea versus 93.000 cabezas/hectárea, en la primera temporada.

Otros ensayos comparativos de métodos de riego y fertilización se realizaron en Tunes 1997 y 1998, en suelos arcillosos y clima árido (Mansour y Mougour, 2005), los resultados señalan que el riego localizado por goteo con fertirrigación produce mejoras en cuanto a rendimiento por superficie, con 81.888 cabezas por hectárea y rendimiento por planta con 8,3 cabezas/planta al mismo tiempo las alcachofas fueron de mayor peso, mayor calidad aparente, de cosecha anticipada

¹ Relación utilizada $K_{cb} = NDVI \times 1,44 - 0,1$ (Calera *et al.* 2017)

y con un rebrote más rápido. En comparación, riego por goteo con fertilización al voleo y riego por surcos con fertilización al voleo entregaron 68.304 (7,0 cabezas/planta) y 48.756 cabezas por hectárea (5,9 cabezas/planta) respectivamente.

Ensayos de tasa de riego por aspersión, con una eficiencia de aplicación computada del 75%, se realizaron en Navarra, España (clima semiárido), en la alcachofa tipo Argentina por Garnica *et al* (2004), permitieron obtener la curva de rendimiento versus ET_c utilizando un K_c teórico de 0,75 (Figura 7.7), donde se puede apreciar que mayores cantidades de agua de riego tienen efecto positivo sobre el rendimiento.

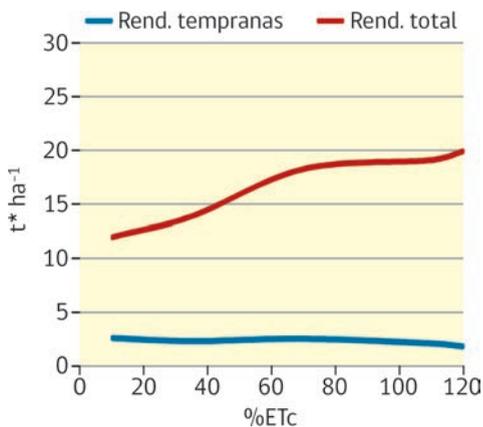


Figura 7.7. Relación entre el rendimiento de alcachofas y la tasa de riego.

Los resultados de Garnica *et al.* (2004), indican que el porcentaje de plantas perdidas fue menor con una tasa de riego del 110% de la ET_c con un 92% de plantas bien desarrolladas; las tasas de riego de 70% 120% de la ET_c no mostraron mejoras significativas, obteniendo un 90% de plantas bien desarrolladas; bajo el máximo, la disminución de plantas con buen desarrollo fue cercana a un 1,60 $t*ha^{-1}$ por cada 10% de disminución de la ET_c . Los rendimientos en número de cabeza por hectáreas tuvieron un máximo con una tasa de 120% de la ET_c (154.581 cabezas hectárea), aunque el mayor número de cabezas tempranas se obtuvo con una tasa del 70% de la ET_c (15.024 de 146.100 cabezas por hectárea), por otro lado, se encontró una diferencia en peso por cabeza entre tratamientos (131 a 139 g en tempranas y 119 a 131 g en los totales).

Otros ensayos de riego, con cintas sub-superficiales enterradas a 15 cm y con cubierta de mulch plástico fueron llevados a cabo por Shinohara *et al.* (2011). Este ensayo se llevó a cabo en el sur de Texas (Clima húmedo subtropical), en suelo franco arcilloso durante tres temporadas entre 2005 y 2008 con material de semillas trasplantado de invernadero a los 2 meses (16 de diciembre). Se probaron

tasas de riego de 50, 75 y 100% de la ET_c utilizando como base la curva de K_c del boletín FAO 56 con leves modificaciones por el uso de mulch y el crecimiento del cultivo ($K_{c\text{ ini}} = 0.3$, $K_{c\text{ mid}} = 0.8$, and $K_{c\text{ end}} = 0.95$). El riego diferenciado comenzó a los 45 días de plantadas en la primera temporada y en octubre en la segunda temporada. La curva de rendimiento versus ET_c desarrollada en base a datos de Shinohara *et.al* (2011) se ve en la **Figura 7.8**. Se puede ver que los mayores rendimientos se consiguen en la segunda y tercera temporada y que existe una respuesta creciente de los rendimientos respecto a la cantidad de riego aplicado.

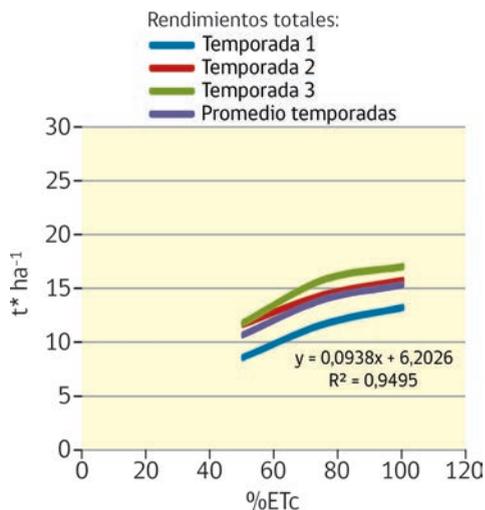


Figura 7.8. Relación entre el rendimiento de alcachofas y la tasa de riego para tres temporadas consecutivas.

La baja de rendimientos totales sigue una relación de $0,94\text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ por cada 10% de disminución de ET_c . Los rendimientos en alcachofas comercializables alcanzaron un máximo con la tasa del 100% de la ET_c , alcanzando mínimos de producción con 50% de la ET_c de un 20-35% entre las temporadas del ensayo. Esta baja de rendimiento se asoció a menor peso por alcachofa y número de alcachofas comercializables, además se encontraron contenidos más altos de fenoles y ácido clorogénico en las alcachofas sometidas al tratamiento de 50% de ET_c , es decir en condiciones de estrés.

Como se puede ver en los ensayos presentados anteriormente, la información de riego suele expresarse en términos de K_c y no de K_{cb} , esto es debido a la facilidad de cálculo que permite la utilización de este valor, en donde basta multiplicar el K_c por la ET_c para obtener una estimación del riego necesario. No obstante, este es un cómputo que entrega una buena aproximación a las necesidades de riego, el estado del arte actual y las tecnologías disponibles hacen recomendable la utilización del cálculo de riego en base al coeficiente dual, donde se puede incorporar parámetros como el porcentaje de suelo mojado, la utilización de mulch, y monitoreo satelital.

En base a lo señalado anteriormente, a continuación, se profundiza en los ajustes necesarios para la utilización del coeficiente de cultivo dual, sin embargo, los datos de K_c y balances hídricos se presentarán un par de títulos más adelante en forma simplificada, en este mismo capítulo de riego.

Como los valores de K_{cb} no son aplicables en todas las condiciones, cuando el K_{cb} es mayor que 0,45 se requieren ajustes si: a) la velocidad del viento es mayor o menor que 2 m/s (en el rango de 1 a 6 m/s), y b) si la humedad relativa mínima (HR_{min}) difiere de 45% (en el rango de 20-80%). Lo cual es proporcional a la altura del cultivo (h), como se puede ver en la **Ecuación 2**.

$$K_{cb} \text{ Ajustado} = K_{cb} \text{ Base} + [0,04 \times (\text{Vel.Viento}_{2m} - 2) - 0,004 \times (H.R._{min} - 45)] \times \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3}$$

En la práctica, lo anterior significa que con velocidades de viento menores a 2m/s y humedades relativas mínimas, mayores a 45% se computará un K_{cb} menor al tabulado, mientras que velocidades de viento mayores que 2 m/s sumado a HR_{min} menores a 45% y a mayor altura del cultivo computaran un K_{cb} mayor al tabulado. Lo anterior no tiene que ver con un cambio en la cobertura vegetal, sino que con el coeficiente aerodinámico del cultivo y como se afecta la capa límite sobre cada hoja y, en términos de riego, afecta la cantidad de agua que es necesario reponer.

Los valores necesarios para realizar programación del riego mediante el método del coeficiente de cultivo dual se pueden ver en el **Cuadro 7.3**.

Toda el agua que no sea absorbida por las raíces del cultivo puede ser considerada como una ineficiencia. Para maximizar el uso eficiente, se debe reponer el agua extraída solo antes de acabar la HfA , aplicar agua solo a la zona de raíces, evitando llevar el agua a mayor profundidad y con bulbos más anchos que la sombra de las plantas y mantener controladas las malezas que pueden consumir una proporción importante.

En el caso particular del cultivo de alcachofa, se ha descrito como especialmente sensible a condiciones ambientales de baja humedad relativa (climas secos), siendo las mejores zonas de cultivo, áreas costeras en climas mediterráneos. Experiencias realizadas por INIA Intihuasi han demostrado que climas como los de los valles interiores de la Región de Coquimbo, con humedades relativas

Cuadro 7.3. Listado de parámetros de cultivos necesarios para realizar cálculos de riego mediante la metodología del coeficiente de cultivo dual publicado en Boletín FAO 56 (Allen et al. 1998), con anexos de cálculos dados por Allen et al. (2005) y Jensen et al. (2016).

| Nombre | Profundidad arraigamiento máximo (m) | Umbral crítico (a ET de 5mm/d) | K_{cb} inicial | K_{cb} medio | K_{cb} Final | Altura máxima cultivo (m) | Fecha de plantación | Etapa inicial (días) | Etapa desarrollo (días) | Etapa media (días) | Etapa tardía (días) | Total |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|------------------|----------------|----------------|---------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|-------|
| • Alcachofa Var. Madrigal, Riego por Goteo. Mes de Diciembre, Pan de Azúcar Región de Coquimbo. (NDVI) | 0,60 | 0,45 | 0,15 | 1,05 | 0,85 | 0,8 | Dic. | 30 | 50 | 170 | 50 | 300 |
| • Alcachofa Var. Argentina, Riego por Surcos. Mes de Diciembre, La Serena Región de Coquimbo. (NDVI) | 0,60 | 0,45 | 0,15 | 0,95 | 0,80 | 0,8 | Dic. | 20 | 100 | 130 | 50 | 300 |
| • Alcachofa Var. Argentina, Primera Temporada, Riego por Aspersión. Diciembre, Ovalle Limarí. (NDVI) | 0,60 | 0,45 | 0,15 | 1,05 | 0,80 | 0,6 | Dic. | 15 | 125 | 110 | 50 | 300 |
| • Alcachofa Var. Argentina, Segunda Temporada, Diciembre, Ovalle Limarí. (NDVI) | 0,60 | 0,45 | 0,20 | 0,90 | 0,70 | 0,6 | Dic. | 15 | 100 | 135 | 50 | 300 |
| • Alcachofa Var. Española, Quinta Temporada, Riego por Surcos. Diciembre, Ovalle, Limarí. (NDVI) | 0,60 | 0,45 | 0,20 | 0,95 | 0,70 | 0,7 | Dic. | 30 | 75 | 135 | 50 | 290 |
| • Alcachofa Var. Argentina, Quinta Temporada, Riego por Surcos. Diciembre, Ovalle Limarí. (NDVI) | 0,60 | 0,45 | 0,25 | 1,00 | 0,70 | 0,7 | Dic. | 30 | 75 | 135 | 50 | 290 |

menores al 40% generan un endurecimiento de las brácteas de la alcachofa, haciéndola no comercializable². Este problema se explicaría por la incapacidad del sistema radical de la alcachofa para satisfacer la demanda evapotranspirativa de la parte aérea, especialmente en la etapa post plantación (octubre a noviembre). Mauro *et al.* (2008) realizaron ensayos respecto a este problema, implementando un sistema de nebulización sobre el follaje que permitió modificar el microclima del cultivo en época crítica, disminuyendo la temperatura máxima en 2°C y aumentando la humedad relativa máxima en torno a 1,5%. De este modo, aumentaron las plantas establecidas (+ 5,7%), se redujo la atrofia de cabezas (-3%), aumentó el número de cabezas por planta (+ 0,5 unidades) y las unidades comercializables (+ 5,5%). Los ajustes de humedad señalados por este ensayo son fácilmente computables utilizando la Ecuación 2 de K_{cb} ajustado, que se presentó anteriormente.

c) Reposición del agua evaporada directamente desde el suelo:

Desde el momento en que el suelo es humectado con el riego, queda expuesto a la demanda ambiental, ocurriendo un fenómeno de "secado" denominado evaporación directa (K_e y K_t) que se considera una ineficiencia ya que no aporta directamente a la productividad del cultivo. Este fenómeno de secado ocurre a nivel superficial en la fracción de suelo mojado, es decir los primeros 15 cm de suelos arcillosos o francos, en los primeros 10 cm en suelos arenosos y en menos de 5 cm en suelos sellados en superficie. La tasa a la que ocurre este proceso es directamente proporcional a la fracción de suelo mojado expuesto, a la cantidad de agua en el suelo y a la ET_0 . Así mismo, es inversamente proporcional a la cantidad de sombra que genera el cultivo sobre el suelo (K_{cb}).

Para minimizar el proceso de evaporación directa se debe apuntar a la reducción de la fracción de suelo mojado durante los eventos de riego, lo cual es factible aplicando riego en forma localizada como el goteo (**Figura 7.9**), utilizando coberturas de suelo tipo mulch, tanto plástico como orgánico, utilizando variedades con plantas de rápido cubrimiento, evitando, si es posible, los riegos a horas de máxima demanda ambiental (ET_0) y regando solo antes de alcanzar el umbral crítico de riego para el cultivo.

²Esta situación si resulta positiva para la producción de semillas.



Figura 7.9. Control de la superficie para disminuir la evaporación directa del suelo mojado.

Una estimación del agua perdida por evaporación directa se presenta en el **Cuadro 7.4**, cabe señalar que las ineficiencias propias del sistema de riego no son parte de este cálculo y deben adicionarse posteriormente.

Cuadro 7.4. Estimación de volumen de agua perdido como evaporación directa del suelo para distintos casos de riego y demanda ambiental.

| Suelo Franco Arcilloso | La Serena (El Romeral) | Coquimbo (Pan de Azúcar) | Ovalle (Camarico) |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Goteo (45% de suelo mojado) | 1.450 m ³ /ha (16% del agua de riego) | 1.250 m ³ /ha (16% del agua de riego) | 1.700 m ³ /ha (17% del agua de riego) |
| Aspersión 1 temporada (100% de suelo mojado) | 1.880 m ³ /ha (20% del agua de riego) | 1.925 m ³ /ha (21% del agua de riego) | 2.450 m ³ /ha (23% del agua de riego) |
| Surcos 1 temporada (100% de suelo mojado) | 1.750 m ³ /ha (19% del agua de riego) | 1.810 m ³ /ha (21% del agua de riego) | 2.300 m ³ /ha (22% del agua de riego) |

Se puede observar que el sistema de riego por goteo, con una fracción de suelo acotado permite gestionar de forma más eficiente el agua. Como se puede ver en el Cuadro 7.4, la cantidad de agua que se pierde por evaporación directa no es menor, representando entre un 16% y un 23% del agua de riego aplicada al cultivo bajo condiciones normales, es decir sin control de salinidad por riegos

lixiviativos. Experiencias de uso de cubiertas plásticas por INIA en Pan de azúcar avalan su uso, pero preferentemente en cultivos de temporada larga y alto retorno como lo es el tomate en parrón. Se estima que la utilización de coberturas plásticas u orgánicas pueden reducir la evaporación directa en un 50% para el riego por goteo. El riego por aspersión hace necesaria la utilización de coberturas de suelo permeables, aunque la efectividad del ahorro de agua no ha sido comprobada, se estima menor al 50%. En el caso de riego por surco, el uso de cubiertas de suelo no es práctico.

d) Calidad de agua de riego:

La calidad del agua de riego está en gran parte asociada a los solutos presentes en ella. Ya sea por efecto osmótico (ψ) en el caso de la salinidad, toxicidades específicas o disminución de la infiltración de agua en el suelo, los cultivos ven mermada su productividad por diversos mecanismos en proporción a la intensidad del efecto y su tolerancia o adaptación (**Figura 7.10**). El límite tolerado por alcachofas en extracto saturado es de 2,5:1. Superado este límite, los modelos indican que existe un decaimiento lineal de los rendimientos, que en el caso de las alcachofas se refiere a unidades comerciales.

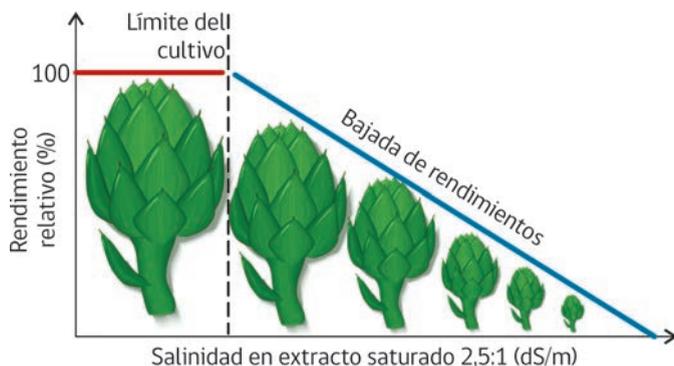


Figura 7.10. Esquematación que representa el límite tolerado por el cultivo de alcachofas en cuanto a salinidad medida en extracto saturado 2,5:1.

El efecto salino usualmente se mide como conductividad eléctrica del agua (EC_w) o, en el caso del suelo (EC_s), se mide en un extracto en pasta saturada. Las unidades usuales son mmhos/m, $\mu S/cm$ o dS/m.

La salinidad del suelo es directa consecuencia de la calidad del agua de riego utilizada. El efecto salino actúa, en la práctica, disminuyendo la fracción de humedad aprovechable para la planta, ya que aumenta la tensión con la que es retenida el agua en el suelo, haciendo más difícil para el cultivo su extracción. En la práctica puede ser manifiesta de forma similar al estrés hídrico (**Figura 7.11**).

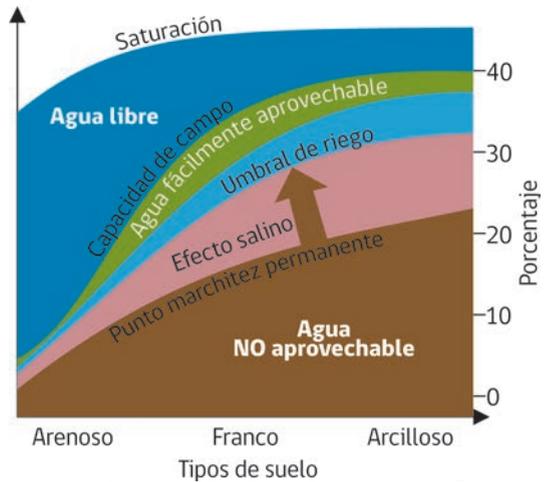


Figura 7.11. Esquema que representa el efecto de la salinidad del suelo.

Generalmente, asociado a problemas de salinidad, se pueden presentar problemas por exceso de nitratos, bicarbonatos y pH elevado. Lo anterior presenta problemas adicionales en riego por aspersión, cuando se moja el follaje. Adicionalmente, se pueden presentar toxicidades de ciertos iones como cloro, boro o sodio, siendo este último también responsable de dificultades de infiltración en suelos sódicos (pérdida de estructura del suelo). Es importante recalcar la diferencia entre un problema de sodicidad y uno de salinidad, problemas que pueden presentarse de forma independiente y tienen soluciones distintas, siendo la sodicidad remediable con enmiendas químicas como yeso, azufre o ácido sulfúrico mientras que la salinidad se contrarresta con riegos lixiviativos o de mayor frecuencia. En todo caso ambos efectos interactúan entre sí, como se puede ver en la **Figura 7.12**.

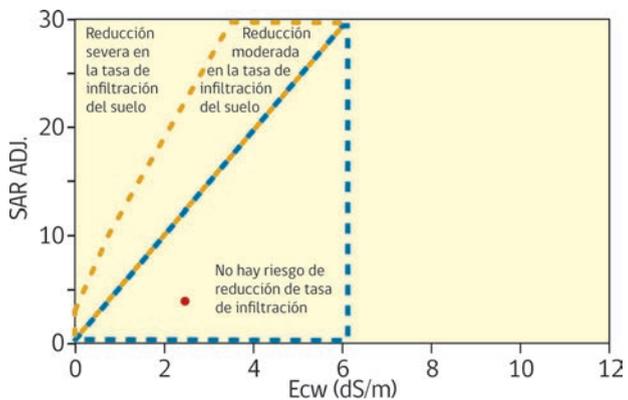


Figura 7.12. Riego de reducción de la tasa de infiltración debido a la sodicidad del agua de riego en contraposición a la salinidad de la misma.

Para monitorear la salinidad del agua de riego se puede hacer uso de sensores móviles o enviar muestras a laboratorios especializados. La primera opción requiere una inversión inicial importante de más de 12 UF, mientras que la segunda tiene un valor cercano a 1,5 UF. En la **Figura 7.13**, donde se puede ver el equipo donde, entre otras variables, un valor de salinidad de 685 US/CM equivalente a 0,685 DS/M (ECW). Este monitoreo se realizó en un embalse de acumulación de la Parcela Experimental de INIA en Pan de Azúcar, durante marzo de 2018. El agua proviene del Embalse Puclaro a través del Canal Bellavista.



Figura 7.13. Instrumento de monitoreo de la calidad de las aguas.

Como la condición de salinidad del agua de riego, ya sea de pozo o canal, varía durante la temporada es recomendable realizar al menos dos monitoreos por temporada, sobre todo en zonas de reconocido riesgo de salinización.

Un factor crítico para el control de sales y otros iones acumulados es la capacidad de drenaje del suelo, ya que en última instancia lo que se busca como remedio es sacar los iones y sales por arrastre desde la zona de raíces superficiales.

Una práctica recomendable en sistemas de riego tradicional es la utilización de una fracción de riego para lavado de sales (LR). Aquí se define una salinidad de suelo objetivo (EC_e), un valor ante el cual el cultivo tiene un rendimiento conocido, y se ingresa al cómputo la calidad de agua medida (EC_w); el resultado se aplica como fracción de agua adicional (**Ecuación 3**) al riego calculado según la demanda evapotranspirativa (ET_c) y la eficiencia de aplicación. Una lluvia puede tener un efecto de lavado de sales si alcanza suficiente profundidad en el perfil de suelo.

$$LR = \frac{EC_w}{5 \times (EC_e - EC_w)}$$

Por su parte, la sodicidad se evalúa en términos de porcentaje de sodio adsorbido respecto a otros cationes (SAR) o como SAR ajustado (SAR_{adj}) a la salinidad (EC_w), a la relación bicarbonatos/Calcio, así como a la presión parcial de CO_2 en la superficie del suelo. **Ecuación 4.**

$$SAR = \sqrt{\frac{Na \text{ (meq/l)}}{Ca \text{ (meq/l)} + Mg \text{ (meq/l)}} \times 2}$$

$$SAR_{adj} = \sqrt{\frac{Na \text{ (meq/l)}}{Ca_{adj} \text{ (meq/l)} + Mg \text{ (meq/l)}} \times 2}$$

Ensayos realizados por Francoise *et al* (1991) en alcachofas propagadas por semillas, en clima desértico y suelo franco, montmorillonítico y calcáreo, indican que con el agua de riego salinizada (NaCl y CaCl) hasta 2,0 dS/m (EC_w) o 6,25 dS/m en suelo (EC_e), el 20% de las alcachofas no fue comercializable debido a daño de las brácteas internas. Al aumentar la salinidad a 10 dS/m (EC_w) o 11,6 dS/m (EC_e), las pérdidas alcanzaron un 50%. El efecto estaría asociado a un déficit de calcio³ que en última instancia se manifiesta como pardeamiento (oxidación de polifenoles) propiciando infecciones con *Botrytis* y/o *Erwinia*.

Ensayos de riego en condiciones de salinidad realizados en alcachofas propagadas de forma vegetativa y cultivada por dos años en invernadero y con un 10% de LR (Grainfenberg *et al.* 1995), indicarían que la alcachofa tiene un límite de tolerancia a la salinidad del agua (EC_w aumentada con NaCl) de 2,1 dS/m, reduciendo el rendimiento total (medido en materia seca) de 6,93% por cada incremento de 1,0 dS/m (EC_w) lo que en suelo significó 4,46 dS/m (EC_e) y una pendiente de caída de rendimientos de 11,45% por cada 1 dS/m. Los tejidos más sensibles al efecto salino serían los botones florales, las hojas superiores y el tallo. Los mecanismos de tolerancia a la salinidad estarían dados por la capacidad de acumular iones y sales (Cl y Na) en vacuolas compartimentalizadas de las hojas medias y bajas.

Ensayos en salinidad con cuatro cultivares propagados por semillas en suelo franco y regados por goteo (Túnez), donde se alcanzó una salinidad de suelo (EC_e) 6,4 a 13,7 dS/m máxima al final y 3,8 a 7,1 dS/m en promedio de la segunda temporada sin

³ La principal función del calcio es ser componente de la pared celular vegetal, dando integridad estructural a los tejidos, su movimiento es xilemático y hacia zonas de mayor demanda transpirativa como las hojas.

lluvias (Boari *et al.*, 2004); indicarían que el principal efecto de la salinidad sobre la alcachofa sería sobre el peso total de la cosecha por planta y el número de cabezas cosechada. Lo anterior se condice con lo señalado por Francoise *et al.*, (1991).

Tarantino *et al.*, (2005) realizó ensayos de tasas de riego en el sur de Italia apuntando a ajustar la fracción de lavado (LR) en suelos arcilloso con agua de salinidad de 3,0 a 3,5 dS/m (EC_w), la cual se encuentra por sobre los umbrales encontrados por Francoise (1991) y Grainferberg (1995). El ciclo del cultivo se extendió durante dos temporadas entre 1998 y 1999, donde se aplicó una fracción de lavado del 16% sobre la ET_c encontrando diferencia solo al finalizar la temporada de riego en la primera temporada (1998), con una EC_e de 5,0 dS/m en el cultivo control versus 3,1 dS/m en donde se aplicó riego lixiviativo, además de una tendencia a salinización del horizonte más profundo (20–40 cm) respecto al superficial (0–20 cm). Lo anterior se manifestó significativamente solo en el número de alcachofas cosechadas. Se señala también que las lluvias ocurridas normalmente bajo esa condición climática ayudan al lavado de sales, lo que se manifestó en el ensayo en la segunda temporada con condiciones de EC_e medida en suelo, iguales en ambos tratamientos.

El riego con agua salina fue documentado en mayor detalle por Saleh S.A. *et al.*, (2012), quien realizó ensayos multivariantes de tasa de riego y salinidad en distintas etapas de cultivos, en una variedad propagada vegetativamente durante dos temporadas de crecimiento en Egipto. Las curvas de respuesta extraídas de los datos de Saleh pueden ver en la **Figura 7.14**.

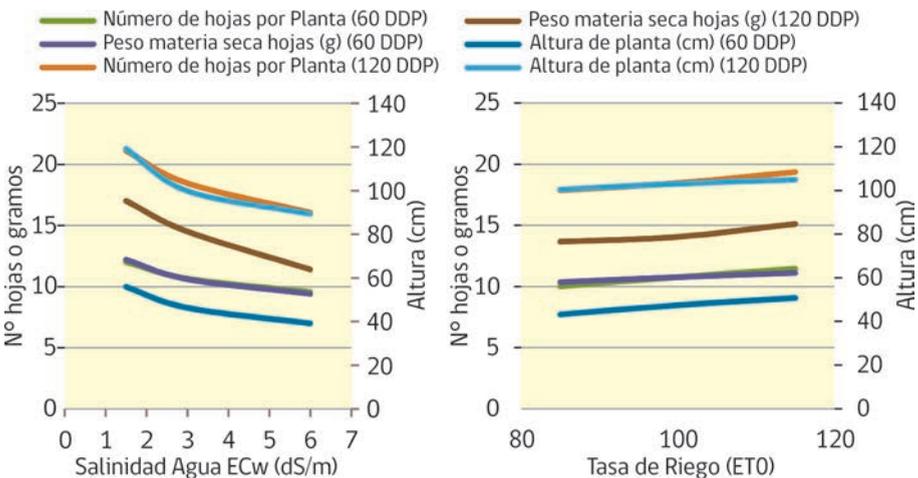


Figura 7.14. Izquierda: Respuesta de la alcachofa a salinidad, Derecha: Respuesta de la alcachofa a riego (Saleh *et al.* 2012).

El cultivo de alcachofas sería posible incluso con aguas residuales, como demostró un ensayo realizado por Gatta, *et al.* (2016), donde se utilizó tres tratamientos de agua de con EC_w de 0,6; 1,3 y 1,3 dS/m y SAR de 1,8; 5,4 y 5,0 respectivamente para cada tratamiento. El ensayo se realizó en el sur de Italia, con suelo franco durante dos temporadas. Los rendimientos totales fueron de 7,29, 9,17 y 8,47 t ha^{-1} para cada tratamiento con un número de cabezas comercializables 78.330, 88.330, 83.680 respectivamente para cada tratamiento de agua.

Teniendo los antecedentes agronómicos de crecimiento de cultivo, tipo de suelo, calidad de agua y demanda evapotranspirativa es posible aplicar modelos matemáticos para predecir y calendarizar el riego de diversos cultivos. Específicamente en alcachofas, Visconti *et al.* (2014), optimizó la calendarización de riego en un huerto de alcachofas comercial en Valencia, España (clima semi-árido). La correlación fue aceptable entre el modelo y los datos de terreno en cuanto a EC_e medida en suelo a distintas profundidades, con diferencias solo debidas sobre-fertilización. Las principales recomendaciones del modelo matemático son el uso de una menor cantidad de agua (3.250 a 4.500 m^3/ha en vez de 6.940 m^3/ha) aumentando la frecuencia de riego en vez de riegos largos que favorecen el drenaje excesivo, todo lo anterior manteniendo la humedad de suelo dentro de parámetros idóneos y la salinidad sin exceder el umbral del cultivo (EC_e límite de 4,9 dS/m según Shannon y Grieve, 1999).

De los ensayos revisados anteriormente, es recomendable utilizar un umbral de salinidad en extracto saturado (EC_e) de 6,0 dS/m, ya que es el que afecta directamente a la producción de cabezas comercializables. En base a esto se calcula la fracción de lavado (L.) necesaria para distintas aguas de riego en lo que a salinidad (EC_w) respecta (**Cuadro 7.5**). A mayor salinidad del agua de riego, mayor es la fracción de lavado necesaria para mantener los rendimientos.

Cuadro 7.5. Fracción de lavado recomendada para mantener los rendimientos dentro de los rangos esperados.

| | Salinidad de agua | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 0,3 dS/m | 0,6 dS/m | 1,2 dS/m | 2,4 dS/m | 4,8 dS/m |
| FL (LR) para rendimiento esperado de: | | | | | |
| 100% | 3% | 5% | 12% | 26% | 70% |
| 90% | 2% | 4% | 8% | 17% | 42% |
| 75% | 2% | 4% | 7% | 16% | 37% |
| 50% | 1% | 2% | 5% | 11% | 24% |

Respecto al riesgo de sodicidad, se señala que la efectividad de las enmiendas es más efectiva con EC_w menor a 0,2 dS/m o con SAR alto y EC_w menor a 1,0 dS/m pudiendo utilizarse, por ejemplo, ácido sulfúrico; con EC_w mayor a 1,0 y SAR Alto se debe preferir enmiendas directas al suelo como yeso o azufre acompañados de una fracción de lavado (LR) y buen drenaje del suelo.

Métodos de riego para el cultivo de alcachofa:

La forma en que se aplica el agua de riego puede variar desde métodos tradicionales como la inundación, los surcos o las platabandas, hasta sistemas tecnificados como el goteo, micro aspersión y aspersión. Las principales diferencias entre ellos tienen que ver con la eficiencia de aplicación (cuánta agua termina efectivamente disponible para el cultivo), la fracción de suelo mojado, la percolación profunda y el uso de infraestructura y energía para la operación del sistema de riego. En el **Cuadro 7.6**, se indican las principales características de los sistemas de riego compatibles con el cultivo de alcachofas.

Cuadro 7.6. Comparación de distintos aspectos de los métodos de riego utilizados en la Región de Coquimbo para el riego de alcachofas.

| Método de riego | Eficiencia estimada | Fracción de suelo mojado | Percolación profunda | Infraestructura y equipo necesario | Caudal y energía/ha |
|------------------|------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Inundación | 30% a 60% ⁴ | 100% | Inevitable, sobre todo en cabecera | Canal de riego y zanjas. | 0 HP, Q >20 L/s |
| Surcos | 30% a 70% ⁵ | 90-100% | Inevitable, sobre todo en cabecera | Canal de riego y zanjas. Pueden adicionarse fertirrigadores en riego por pulsos. | 0 HP, Q >20 L/s |
| Goteo localizado | 50% a 95% ⁶ | 10-100% (regulable) | Controlable con tiempos de riego y buena uniformidad | Cabezal de bombeo, fertirrigador, tuberías y líneas de goteo (1 a 8 L/h por emisor; 0,7 a 2,0 bares). | 1-3HP, Q 3,0 a 37 L/s |

⁴ Depende del tipo de suelo, la pendiente del terreno y las capacidades del regador.

⁵ Depende del tipo de suelo, pendiente del terreno, capacidades del regador y técnica de riego, donde por ejemplo el riego por pulso utilizando mangas alcanza una alta eficiencia.

⁶ Depende de la uniformidad de presiones y caudales, del diseño hidráulico y de las capacidades del operador del equipo.

Continuación del Cuadro 7.6.

| Método de riego | Eficiencia estimada | Fracción de suelo mojado | Percolación profunda | Infraestructura y equipo necesario | Caudal y energía/ha |
|-------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Microaspersión/microjet | 50% a 85% ⁷ | 50-100% (regulable) | Controlable con tiempos de riego y buena uniformidad | Cabezal de bombeo, fertirrigador, tuberías, líneas de riego y emisores de microjet o microaspersor (20 a 110 L/h por emisor 1,5 a 3,0 bares) | 2 a 5 HP, Q 6,0 a 20,0 L/s |
| Aspersión | 40% a 75% ⁸ | 100% | Controlable con tiempos de riego y buena uniformidad | Cabezal de bombeo, fertirrigador, tuberías, sistema de pivote central o aspersores móviles (450 a 20.000 L/h por aspersor, 2,0 a 6,0 bares) | 4 a 10 HP, Q 10 a 250 L/s |

⁷ Depende de la uniformidad de presiones y caudales, del diseño hidráulico, de las capacidades del operador del equipo y de las condiciones de viento.

⁸ Depende de la uniformidad de presiones y caudales, del diseño hidráulico, de las capacidades del operador del equipo y de las condiciones de viento.

No obstante, la alcachofa es considerado un cultivo rústico, se ha demostrado en diversos ensayos y experiencias que responde de forma positiva ante la tecnificación de riego y la fertirrigación. Además, el riego tecnificado abre la posibilidad de automatizar los riegos, lo cual permite prescindir de ciertas labores muy intensivas en mano de obra como es la necesidad de un regador o casetero. La cantidad de agua a reponer por vía del riego está dada por el coeficiente de cultivo K_c , el cual, como se discutió con anterioridad es la suma de la transpiración del cultivo, y la evaporación directa desde el suelo, adicionando la fracción de lavado de sales a utilizar y la eficiencia de aplicación característica de cada método de riego. En última instancia el riego se mide como metros cúbicos por hectárea cultivada, para lo cual es útil contar con equipo de medición volumétrico, sobre todo en los sistemas tecnificados (**Figura 7.15**).



Figura 7.15. Caudalímetro o flujómetro instalado en terreno.

A continuación, se analizará la demanda hídrica, K_c y salinización del suelo bajo tres condiciones de riego representativas de la realidad del cultivo en la Región de Coquimbo. El primer caso corresponde a riego por aspersión en Ovalle (Camarico), el segundo es riego por surcos en La Serena y el tercer caso es riego por goteo en Pan de Azúcar. El procedimiento siguió la guía descrita por el boletín FAO 56 (Allen *et al.* 1998) en su capítulo de cálculo con K_c dual y profundizada por Allen *et al.* (2005) y Jensen *et al.* (2016).

Caso 1: Riego por aspersión con agua de salinidad 2,0 dS/m en Camarico en suelo Franco-Arcilloso:

El riego por aspersión se viene realizando en alcachofas desde su implementación como cultivo agroindustrial en la Región de Coquimbo a comienzos del 2000. La tecnología consiste en llevar agua al cultivo a través de emisores que asperjan el agua, tanto sobre el follaje como sobre el suelo descubierto. Es por lo anterior que este método de riego posee una fracción de suelo mojado del 100%. Además, como los aspersores van posicionados a cierta altura por sobre el cultivo (1,5 a 2,0 metros), la eficiencia global se ve muy afectada por las condiciones de viento imperantes.

En términos generales el riego por aspersión es recomendable para suelos de baja capacidad de infiltración, como son suelos arcillosos o suelos francos con una alta pedregosidad. El cultivo de la alcachofa tolera bien el mojamiento del follaje, sin embargo, análisis de calidad y sales presentes en el agua de riego se deberían realizar para evitar sensibilidades a cloruros, boro, sodio o daños cosméticos por bicarbonatos o carbonatos.

Dentro de los sistemas más utilizados se encuentran los sistemas de pivote, que pueden regar superficies desde 20 hectáreas en ciclos de 4 a 7 días (**Figura 7.16**). El riego es mediante un pivote central giratorio con aspersores invertidos de baja presión. Este tipo de sistemas es susceptible a ineficiencias por vientos mayores 1,5 m/s y la topografía del terreno. Cabe señalar que la salinidad y toxicidad afecta con mayor intensidad a las plantas si el agua de riego está en contacto con el follaje, donde no cuenta con mecanismos para defenderse del exceso de sales.



Figura 7.16. Cultivo de alcachofas para procesado en agroindustria en las cercanías de Ovalle.

Para contextualizar las necesidades de agua de un sistema de aspersión se realiza el cálculo de necesidades de riego para el cultivo de alcachofas de 1^o temporada (según K_{cb} descrito en el Cuadro 7.3) para un año considerado normal en cuanto a términos climáticos (año 2016–2017 con datos de la estación Camarico de la plataforma AGROMET⁹). El resultado de este ejercicio se presenta en la **Figura 7.17**.

⁹ Se consideran datos de ET_0 , $H.R_{min}$, Vel. Viento y no se consideran aportes por lluvias.

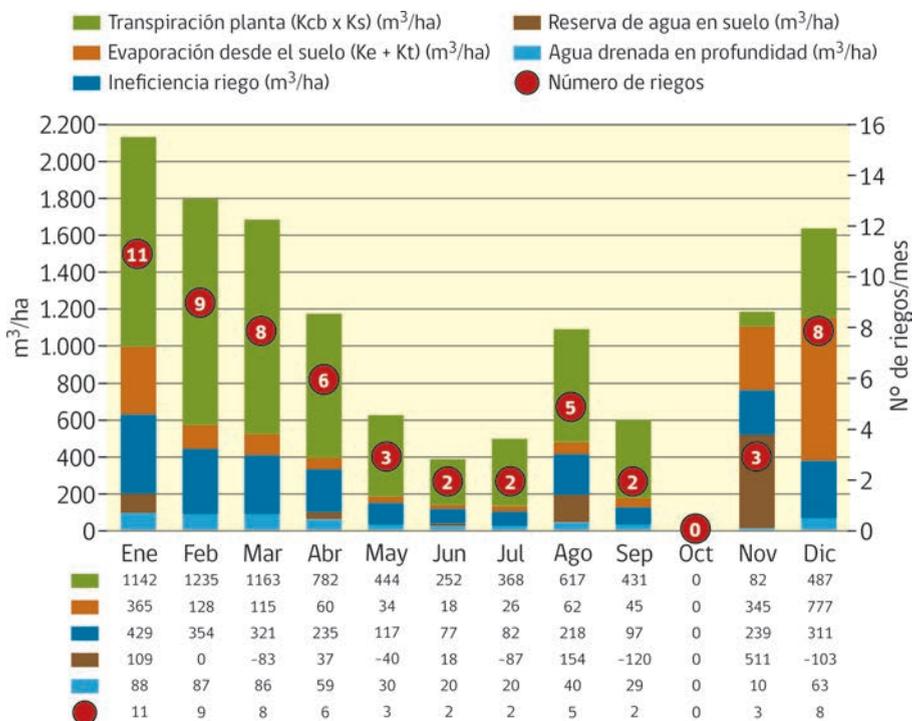


Figura 7.17. Modelamiento del balance hídrico del riego del cultivo de alcachofas en las cercanías de Ovalle (Camarico) durante la temporada 2016-2017.

Como se aprecia en la Figura 7.17, se diferencia cada uno de los componentes de la demanda hídrica desde la transpiración de la planta, la evaporación del suelo, las ineficiencias de riego (75%), el agua reservada en el suelo, el agua drenada fuera de la zona de raíces y el número de riegos por mes. La mayor demanda por riego para esta condición ocurre durante el mes de enero, donde se requieren más de 2.100 m³ha⁻¹ para suplir de demanda del cultivo en forma adecuada, distribuidos en 11 riegos (frecuencia de 2 a 3 días). Cabe señalar que desde la plantación (20 de noviembre), durante diciembre y mediados de enero, se estima que una parte importante del agua de riego se va a la atmósfera directamente desde el suelo. Durante el mes de agosto existe un nuevo pico de demanda pero que se ve contrarrestado por el destalle y seca al que usualmente se somete este cultivo. Se puede observar también, que el riego inicial de plantación consume cerca del 50% del agua del mes de noviembre.

En la **Figura 7.18**, en la imagen izquierda se puede apreciar que con el agua de riego aplicada y, en esta condición de cultivo, la salinidad se concentra en los 30 cm de profundidad sin superar el límite de tolerancia sobre el cual la alcachofa ve disminuidos sus rendimientos. En la imagen de la derecha se puede observar que solo en 57% del agua aplicada es utilizada por la planta en el proceso de transpiración, siendo de gran importancia las ineficiencias propias del sistema de riego por aspersión (20%), la evaporación directa del suelo (16%) y el agua de drenaje que tiene función de arrastrar las sales (4%), lo cual está dentro de los rangos calculados en el Cuadro 7.5.

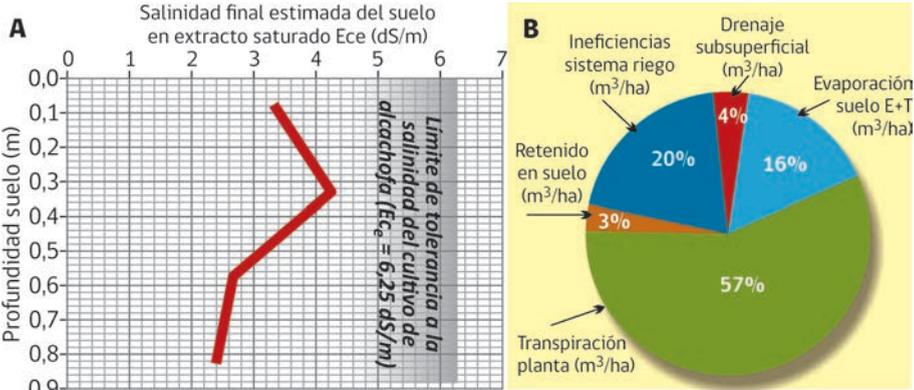


Figura 7.18. Resumen de utilización de agua por temporada de riego y la salinidad estimada en cada horizonte de suelo (riego por aspersión, Camarico).

Para fines de cálculo de riego en forma más directa que el método de coeficiente dual descrito con anterioridad, es posible utilizar el cómputo del producto entre el coeficiente de cultivo K_c y la Et_0 , la dinámica modelada para el K_c se puede ver en la **Figura 7.19**, mientras que el promedio mensual se puede consultar en el **Cuadro 7.7**, donde se observa que el máximo K_c se alcanzaría en los meses de marzo y abril. En la Figura 7.19 Se puede ver un K_c relativamente parejo en la temporada, no obstante, el cubrimiento vegetal (K_{cb}) es más bajo durante los primeros 60 días desde plantación, la demanda generada por la evaporación directa ($K_e + K_f$) eleva la suma final.

Cuadro 7.7. Distribución del K_c en alcachofas para riego por aspersión en las cercanías de Ovalle.

| Mes | ET_c Promedio aspersión |
|------------|---------------------------|
| Enero | 0,83 |
| Febrero | 0,96 |
| Marzo | 1,07 |
| Abril | 1,08 |
| Mayo | 1,02 |
| Junio | 0,95 |
| Julio | 1,01 |
| Agosto | 1,01 |
| Septiembre | 0,46 |
| Octubre | 0,00 |
| Noviembre | 0,27 |
| Diciembre | 0,73 |



Figura 7.19. Coeficiente de cultivo modelado para una temporada de alcachofas bajo sistema de riego por aspersión.

Caso 2:

Riego por surcos con agua de salinidad 3,0 dS/m en La Serena, El Romeral; considerando ascenso capilar de agua salina; el suelo es de tipo Franco Arenoso:

El riego por surcos se viene realizando en alcachofas de forma tradicional desde su introducción como cultivo en Chile. El nivel tecnológico no es muy elevado y se fundamenta en una disponibilidad de un alto caudal de riego y un regador con experiencia. Posibles mejoras a este sistema implican la utilización de mangas de riego y válvulas para riego por pulsos. La fracción de suelo mojado de este método es del 100%. La eficiencia de aplicación es muy sensible a la relación de la triada "largo de surco - tipo de suelo - pendiente del terreno", de forma que el trazado y largo de los surcos debería realizarse con métodos topográficos y análisis de capacidad de infiltración de agua en el suelo.

Como regla general, el riego por surcos es recomendable para suelos de permeabilidad media a baja, en suelos muy permeables de tipo arenoso la eficiencia se ve muy disminuida y obliga a acortar el largo de surcos a menos de 50 metros. Se debe evitar el mojamiento directo de la base de la alcachofa con agua de riego, por lo tanto, los surcos deben tener una profundidad de al menos 30 centímetros. Las ineficiencias de este sistema de riego ayudan a realizar lavado de sales, pero desde un punto de vista negativo, lo mismo ocurre con los fertilizantes. En la **Figura 7.20**, la baja retención de Humedad Aprovechable, el ascenso capilar de las sales en el perfil del suelo y la salinidad del agua de riego, que se midió sobre los 3,0 dS/m, requieren un riego de frecuencias diarias. La fotografía corresponde al mes de junio, en plena cosecha.



Figura 7.20. Cultivo de Alcachofas bajo sistema de riego por surcos en suelo Franco Arenoso en La Serena.

Para determinar las necesidades de riego referenciales en el caso de riego por surcos, se realiza el cálculo de los riegos necesarios en el cultivo de alcachofas regadas por surcos (según K_{cb} descrito en el Cuadro 7.3), para estos fines se consideran la temporada correspondiente a los años 2016–2017 con datos de la estación El Romeral, de la red AGROMET¹⁰. El resultado de este ejercicio se presenta en la **Figura 7.21**.

Como se aprecia en la Figura 7.21, la mayor demanda por riego para esta condición ocurre durante los meses de enero y febrero, donde se requieren algo menos de 1.600 m³/ha para suplir la demanda del cultivo en forma adecuada, bajo estas condiciones es necesario distribuirlos en 10 y 9 eventos respectivamente (frecuencia de 3 a 4 días). Durante diciembre y mediados de enero, después de plantación se estima que una parte importante del agua de riego pierde directamente desde el suelo.

En la **Figura 7.22**, se puede ver en la imagen izquierda, que con el agua de riego aplicada y, bajo esta condición de cultivo, la salinidad se concentra en los 30 cm y los 70 cm, cerca de la napa freática. En el primer caso la acumulación sería por el agua de riego y en el segundo, sales provenientes del ascenso capilar; en todo caso no se lograría superar el límite de tolerancia sobre el cual la alcachofa ve disminuidos sus rendimientos (6,25 dS/m). En la imagen de la derecha se puede

¹⁰ Se consideran datos de ET_0 , $H.R._{min}$, Vel. Viento y no se consideran aportes por lluvias.

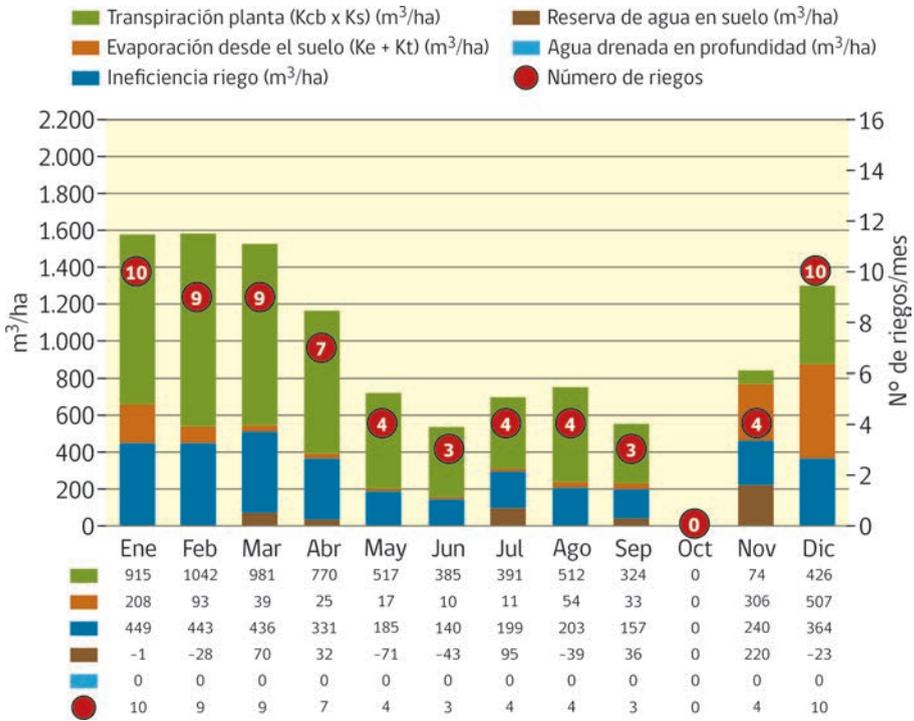


Figura 7.21. Modelamiento del balance hídrico del riego del cultivo de alcachofas en las cercanías de La Serena (El Romeral), durante la temporada 2016-2017.

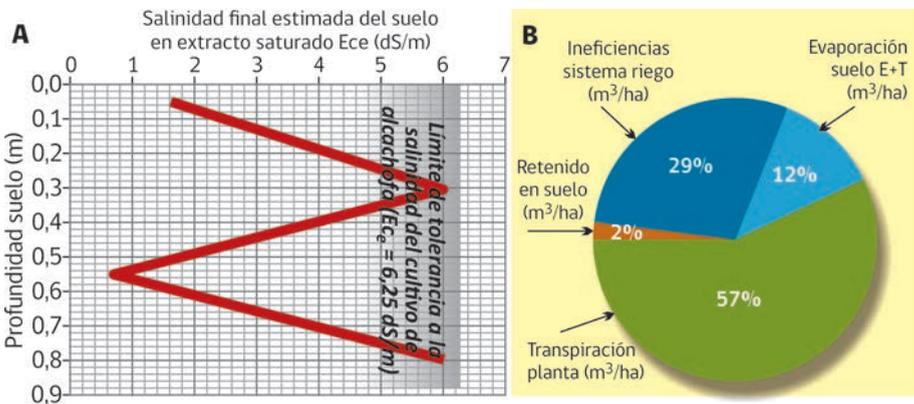


Figura 7.22. Resumen de utilización de agua por temporada de riego y la salinidad estimada en cada horizonte de suelo (riego por surco La Serena).

observar que solo en 57% del agua aplicada es utilizada por la planta en el proceso de transpiración, siendo de gran importancia las ineficiencias propias del sistema de riego por surco (29%), la evaporación directa del suelo (12%). Además, se estima que un 9% del agua del cultivo es aportada por el ascenso capilar de agua en el perfil del suelo (abajo, derecha).

El agua de riego y de la napa freática considerada en este modelamiento tiene un valor $E_{c_w} = 3,0$ dS/m. El aporte estimado por ascenso capilar se modeló al mismo tiempo, con presencia de agua libre desde los 85 cm de profundidad.

Para fines de cálculo de riego en forma más directa, igual que en el caso anterior, se sugiere utilizar el cómputo del producto entre el coeficiente de cultivo K_c y la Et_0 , la dinámica modelada para el K_c en riego por surcos se puede ver en la **Figura 7.23**, donde se puede ver un K_c relativamente plano en la temporada, no obstante el cubrimiento vegetal (K_{cb}) es más bajo durante los primeros 50 días desde plantación, la demanda generada por la evaporación directa ($K_e + K_t$) eleva la suma final. El promedio mensual se puede consultar en el **Cuadro 7.8**, donde se puede ver que el K_c máximo ocurre en abril.

Cuadro 7.8. Distribución del K_c en alcachofas para riego por surcos en las cercanías de La Serena.

| MES | K_c | ET_c Promedio Surcos |
|------------|-------|------------------------|
| Enero | | 0,73 |
| Febrero | | 0,88 |
| Marzo | | 0,93 |
| Abril | | 0,95 |
| Mayo | | 0,92 |
| Junio | | 0,89 |
| Julio | | 0,89 |
| Agosto | | 0,86 |
| Septiembre | | 0,42 |
| Octubre | | 0,00 |
| Noviembre | | 0,34 |
| Diciembre | | 0,80 |

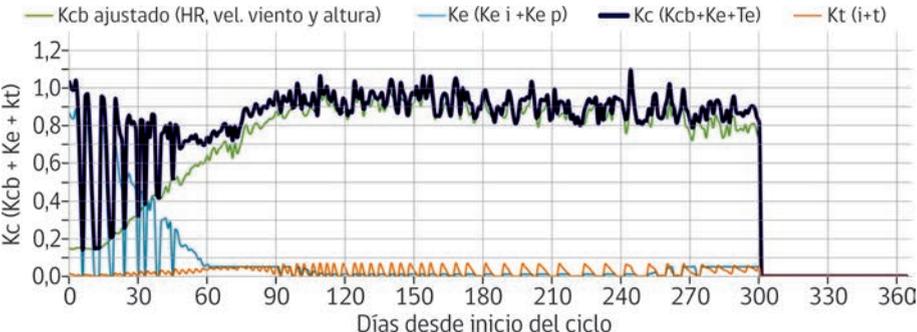


Figura 7.23. Coeficiente de cultivo modelado para una temporada de alcachofas bajo sistema de riego por surcos.

Caso 3: Riego por goteo con agua de salinidad 0,6 dS/m, suelo franco en la localidad de Pan de Azúcar Coquimbo:

El riego por goteo es relativamente novedoso en la producción de alcachofas, por considerarse un cultivo rústico, y por las labores de destalle que tradicionalmente implican el ingreso de animales o maquinaria al campo, el uso de cintas de riego ha tenido un alcance limitado. En los últimos años, acompañado de la introducción de plantas de semilla que se mantienen solo una temporada o dos, se ha realizado su cultivo con riego localizado de alta frecuencia con cintas hortaliceras.

Este riego consiste en la aplicación de agua y los fertilizantes directamente al suelo en torno a la zona de raíces, limitando la fracción de suelo mojado a cerca de un 50%. Los emisores de riego utilizados son cintas hortaliceras en línea simple, con descarga de 5 litros por metro lineal, con los goteros distanciados a 20 centímetros; en suelos arcillosos se podría recomendar goteros a 30 centímetros, mientras que en suelos arenosos sería recomendable distancia de 10 centímetros y doble línea. Las ineficiencias de este sistema están dadas por el deterioro o roturas de los elementos de conducción hidráulica como tubos y cintas, así como “descoles” y limpieza de filtros, aunque un sistema bien operado en cuanto a tiempos de riego y presión de funcionamiento debería superar una eficiencia del 90%.

El riego localizado de alta frecuencia es recomendable para todo tipo de suelo excepto en condiciones de pedregosidad mayor a 30%. Se debe prestar atención a la acumulación salina en torno al bulbo de mojamiento por medio de monitoreos permanentes. En la **Figura 7.24** una buena retención de humedad aprovechable permite riegos distanciados cada 7 días durante el mes de julio. La salinidad del agua de riego, en torno a 0,6 dS/m, se podría manifestar negativamente en los meses de máxima demanda de riego (enero y diciembre) si no se realizan, hay que aplicar una fracción de lavado de sales fuera del bulbo de mojamiento.

Igualmente, en los dos casos de riegos modelados con anterioridad, se realiza el cálculo de los riegos necesarios en el cultivo de alcachofas regadas por goteo (según K_{cb} descrito en el Cuadro 7.3), para estos fines se considera la temporada correspondiente a los años 2016–2017 con datos de la estación Pan de Azúcar, de la red AGROMET. El resultado de este ejercicio se presenta en la **Figura 7.25**.



Figura 7.24. Cultivo de Alcachofas bajo sistema de riego por goteo en suelo Franco en Pan de Azúcar, Región de Coquimbo.

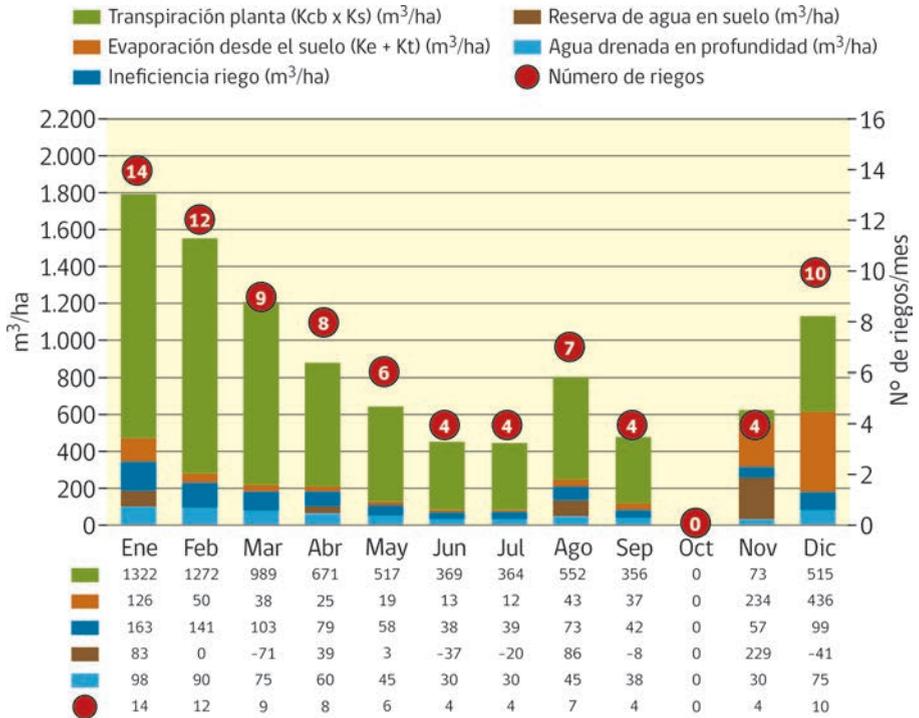


Figura 7.25. Modelamiento del balance hídrico del riego del cultivo de alcachofas en la localidad de Pan de Azúcar, durante la temporada 2016-2017.

Como se aprecia en la Figura 7.25, la mayor demanda por riego para esta condición ocurre durante el mes de enero, donde se requiere cerca de $1.800 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ para suplir la demanda del cultivo en forma adecuada. Bajo estas condiciones es necesario distribuir el agua en 14 eventos de riego, es decir regar día por medio. El agua que se pierde por evaporación directa es relativamente menor a la de otros riegos, esto por efecto de la menor superficie de suelo mojado (45%) y por el cubrimiento más rápido de esta variedad.

En la **Figura 7.26**, en imagen izquierda, se puede apreciar que con el agua de riego aplicada y, bajo esta condición de cultivo, la salinidad se concentra en los 30 cm. Pero sin superar el límite de tolerancia sobre el cual la alcachofa ve disminuidos sus rendimientos ($6,25 \text{ dS/m}$). En la imagen de la derecha, se puede observar que el 71% del agua aplicada es utilizada por la planta en el proceso de transpiración, siendo de importancia las ineficiencias propias del sistema de riego por goteo (9%), la evaporación directa del suelo (11%) y la fracción de lavado (6%). Se puede ver el resumen de utilización de agua por temporada de riego y la salinidad estimada en cada horizonte de suelo. El agua de riego considerada en este modelamiento tiene un valor $E_{cw} = 0,6 \text{ dS/m}$.

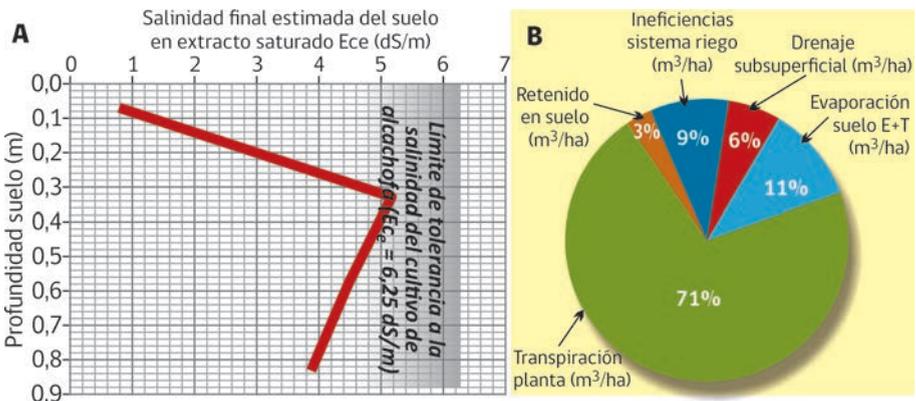


Figura 7.26. Resumen de utilización de agua por temporada de riego y la salinidad estimada en cada horizonte de suelo (riego por goteo, Pan de Azúcar).

Para fines de cálculo de riego en forma más directa, igual que en los casos anteriormente estudiados, se sugiere utilizar el cómputo del producto entre el coeficiente de cultivo K_c y la Et_0 , la dinámica modelada para el K_c en riego por surcos se puede ver en la **Figura 7.27**, un K_c con tendencia al alza desde el día 60, al mantener la evaporación directa controlada por la vía de controlar el bulbo de mojamamiento, el coeficiente K_{cb} es casi coincidente con el K_c , mientras que el promedio mensual se puede consultar en el **Cuadro 7.9**.

Cuadro 7.9. Distribución del K_c en alcachofas para riego por surcos en Pan de Azúcar.

| Mes K_c | ET_c Promedio |
|------------|-----------------|
| Enero | 0,94 |
| Febrero | 1,07 |
| Marzo | 1,02 |
| Abril | 1,00 |
| Mayo | 1,01 |
| Junio | 0,99 |
| Julio | 0,97 |
| Agosto | 0,98 |
| Septiembre | 0,47 |
| Octubre | 0,00 |
| Noviembre | 0,23 |
| Diciembre | 0,67 |



Figura 7.27. Coeficiente de cultivo modelado para una temporada de alcachofas bajo sistema de riego por goteo.

Literatura citada

Abdel-Halim, S. and A-A. Saleh. 2003. Physiological responses of artichoke plants to irrigation and fertilization under special recognition of salinity. 158 p. Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften genehmigten Dissertation. Technische Universitat Munchen, Department für Pflanzenwissenschaften Lehrstuhl für Gemüsebau. Germany

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. Food and Agriculture Organization, Rome.

- Burau, R., B. Sheikh, R. Cort, R. Cooper and D. Ririe. 1987.** Reclaimed water for irrigation of vegetables eaten raw. *California Agriculture* 41(7):4-7.
- Bratsch, A. 2009.** Specialty crop profile: Globe artichoke. Virginia Cooperative Extension. Virginia Tech, State University. Publication 438:438-108.
- Boari, F., V. Cantore, and E. De Palma. 2004.** Effect of Water Salinity on New Seed Propagated Artichoke Cultivars. *Acta Hortic.* 660:317-322.
- Boari, F., V. Cantore, E. De Palma and P. Rubino. 2000.** Evapotranspiration trend in seed propagated artichoke, (*Cynara cardunculus* L. var. *Scolymus* L.) Fiori, in Southern Italy. *Acta Hortic.* 537:511-518.
- Calera, A, Campos, I, Osann, A, D'Urso, G and Menenti, M (2017).** Remote sensing for crop water management: from ET modelling to services for the end users. *Sensors* 17, article no. 1104. 1-25 doi: 10.3390/s17051104.
- Cosentino, S. and G. Mauromicale. 1990.** Transpiration and plant water status of globe artichoke (*Cynara scolymus* L.) grown from seed and from vegetative organs with two water regimes. *Acta Hortic.* 278:261-270.
- Francois, L.E., T.J. Donovan and E.V. Maas. 1991.** Calcium Deficiency of Artichoke Buds in Relation to Salinity. *HortScience* 26(5):549-553.
- Gatta, G., A. Libutti, L. Beneduce, A. Gagliardi, G., Disciglio, A. Lonigro and E. Tarantino. 2016.** Reuse of treated municipal wastewater for globe artichoke irrigation: Assessment of effects on morpho-quantitative parameters and microbial safety of yield. *Scientia Horticulturae* 213:55-65.
- Graifenberg, A., M. Lipucci and L. Giustiniani. 1993.** Yield and growth of globe artichoke under saline-sodic conditions. *HortScience* 28(8):791-793.
- Graifenberg, A., L. Giustiniani, O. Temperini and M. Lipucci. 1995.** Allocation of Na, Cl, K and Ca within plant tissues in globe artichoke (*Cynara scolymus* L.) under saline-sodic conditions. *Scientia Horticulturae* 63:1-10.
- Garnica, J., L.I. Macua, I. Lahoz and A. Malumbres. 2004.** Influence of Irrigation in the Production and Industrial Quality of Artichokes in Navarra. *Acta Horticulturae* 660:359-364.
- Jensen, M. and R. Allen. 2016.** Evaporation, Evapotranspiration, and Irrigation Water Requirements. *Manuals and Reports on Engineering Practice* N° 70. Second Edition. Environmental & Water Resources Institute. ASCE. 744 p.

- K. E. Saxton and W. J. Rawls (2006).** Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions.
- Licandro, P. and A. Ierna. 2007.** Physiological Response of globe artichoke to irrigation with saline water under different environmental conditions. *Acta Hortic.* 730:181-186.
- Mauro, R., M. Di. Nicola, A.M.G. Longo and G. Mauromicale. 2008.** The effects of mist irrigation on biological and productive behaviour of globe artichoke. *Options Méditerranéennes. A(8):*41-46.
- Mansour, M., R. Mougou, and A. Mougou. 2005.** Effect of Several Modes of Irrigation and Fertigation on Artichoke Crop. *Acta Hortic.* 681:127-133.
- Richard G. Allen, Luis S. Pereira, Martin Smith, Dirk Raes and James L. Wright (2005).** FAO-56 Dual Crop Coefficient Method for Estimating Evaporation from Soil and Application Extensions.
- Shinohara, T., S. Agehara, K. Sun Yoo and D. Leskovar. 2011.** Irrigation and Nitrogen Management of Artichoke: Yield, Head Quality, and Phenolic Content. *HortScience* 46(3):377-386.
- Saleh, S.A., Z.S. El-Shal, Z.F. Fawzy, and A.M. Bassiony. 2012.** Effect of water amounts on artichoke productivity irrigated with brackish water. *Australian J. Basic and Applied Sciences* 6(5):54-61.
- Tarantino, E., A. De Caro, Z. Flagella, D. Volpe and S. Del Vecchio. 2005.** Effects of Different Irrigation Volumes of Saline Water on Artichoke (*Cynara scolymus* L.) Yield and on Soil Salinity. *Acta Hortic.* 681:269-273.
- Visconti, F., J. Miguel de Paz, D. Martínez and Ma. Molina. 2014.** Irrigation recommendation in a semi-arid drip-irrigated artichoke orchard using a one-dimensional monthly transient-state model. *Agricultural Water Management* 138:26-36.

Capítulo 8.

Plagas que atacan a la alcachofa en la Región de Coquimbo

Claudio Salas F.,

Ingeniero Agrónomo Dr.

csalas@inia.cl

Patricia Larraín S.,

Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

Fernando Graña S.,

Técnico Agrícola

8.1. Principales plagas del cultivo de alcachofa

Entre las plagas, los artrópodos y moluscos que atacan a la alcachofa pueden provocar pérdidas a los productores, ya sea por la reducción del rendimiento y/o de la calidad. Se citan veintidós especies de plagas en alcachofas presentes en Chile. Entre estas se encuentran cuncunillas y gusanos cortadores, pulgones, trips, mosca minadora, arañas, caracoles y babosas.

La identificación de las plagas que atacan al cultivo en la Región de Coquimbo, fue realizada con la metodología del monitoreo sistemático de plantaciones de alcachofas ubicadas en sectores representativos del área del cultivo (Pan de Azúcar y El Romero). En cada fecha de monitoreo se realizaron recuentos a través de la revisión visual de 50 plantas y recolección de muestras para su identificación en el laboratorio. Además del monitoreo directo de las plantas se utilizaron trampas amarillas de agua para insectos voladores como áfidos, moscas minadoras, trips y otras y trampas de feromona para la cuncunilla *Copitarsia decolora* las cuales se revisaron semanalmente.

El complejo de plagas identificadas en la Región de Coquimbo asociadas a alcachofas se presentan a continuación junto a una breve descripción de éstas.

a) Cuncunillas y Gusanos Cortadores (Lepidoptera: Noctuidae):

Copitarsia decolora; *Syngrapha gammoides* y *Agrotis bilitura*.

Las larvas de estas mariposas nocturnas son las plagas con mayor importancia económica para el cultivo en la Región de Coquimbo.

Las hembras colocan sus huevos en hojas, tallos o brotes de alcachofas, así como en malezas asociadas al cultivo. Una vez eclosadas, las larvas comienzan a alimentarse de todas las partes del follaje incluyendo a las inflorescencias.

La gravedad que revisten es su capacidad de destruir los centros de crecimiento de plantas pequeñas, comprometiendo el buen establecimiento del cultivo. A fines de agosto, en la localidad de Pan de Azúcar, se presentó un ataque de estas larvas afectando los brotes del 11% de plantas pequeñas.

Por otra parte, en cultivos más desarrollados se alimentan en las brácteas de las inflorescencias pudiendo distorsionar el crecimiento hacia inflorescencias poco desarrolladas, contaminadas, con su presencia y/o con sus excrementos, causando la depreciación del producto. La ocurrencia de estas plagas en la región se ha concentrado desde fines de agosto hasta fines de primavera.

En la **Figura 8.1** se aprecian las capturas promedios de machos de *C. decolora* en la localidad de Pan de Azúcar.

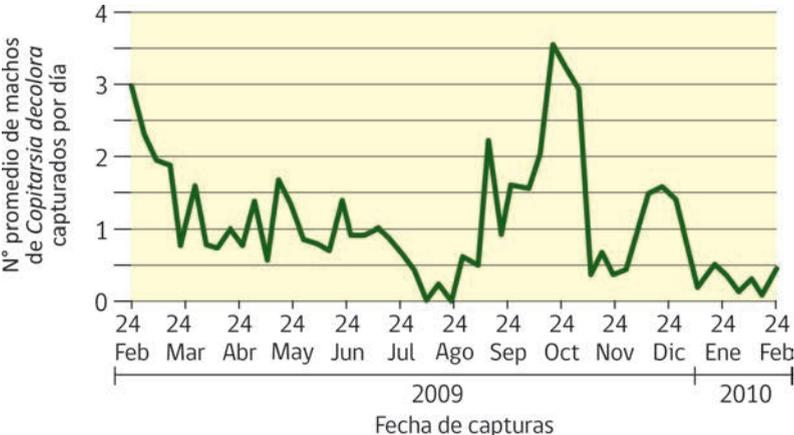


Figura 8.1. Capturas promedio por día de machos de *C. decolora*. Pan de Azúcar, Coquimbo.

Descripción: Adultos con expansión alar de 42 mm. Alas anteriores pardas, con hileras negras en zigzag y manchas orbiculares y reniformes en la mitad de la lámina. Alas posteriores también de color pardo (**Figura 8.2**).



Figura 8.2. Adulto de Cuncunilla de las hortalizas, *Copitarsia decolora*.

Descripción: Larvas de coloración clara, cuya principal característica es que se trasladan fijando sus espurripedios, haciendo avanzar sus patas torácicas a la vez que van arqueando su cuerpo (**Figura 8.3**).



Figura 8.3. Larva de cuncunilla verde de la papa, *Syngnatha gammoides*.

Descripción: Adultos de 35 a 40 mm de expansión alar. Alas anteriores de color pardo amarillentas con una mancha en la mitad del ala. Alas posteriores hialinas (**Figura 8.4**).



Figura 8.4. Gusano cortador de la papa, *Agrotis bilitura*.

b) Áfidos o Pulgones (Hemiptera: Aphididae):

***Aphis gossypii*; *Aphis fabae*; *Capitophorus elaeagni*; *Dysaphis cynarae*, *Myzus persicae*.**

Entre las especies de pulgones detectadas en la región, el pulgón verde de la alcachofa (*C. elaeagni*), el pulgón del haba (*A. fabae*) y el de la raíz de la alcachofa (*D. cynarae*) pueden constituir un problema cuando alcanzan altas poblaciones en ciertas épocas del año. Las dos primeras especies alcanzaron mayores poblaciones en el mes de octubre en la región, pero se encontraron presentes desde los meses de invierno. Por otra parte, el pulgón de la raíz de la alcachofa se encontró en el cuello y raíces de plántulas en los meses de verano- otoño (febrero, marzo y abril).

Los áfidos en altas poblaciones afectan el crecimiento del cultivo, causando: enrollamiento y amarillez de las hojas, retardo del crecimiento de las plantas y contaminación de las inflorescencias. Además de este daño directo, los áfidos excretan mielecilla la cual contamina follaje e inflorescencias y luego ésta es colonizada por el complejo de hongos conocido como fumagina. Estos hongos tornan negro al follaje y cabezuelas interfiriendo con la fotosíntesis y provocando pérdidas de rendimiento y calidad del producto.

Los parásitos más abundantes son *Aphidius* y *Lysiphlebus*. Predadores generalistas como chinitas, larvas de sírfidos, y crisopas también se alimentan de pulgones.

Descripción: Individuos ápteros de coloración verde pálido con tonalidades amarillas, patas de coloración pálida e incluso transparente. Individuos alados con cabeza y tórax oscuro. Cornículos muy largos tanto en las formas aladas como ápteras. Cuerpo de 1,5 a 2,5 mm de longitud (**Figura 8.5**).



Figura 8.5. Pulgón verde de la alcachofa, *Capitophorus elaeagni*.

Descripción: Individuos ápteros de coloración negro mate a verdoso, con una longitud de 1,5 a 3,1 mm. Individuos alados de coloración verde oliva oscuro a negro mate con patas blancas. Cornículos cortos de color negro estrechados en la base (**Figura 8.6**).



Figura 8.6. Pulgón de las habas, *Aphis fabae*.

Descripción: Las hembras miden alrededor de 0,5 cm de largo, de cuerpo oval y aplanado, con una sustancia cerosa de color blanco que recubre el cuerpo, y filamentos cerosos laterales (**Figura 8.7**).



Figura 8.7. Pulgón de las tulipas, *Dysaphis cynarae*.

Descripción: Hembra áptera virginópara con cuerpo ovoide de 1,0 a 1,8 mm de largo, color variable, café ocre, o verde oscuro moteado, incluso azulado. Antenas café con la mitad crema, cauda y cornículos café negruzco (**Figura 8.8**).



Figura 8.8. Pulgón del algodón, *Aphis gossypii*.

c) Moscas Minadoras (Diptera: Agromyzidae):

Agromyza apfelbeckii; *Liriomyza huidobrensis*.

La especie de mosca minadora que ataca al cultivo en la Región de Coquimbo corresponde mayoritariamente a *Liriomyza huidobrensis*. El daño de las larvas de la mosca se concentra en el follaje, alimentándose del tejido del parénquima de las hojas bajo la epidermis.

Las máximas poblaciones se registraron en los meses de mayo y junio. Debido al vigor y succulencia de la planta de alcachofa, el daño de mosca minadora podría provocar pérdidas, solo si este insecto alcanza poblaciones muy altas en plantas relativamente pequeñas.

Descripción: Adultos moscas pequeñas de 1,8 a 2,3 mm de longitud. De color negro brillante, con escutelo (placa dorsal triangular), lados del tórax y mitad de la cabeza de color amarillo. Larva vermiforme (sin patas y con el extremo anterior aguzado) de color blanco cremosa (**Figura 8.9**).

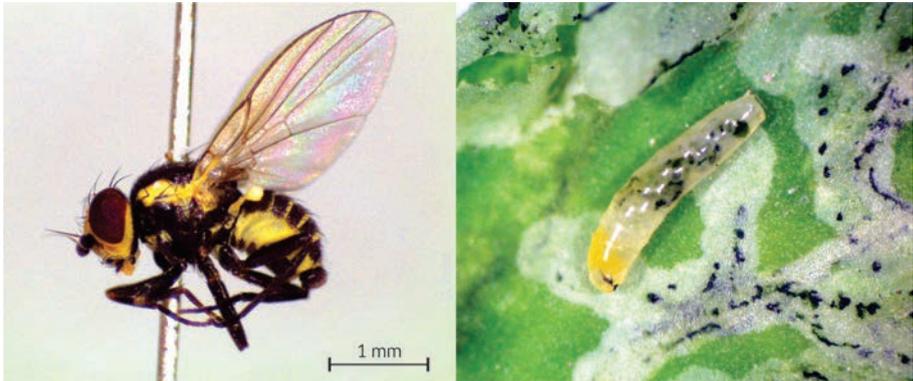


Figura 8.9. Adulto (izq.) y larva de mosca minadora (der.), *Liriomyza huidobrensis*.

d) Trips (Thysanoptera: Thripidae):

Frankliniella occidentalis.

El trips de California, *Frankliniella occidentalis* (Pergande), es la especie que se ha presentado atacando a la alcachofa en la región. Éste al igual que otras especies de trips causa daño directo al alimentarse en los distintos órganos de su

planta hospedera. El daño consiste en manchas plateadas o estrías en las hojas o brácteas. Este daño resulta del raspado que el trips realiza para liberar la savia, la cual es succionada. La coloración plateada del tejido vegetal al oxidarse se vuelve amarilla y luego café. En casos de daño severo en las brácteas se puede producir pérdida del valor comercial de las inflorescencias. También trips puede causar daño directo al depositar sus huevos, los cuales son insertados dentro del tejido vegetal.

Descripción: Hembras adultas de 1,2 a 1,4 mm y los machos de 0,9 a 1,2 mm. De apariencia frágil, cuerpo alargado, con dos pares de alas con prolongaciones finas como flecos (**Figura 8.10**).



Figura 8.10. Ninya (izq.) y adulto (der.) de trips de California *Frankliniella occidentalis*.

e) Arañitas (Acari: Tetranychidae):

Tetranychus urticae.

Se ha detectado la presencia de la arañita bimaclada (*Tetranychus urticae*) en las hojas de alcachofa a partir del mes de julio hasta la fecha, sin embargo, esta ha sido en bajas poblaciones. En el sector Pan de Azúcar se tienen antecedentes de ataques considerables de este ácaro en cultivos de alcachofas los cuales han requerido de la aspersión de acaricidas vía aérea. El daño de estos ácaros consiste en las picaduras de células exteriores de las hojas para extraer la savia. El primer signo de la alimentación es un punteado blanquecino en el haz de las hojas. Luego si el daño se incrementa, las hojas se tornan amarillas entre las venas. Ataques severos reducen la capacidad fotosintética de la planta y la debilitan. La población puede alcanzar los brotes y cabezuelas.

Descripción: Cuerpo de color verde amarillento con dos manchas oscuras en el dorso, de 0,8 mm de longitud. Individuos invernantes de coloración anaranjada (Figura 8.11).

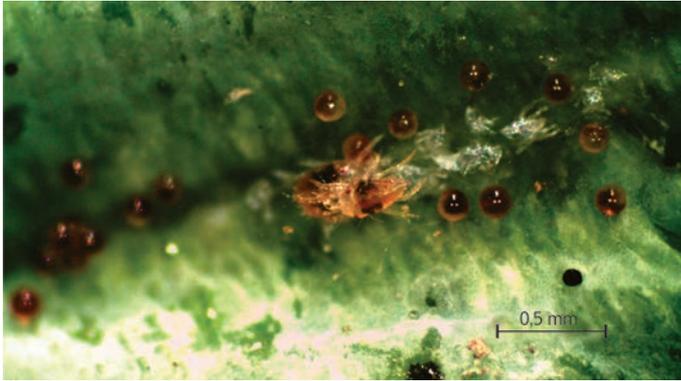


Figura 8.11. Huevos e individuos adultos de araña bimaclada, *Tetranychus urticae*.

**f) Caracoles y Babosas (Stylommato-
phora: Helicidae; Limacidae):
Helix aspersa Müller, *Deroceras agreste* (L.)
y *Deroceras reticulatum* (Müller).**

Las babosas grandes de jardín, chica gris y el caracol de jardín, se alimentan de hojas y tallos de la alcachofa raspando la superficie de los lados externos de estos tejidos. Altas poblaciones de estos moluscos pueden causar daños considerables en el cultivo disminuyendo calidad y rendimiento. Se ha observado una mayor incidencia de estos moluscos en plantaciones más antiguas. En cultivos del año las poblaciones son bajas.

Descripción: Individuos de coloración variable pudiendo encontrarse ejemplares de coloración crema, parda o negra. Presenta bordes suavemente reticulados. Puede alcanzar una longitud de 35 a 45 mm (Figura 8.12).



Figura 8.12. Babosa chica parda, *Deroceras reticulatum* Müller.

Descripción: Caparazón de coloración parda con tonalidades grisáceas. En estado adulto puede alcanzar los 2,6 cm de diámetro (**Figura 8.13**).



Figura 8.13. Caracol de las viñas, *Helix aspersa*.

8.2. Manejo integrado de las plagas de la alcachofa

a) Prevención y Manejo cultural:

Un programa de manejo integrado de plagas debe asegurar la producción de alcachofas de buena calidad, libre de residuos de pesticidas y afectar lo menos posible al medio ambiente. Para esto los productores deben tener como prioridad tomar medidas para prevenir la incidencia de las plagas en el cultivo, partiendo por un buen establecimiento de plantas de una calidad apropiada. La sanidad de los esquejes obtenidos desde plantaciones antiguas es un factor clave, ya que plagas tales como pulgones, arañitas, minadoras, babosas, caracoles etc. pueden provenir del cultivo anterior.

Luego, labores agronómicas como fertilización balanceada (200 a 280 kg/ha de nitrógeno, 70 a 90 kg/ha de fósforo (P_2O_5) y 100 a 200 kg/ha de potasio (K_2O)), manejo de riego para evitar exceso o déficit de humedad, la eliminación del follaje basal senescente y control de malezas para evitar la infestación con plagas como pulgones, trips, caracoles, babosas, arañitas, moscas minadoras, cuncunillas, durante el desarrollo del cultivo, son medidas muy importantes (**Figura 8.14**).



Figura 8.14. Eliminación de hojas basales para prevenir plagas.

Una vez concluido el ciclo del cultivo es primordial la destrucción del residuo infestado inmediatamente después de la cosecha, para prevenir la infestación de nuevos cultivos.

Estas labores culturales son claves para contar con un cultivo de plantas vigorosas las cuales evitarán o resistirán de mejor manera el ataque de plagas y enfermedades. Una plantación limpia y saludable de alcachofa es la mejor medida para asegurar un buen control de plagas y enfermedades.

b) Enemigos Naturales:

Otra medida para prevenir el problema de plagas es la protección y aumento de antagonistas (control biológico conservativo), planificando el manejo del hábitat para promover el establecimiento de estos enemigos naturales.

Los parásitos más abundantes de los pulgones que atacan a la alcachofa son microavispa de los géneros *Aphidius* y *Lysiphlebus* (Hymenoptera: Braconidae).

En el caso de mosca minadora, el responsable de más del 90% del parasitismo de larvas de *Liriomyza huidobrensis* es el eulófido *Chrysocharis phytomyzae* (Hymenoptera: Eulophidae).

Los gusanos cortadores y cuncunillas que más comúnmente se presentan atacando alcachofas son parasitados por dípteros de la familia Tachinidae como

Bonnetia comta; *Gonia pallens*; así como también por himenópteros de las familias Ichneumonidae y Braconidae como *Trachysphyrus nigricornis* y *Apanteles bourquini*, respectivamente.

Depredadores generalistas como chinitas (Coleoptera: Coccinellidae), larvas de Diptera de las familias Syrphidae y Cecidomyiidae, crisopas (Neuroptera: Chrysopidae) y ácaros fitoseidos (Acari: Phytoseiidae), se alimentan de pulgones, trips, y arañas (**Figura 8.15**).



Figura 8.15. Larvas de cecidómidos alimentándose del pulgón verde de la alcachofa.

La utilización de insecticidas menos nocivos hacia estos parasitoides y depredadores es entonces un aspecto importante a considerar.

c. Monitoreo:

Después de la prevención, contar con un sistema de pronóstico y monitoreo de plagas es fundamental. Este sistema permitirá estimar si los niveles de las plagas presentes alcanzan los umbrales de daño económico de las plagas que ocurran en el cultivo y por lo tanto constituyen una herramienta necesaria para la toma de decisiones en caso que la protección directa a través de un pesticida u otra estrategia tenga que ser aplicada.

Aunque el monitoreo requiere de tiempo y esfuerzo por parte del agricultor, es una prioridad. Se deben realizar visitas por lo menos una vez a la semana para una detección a tiempo de las plagas durante el período de desarrollo.

El monitoreo directo a través de la revisión de un número mínimo de plantas (25 por hectárea) (**Figura 8.16**), que entregue información confiable y representativa de todos los sectores del predio es necesaria. Se requiere contar con una lupa de aumento 10 x, debido al pequeño tamaño de algunas de las plagas que afectan a la alcachofa.



Figura 8.16. Revisión de plantas de alcachofas.

El monitoreo semanal del cultivo permite determinar a tiempo la necesidad de tratar.

El monitoreo indirecto a través de trampas amarillas de pegamento o agua (**Figura 8.17**), permite la captura de alados de plagas como pulgones, trips, moscas minadoras, las cuales son atraídas por el color. Estas trampas deben ser revisadas por lo menos dos veces por semana. Ellas servirán para complementar los recuentos en las plantas e indican tempranamente la llegada masiva de alados de algunas de estas plagas que infestan el cultivo.

Es importante llevar registros de estas capturas en cada predio.



Figura 8.17. Trampas amarillas de agua.

8.3 Control químico

Un productor exitoso de alcachofa requiere de una estrategia de aplicación de pesticidas planificada cuidadosamente. Debe también mantener registro de las aplicaciones incluyendo fecha, identificación del predio, plaga objetivo, nombre del pesticida, formulación, dosis y número de hectáreas tratadas.

El uso de pesticidas en alcachofa debe cumplir con todas las normativas vigentes partiendo por la selección de aquellos con registro otorgado por el Servicio Agrícola y Ganadero. Se expone en el **Cuadro 8.1.** plaguicidas autorizados para el control de las plagas citadas en párrafos anteriores en cultivos de alcachofas. En este listado no se consideró aquellos de los grupos químicos Carbamatos y Organofosforados debido a su elevado impacto ambiental.

Además de la elección de un producto efectivo y ojalá selectivo, el productor debe calibrar bien sus equipos para lograr aplicar la cantidad de agua necesaria para cubrir bien el follaje mojando el envés de las hojas, donde se ubican muchas plagas importantes. Esto es especialmente relevante para la aplicación de insecticidas con acción por contacto.

Cuadro 8.1. Insecticidas, acaricidas y molusquicidas con autorización SAG para su uso en alcachofa (junio de 2018).

| Plagas | Grupo químico | Ingrediente activo | Producto comercial | Carencia (días) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------|
| <i>Capitophorus elaeagni</i> , <i>Aphis fabae</i> , <i>Dysaphis cynarae</i> , <i>Aphis gossypii</i> | Neonicotinoides | Imidacloprid | Absoluto 20% SI | 3 |
| | | | Absoluto 70% WP | 3 |
| | | | Confidor Forte 200 SI | 3 |
| | | | Imidacloprid 20 SI | 3 |
| | | | Imidacloprid 70 WP | 3 |
| | | Tiametoxam | Actara 25 WG | 7 |
| | Neonicotinoides, Piretroides | Tiametoxam, Lambda-Cihalotrina | Engeo 247 ZC | 14 |
| | Piretroides | Alfa-Cipermetrina | Alfamax 10 EC | 7 |
| | | | Mageos | 7 |
| | | Gamma-Cihalotrina | Bull | 3 |
| Lambda-Cihalotrina | | Karate con Tecnología Zeón 050 EC | 14 | |
| | | Lambda-Cihalotrina 5 EC | 12 | |
| | Zero 5 EC | 1 | | |

Continuación del Cuadro. 8.1.

| Plagas | Grupo químico | Ingrediente activo | Producto comercial | Carencia (días) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| <i>Frankliniella occidentalis</i> , <i>Trips tabaci</i> | Espinosinas | Spinosad | Entrust | 7 |
| | Neonicotinoídes | Tiametoxam | Actara 25 WG | 3 |
| | Neonicotinoíde, Piretroíde | Tiametoxam, | Engeo 247 ZC | 14 |
| | | Lambda-Cihalotrina | | |
| | Piretroídes | Alfa-Cipermetrina | Alfamax 10 EC | 7 |
| | | Lambda-Cihalotrina | Lambda-Cihalotrina 5 EC | 12 |
| Lambda-Cihalotrina | | Karate con Tecnología Zeón 050 EC | 14 | |
| Lambda-Cihalotrina | Zero 5 EC | 1 | | |
| <i>Copitarsia decolora</i> , <i>Syngrapha gammoides</i> , <i>Agrotis bilitura</i> | Neonicotinoíde, Piretroíde | Tiametoxam, | Engeo 247 ZC | 14 |
| | | Lambda-Cihalotrina | | |
| | Piretroídes | Lambda-Cihalotrina | Karate con Tecnología Zeón 050 EC | 14 |
| | | Alfa-Cipermetrina | Mageos | 7 |
| | | Gamma-Cihalotrina | Bull | 3 |
| | | Alfa-Cipermetrina | Alfamax 10 EC | 7 |
| Lambda-Cihalotrina | Zero 5 EC | 1 | | |
| <i>Liriomyza huidobrensis</i> | Espinosinas | Spinosad | Entrust | 7 |
| | Melaminas | Ciromazina | Ciromas 75 WP | 14 |
| | Piretroídes | Lambda-Cihalotrina | Lambda-Cihalotrina 5 EC | 12 |
| | | Permetrina | Point Permetrina 50 CE | 3 |
| | | Lambda-Cihalotrina | Karate con Tecnología Zeón 050 EC | 14 |
| | | Lambda-Cihalotrina | Zero 5 EC | 1 |
| | | Alfa-Cipermetrina | Alfamax 10 EC | 7 |
| <i>Tetranychus urticae</i> | Avermectinas | Abamectina | Vertimec 018 EC | 10 |
| <i>Helix aspersa</i> , <i>Deroceras reticulatum</i> | 1,3,5,7-tetroxocanos | Metaldehído | Clartex +R | No aplica |
| | | | Clartex TDS | |
| | | | Metarex SD | |
| | | | Toximol | |

Capítulo 9.

Enfermedades que atacan a la alcachofa

Paulina Sepúlveda R.,
Ingeniera Agrónomo M.Sc.

9.1. Enfermedades causadas por hongos

Las enfermedades causadas por hongos pueden provocar pérdidas importantes en el rendimiento y la calidad de los capítulos y, adicionalmente, pueden disminuir la vida útil de las plantas. Dependiendo de la incidencia y severidad, éstos pueden transformarse en factores limitantes para la producción y comercialización de los productos agrícolas, provocando pérdidas económicas a productores y comercializadores.

Cada enfermedad produce síntomas que por lo general, son característicos, sin embargo, hay casos en que un mismo síntoma puede corresponder a más de un problema y, por lo tanto, es necesario que un técnico con experiencia ayude a identificarlos correctamente, recurriendo a análisis de laboratorio que permitan una identificación inequívoca. Sólo contando con un buen diagnóstico se puede elegir el método de control más adecuado.

Diversos hongos han sido mencionados en la literatura internacional causando enfermedades en alcachofa, sin embargo, en el país la información es reducida. El compendio de fitopatógenos de cultivos agrícolas en Chile, (SAG, 2008) señala a los siguientes hongos como agentes causales de enfermedades en alcachofa en el país, estos son: *Alternaria cinerariae* causando alternariosis o peste negra; *Ascochyta cynarae* como agente causal de la mancha gris o pudrición negra; *Botrytis cinerea* causando el moho gris o manchado de brácteas; *Leveillula taurica* y *Erysiphe cichoracearumu* agentes causales de oídio; *Ramularia cynarae* causante de viruela y *Rhizoctonia solani*, *Verticillium dahliae* y *Fusarium oxysporum* como agentes causantes de enfermedades de raíz y cuello.

Un adecuado manejo de las enfermedades debe basarse en el manejo integrado de enfermedades, que es considerado un cabal conocimiento del patógeno y el control basado en el monitoreo, evaluando incidencia y severidad de la enfermedad para establecer la medida de control más apropiada en cada caso.

A continuación, se describen las enfermedades más frecuentes en el cultivo de alcachofas de acuerdo a lo observado durante el desarrollo del proyecto.

Moho gris o Manchado de brácteas

La enfermedad es causada por el hongo *Botrytis cinerea* Pers., que se caracteriza por ser muy polífago, es decir, es un hongo que afecta a una gran cantidad de especies, tanto de hortalizas como de frutales, causando daños en diferentes estados de desarrollo de las plantas. En Alcachofa el daño se puede producir en diferentes estados como moho gris en inflorescencias, manchas pardas o café claro en el ápice de las brácteas, con necrosis café oscura y abundante micelio (Figura 9.1), antes de la cosecha o durante el almacenamiento. También causa pudriciones en post cosecha. Es poco frecuente que el hongo afecte el follaje.



Figura 9.1. Manchas en las brácteas y micelio de *B. cinerea*.

El hongo se caracteriza por presentar un micelio de color gris con abundancia de esporas o conidias (Figura 9.2a), las que son liberadas desde conidióforos (Figura 9.2b) y diseminadas principalmente por el viento y, secundariamente, por el agua. Estas conidias caen en tejidos susceptibles y pueden penetrar directamente sin la ayuda de una herida, aunque su penetración también puede ocurrir por heridas,

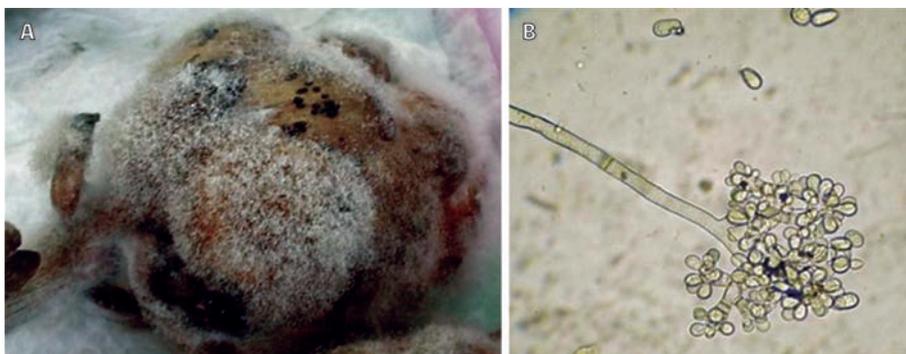


Figura 9.2. A) Abundante micelio de *cinerea* en alcachofa en cámara húmeda. B) Conidióforo de *cinerea*.

especialmente las dejadas por insectos, heladas u otra causa. El hongo sobrevive mediante estructuras de resistencia, formada por la compactación del micelio llamados esclerocios, los que son de color negro y pueden permanecer en el suelo por mucho tiempo. El hongo también puede permanecer saprofiticamente en restos de cultivo, hojas senescentes, en el suelo o malezas (Latorre, 2004).

Para un adecuado control de esta enfermedad, se deben evitar las condiciones predisponentes, como el exceso de humedad y presencia de agua libre sobre la planta. Para ello se recomienda eliminar las hojas senescentes que faciliten la aireación de las partes de la planta susceptibles de ser afectadas. Ello se logra deshojando adecuadamente las plantas de manera de evitar que la humedad relativa sea alta durante períodos prolongados de tiempo y favoreciendo el secado rápido de las distintas partes de la planta después de una lluvia, o cuando se condensa agua sobre las plantas cuando hay rocío.

Existen fungicidas para el control de esta enfermedad, estos conviene aplicarlos dependiendo de los resultados del monitoreo o del historial del campo en forma preventiva o cuando se observen los primeros síntomas de la enfermedad. Algunos de los ingredientes activos de fungicidas autorizados para su uso en Chile por el Servicio Agrícola y Ganadero son: Iprodione, Clorotalonil, Difeconazole y Boscalid. Dado que el hongo se caracteriza por desarrollar resistencia a los fungicidas, es siempre recomendable hacer planes de aplicación que contemplen el uso alternado de dos o más de los fungicidas mencionados.

Viruela

Esta enfermedad es causada por el hongo *Ramularia cynarae*. Se caracteriza por presentar manchas necróticas, circulares e irregulares, con centro de color pardo o gris y borde violáceo que pueden afectar las hojas y los tallos (**Figura 9.3**). Las manchas son visibles de ambos lados del follaje y muy pequeñas en un inicio (2-5 mm de diámetro) pero estas pueden aumentar de tamaño hasta 20 mm, en ataques severos las manchas pueden coalescer y tornarse toda la hoja café y caer. En el centro de las manchas se observa el crecimiento de un micelio de color blanco característico (**Figura 9.4**). La enfermedad revierte importancia cuando el patógeno se mueve a las brácteas.

Al igual que *Botrytis* este hongo forma conidióforos en el centro de las manchas con conidias elipsoides e hialinas (**Figura 9.4**). La enfermedad se disemina por el viento.



Figura 9.3. Manchas en tallo y hojas causadas por *Ramularia cynarae*.



Figura 9.4. Micelio y conidias *Ramularia y cynarae*.

El control de la enfermedad se basa en una adecuada identificación y aplicación de fungicidas en base a Iprodione o Boscalid, según autorización del SAG, cuando la enfermedad tiene una incidencia y severidad en las hojas y antes que alcance las brácteas forales.

Oídio

Dos agentes causales han sido asociados con esta enfermedad en alcachofas, estos son *Leveillula taurica* anamorfo *Oidiopsis taurica* y *Golovinomyces cichoracearum* (previamente llamada *Erysiphe cichoracearum*) anamorfo *Oidium* sp. El oídio se caracteriza por la presencia de micelio blanquecino y pulverulento, sobre las brácteas y/o tallos; lesiones pequeñas y café en hojas basales (**Figura 9.5**). Posteriormente se observa necrosis foliar y presencia de cuerpos frutales de color naranja a café llamados cleistotecios en el envés de las hojas (Fernández, 1990).



Figura 9.5. Oídio en hojas.

De los agentes antes mencionados *Leveillula taurica* es el primero en colonizar el envés de las hojas maduras. Un detallado análisis del follaje permite observar la presencia del micelio y conidias, sin embargo, la vellosidad de las hojas puede enmascarar este signo del patógeno. Las hojas severamente afectadas se tornan de color café. Las hojas jóvenes no son infectadas por el hongo, solo al llegar a madurez. Las infecciones causadas por *Golovinomyces cichoracearum* frecuentemente resultan síntomas menos severos, el hongo se desarrolla preferentemente como micelio blanco a gris en la superficie de las brácteas o en el haz de las hojas jóvenes o maduras, el tejido afectado puede tornarse color púrpura a café. Ambos patógenos son diseminados por conidias por viento (**Figura 9.6**).



Figura 9.6. Conidias de oídio.

El control de la enfermedad se basa en un monitoreo sistemático semanal de modo de determinar los primeros signos del hongo y realizar aplicaciones con fungicidas autorizados por el SAG con los ingredientes activos Microbutanil o Triadimefon, entre otros. Aplicaciones de Azufre en forma preventiva pueden realizarse si hay condiciones predisponentes a la enfermedad o historial del campo.

Verticilosis

El hongo *Verticillium dahliae* es el agente causal de la enfermedad más frecuente e importante del cultivo de alcachofa en el país y el mundo, causa importantes pérdidas de plantas en el establecimiento del cultivo como también en rendimiento. El síntoma de la enfermedad se manifiesta por clorosis, marchitez foliar y muerte total o unilatelar del follaje desde las hojas basales, necrosis vascular que avanza desde la base hacia la parte superior del tallo (**Figura 9.7**). También se observan lesiones necróticas de 2 a 4 cm de largo en las hojas que se extienden por las nervaduras terminando por secar las hojas.



Figura 9.7. Marchitez del follaje y necrosis vascular, características de plantas con verticilosis.

Los síntomas se pueden presentar en toda la planta o solo en algunos hijuelos, estos se pueden observar desde el primer año del cultivo, pero la muerte de la planta generalmente ocurre del segundo año en adelante. Las plantas afectadas disminuyen su crecimiento y su rendimiento se afecta significativamente llegando hasta un 50% menos produciendo capítulos pequeños y de bajo valor comercial. Es importante considerar que algunas plantas pueden portar el hongo y no presentar síntomas, pero bajo condiciones de estrés se desarrolla la sintomatología.

El agente causal es un hongo de suelo que presenta microesclerocios como estructuras de resistencia, que le permiten al patógeno permanecer en el suelo por muchos años (8 a 10 años, en ausencia del hospedero). Penetra a la planta por heridas y crece internamente induciendo a la formación de tilosas (sobre crecimiento de la pared de los vasos conductores) que inhiben el paso de agua y nutrientes en la planta, es por esta razón que la planta exhibe síntomas de marchitez y colapso.

El control de la enfermedad se basa principalmente en prevenir que el hongo entre en contacto con la planta, ya que no existen medidas eficientes de control o erradicación. Es por ello que se recomienda un control cultural que considera:

- Solo plantar estacas comprobadamente sanas. No plantar estacas infectadas, si esta situación se da, es inútil la realización de cualquier otro mecanismo de control. Nunca debe extraer material de plantas sospechosas con Verticilosis.
- Rotación con cultivos no susceptibles como gramíneas (maíz, trigo, cebada, avena, etc.) por más de una temporada para disminuir altos niveles del hongo en el suelo, sin embargo, debido a la naturaleza muy polífaga del hongo, no es una medida que pueda asegurar un nivel adecuado de control.
- Evitar mantención de humedad excesiva en el suelo.
- Nivelar el suelo, preplantación para mejorar la infiltración.
- Aplicación de materia orgánica.
- Arado profundo.
- Riego con gotero enterrado.

- Solarización con polietileno transparente en la medida que sea posible elevar la temperatura del suelo sobre los 36°C durante varios días.
- Evitar el laboreo excesivo del suelo. Muy importante es la incorporación de control de malezas químico para disminuir hospederos del hongo en el suelo. Importante en pre plantación.
- El control químico pre plantación con fumigación de suelo (Metam sodio, Dazomet u otros) o Biofumigación puede ser realizado para eliminar el patógeno del suelo.

Recomendaciones Generales

En general, las enfermedades deben ser manejadas de manera de minimizar los efectos nocivos que ellas tienen sobre las plantas y los productos que de ellas se comercializan, evitando una contaminación excesiva del medio ambiente con los agentes controladores químicos disponibles y minimizando los costos de control de manera de no afectar la productividad del cultivo. La mejor manera de hacer lo anterior es utilizando lo que se ha llamado Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE), el cual se basa en las siguientes premisas:

- **Mantener un nivel aceptable de la enfermedad o plaga:** Esto significa que la enfermedad o plaga no debe erradicarse, sino que debe mantenerse en un nivel en el cual no produce daño económico. Estos umbrales de infección hay que fijarlos para cada plantación y para cada enfermedad en particular.
- **Usar prácticas culturales preventivas:** Ello incluye la selección de variedades resistentes a las enfermedades más comunes de un lugar, y el uso de prácticas de manejo (riego, fertilización, poda, control de malezas, etc.) que minimicen las condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades.
- **Monitoreo permanente de la presencia de plagas y enfermedades:** El manejo de las plagas y enfermedades debe basarse en un diagnóstico certero, para lo cual es imprescindible conocer cuáles son los agentes que están afectando a las plantas. Para ello se deben reconocer los síntomas que el problema produce y ser capaz de identificar el agente causal. Identificado el agente causal, éste debe someterse a un monitoreo sistemático para determinar su incidencia (porcentaje de plantas afectadas por la enfermedad) y severidad (expresado como la intensidad del daño en cada planta) en el campo a lo

largo de la temporada. Junto con registrar el comportamiento de las plagas y enfermedades, hay que llevar un registro del clima (temperatura y humedad), para los casos que corresponda poder desarrollar sistemas predictivos que maximicen la efectividad del control.

- **Uso de métodos de control mecánico:** Los métodos mecánicos de control, siempre deberán ser considerados. Ellos incluyen la eliminación de las fuentes de inóculo para interrumpir la reproducción de las enfermedades y el laboreo mecánico para el control de malezas, a menudo una fuente importante de inóculo para muchas enfermedades.
- **Control Biológico:** Uso de controles biológicos. los agentes controladores biológicos naturales pueden controlar muchas enfermedades, produciendo un mínimo impacto ambiental y con frecuencia, a un costo menor que el control químico.
- **Control Químico:** Se debe recurrir al control químico sólo como última alternativa. Los controles químicos deben usarse sólo cuando sea necesario y con frecuencia, sólo en momentos específicos del ciclo de una determinada enfermedad. Debe privilegiarse el uso de los agroquímicos específicos, por sobre los de amplio espectro de acción y éstos deben utilizarse en las dosis mínimas recomendadas por el fabricante, siempre respetando las precauciones que se indican en la etiqueta en cuanto a los períodos de carencia, al efecto residual del producto, a la disposición de los envases y a la protección de las personas que aplican los agroquímicos.
- **Evaluar permanentemente los resultados de las estrategias de control empleadas:** Es muy importante evaluar en forma sistemática los resultados de los programas de control de manera de ir corrigiendo y mejorando los métodos y optimizando sus resultados.

Junto con la utilización del MIPE, siempre es recomendable el uso de las llamadas “Buenas Prácticas Agrícolas” (BPA), que son las acciones involucradas en la producción, almacenamiento, procesamiento y transporte de productos de origen agropecuario, orientadas a asegurar la inocuidad del producto, la protección al medio ambiente y el bienestar laboral. Ellas incluyen el manejo de suelo, del agua, de los fertilizantes y de los productos fitosanitarios, durante el cultivo, la cosecha, el empaque, el transporte y el almacenado del producto. Las BPA también norman la higiene en el predio, los servicios básicos para el personal,

el respeto a la legislación laboral, el manejo de los residuos líquidos y sólidos del predio y el mantenimiento de registros. En el ámbito de los pesticidas, por ejemplo, las normas regulan la aplicación de los productos fitosanitarios según los requerimientos de los mercados de destino, existiendo tanto normas de carácter general como otras específicas que regulan el almacenamiento y manejo de las bodegas de pesticidas, el área de dosificación de productos, las precauciones que se deben tomar durante la aplicación y post-aplicación, el manejo de envases vacíos y su descarte, el control de emergencias derivadas del mal uso de los productos fitosanitarios, el uso de elementos de protección personal y el transporte. Información detallada de las normas chilenas sobre BPA pueden obtenerse en el siguiente sitio web: <http://www.buenaspracticass.cl/>.

Virus

A través de un estudio realizado para determinar la incidencia de virus en muestras de hojas provenientes de propágulos de alcachofas (rizomas, tallos, hijuelos) de la Región de Coquimbo, se obtuvo que el virus más abundante fue ArLV, el cual estuvo presente en un 100% de las muestras provenientes de rizomas y 13% de las muestras provenientes de hijuelos (**Figura 9.8**).



Figura 9.8. Sintomatología de una planta afectada por virus.

También se detectó el virus del mosaico de la alfalfa (AMV), pero en menor proporción con un 6,7% de tallos y rizomas infectados.

Por otra parte, los análisis arrojaron ausencia en todas las muestras y tejidos analizados de otros virus examinados, como el virus del mosaico del pepino (CMV), Virus del mosaico amarillo del poroto (BYMV) y virus de la marchitez manchada del tomate (TSWV).

- **Virus latente de la alcachofa (ArLv):** Se trata de un virus no persistente y transmitido por áfidos. Dado el carácter latente y la sintomatología prácticamente indefinida de este virus, se deben considerar posibles efectos de este, en reducción del vigor o baja en el rendimiento del cultivo.
- **Virus del mosaico de la alfalfa (AMV):** Este virus afecta muchos otros hospederos y es también del tipo no-persistente transmitido por áfidos, y posiblemente por semillas y polen.

9.2. Literatura citada

Acuña, I. 1988. Manejo de plagas y control químico preventivo de *Botrytis* en alcachofa (*Cynara scolymus*) cv. Chilena, en Curacaví, Región Metropolitana. Tesis (Ing.Agr.) Universidad Católica de Chile. Fac. de Agronomía Santiago. 99 p.

Apablaza, G. 2000. Patología de cultivos epidemiología y control holístico. Universidad Católica de Chile. Fac. de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago. Ediciones Universidad Católica de Chile. 347 p.

Fernández, C. y Bertrand, C. 1988. Verticilosis: principal problema de la alcachofa. Investigación y Progreso Agropecuario La Platina, N° 50, p.6-9.

Fernández, C. y Tobar, G. 1989. Identificación de *Verticillium dahliae* Kleb en alcachofas *Cynara scolymus*. Agricultura Técnica. 49(2):161-163. Texto completo en: <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR07222.pdf>.

- Fernández, C. 1990.** *Leveillula taurica* (Lev) un nuevo organismo causante de oídio en alcachofa. Agricultura Técnica. 50(4):386-389. Texto completo en: <http://www.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR08745.pdf> . <http://www.ipm.ucdavis.edu/PMG/selectnewpest.artichoke.html> (consultado 10 de julio de 2012).
- Koike, S., Gladders, P. and Paulus, A. 2007.** Vegetable diseases. A colour handbook. Academic Press. 448 p.
- Latorre, B. 1990.** (ed.) Plagas de las hortalizas. Manual de manejo integrado. FAO. Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago FAO 1990. 520 p.
- Latorre, B. 2004.** Enfermedades de las plantas cultivadas. Sexta edición. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 638 p.
- Servicio Agrícola y Ganadero. 2008.** Compendio de fitopatógenos de cultivos agrícolas. 121 p.

Capítulo 10.

Control de malezas

Gabriel Saavedra Del Real,

Ingeniero Agrónomo M.Sc. Ph.D.

gsaavedr@inia.cl

10.1. Control de Malezas

El control de malezas, en cualquier cultivo, es algo esencial para evitar la competencia de las plantas no deseadas con las plantas del cultivo. Esta competencia es por espacio, luz, agua y nutrientes, pero además pueden ser reservorio de plagas y enfermedades que atacan posteriormente al cultivo, causando daño económico por menor rendimiento y baja de calidad del producto a cosechar y comercializar.

Aunque, las plantas de la alcachofa, alcanza mayor tamaño, son capaces de competir bien por espacio, las malezas presentes pueden causar daños considerables en rendimiento, pero además pueden causar complicaciones para la cosecha al dificultar el tránsito entre hileras. Sin embargo, el principal problema está en la transferencia de virus desde las malezas a las plantas de alcachofas por insectos como áfidos, especialmente en periodos críticos como lo es el trasplante, plantación o rebrote, cuando la planta está más vulnerable.

El control se puede enfrentar con diferentes estrategias, como la prevención, control directo o una combinación de métodos llamado control integrado. El primer paso es iniciar el control cultural, donde se puede anticipar y demorar la aparición de plantas no deseadas en el cultivo de alcachofas.

10.2. Control cultural

Este control implica una serie de manejos agronómicos de suelo y cultivo, los cuales tienden a disminuir las poblaciones de especies no deseadas presentes en el potrero. Estas son prácticas bastante generalizadas para muchos cultivos, pero en el caso de cultivos perennes, como alcachofa, la cual puede durar dos años en el potrero, es muy importante planificar, implementar a tiempo y ejecutar cuidadosamente, ya que el éxito del cultivo puede estar en estas decisiones.

a) Rotación de cultivos

Este tipo de control se inicia con la decisión en qué potrero se plantarán las alcachofas, entonces hay que ver cuál ha sido la rotación de cultivos que ha tenido ese potrero. Lo mejor es que venga de cultivos de cereales como trigo o maíz, debido a que al ser especies monocotiledóneas tuvieron un buen control sobre las malezas de hoja ancha, las cuales son más difíciles de controlar en alcachofa.

También, la rotación con otras hortalizas anuales es conveniente, especialmente si han sido especies de cultivo escardado o bien estuvieron bajo cubierta de plástico o mulch. Ideal es no cultivar especies de la familia Asterácea antes de alcachofa, ya que puede permitir la proliferación de enfermedades de suelo.

b) Preparación de suelos

Al ser un cultivo plurianual, la preparación de suelos profunda y bien realizada es fundamental para el desarrollo de las plantas. El uso de implementos para mejorar drenaje es muy importante, como el arado subsolador, ya que no trae semillas de malezas a la superficie, y al romper el suelo en profundidad evita la acumulación de agua a nivel de raíces, debido a que la alcachofa es muy sensible al exceso de humedad. El uso de implementos que no inviertan el suelo es deseable, como arado cincel, porque rompen bien y mejoran el paso de agua en profundidad, pero o más importante para disminuir población de malezas, es porque trae semillas del banco inferior al banco superior.

Como la plantación de alcachofa se realiza en pleno verano, la preparación de suelo se puede iniciar en primavera, permitiendo después de un riego la germinación de malezas de semilla y brotación de malezas perenne. Aprovechando

esta circunstancia, es conveniente integrar en el suelo con una labor superficial o remover con equipos de tipo vibrocultivador, antes de empezar a formar los camellones de trasplante.

c) Elección del cultivar:

Es necesario elegir cultivares vigorosos, que sean capaces de competir con las malezas, por rápido crecimiento y cobertura de suelo. En el caso de alcachofa para la agroindustria, como el cv. "Argentina", la selección de plantas y la calidad del material de trasplante son muy importantes, ya que este tendrá que establecerse durante un periodo de activo crecimiento de las malezas presentes (fines de verano a principios de otoño). Material de propagación débil o con enfermedades, se establecerá lento y la competencia será mucho más dañina para la población final de plantas, aunque se mantenga el suelo limpio de malezas, habrá poblaciones menores. Además, estas plantas, por lo general, son menos productivas si logran establecerse (**Figura 10.1**).



Figura 10.1. Diferencias entre cultivares vigorosos y de buena calidad de plantas, comparado con plantas débiles y de baja calidad. A) Plantación de alcachofas vigorosas. B) Plantación de alcachofas débiles. C) Establecimiento de plantas vigorosas. D) Producción en plantel vigoroso.

En el caso de plantas provenientes de semillas, las plántulas a trasplantar deben ser vigorosas y sanas, aunque este tipo de híbridos tienen gran vigor de crecimiento y son capaces de competir bien con las malezas.

d) Fertilización:

La nutrición balanceada es esencial en este cultivo, como en cualquier otro, excesos de fertilización favorecen la utilización de nutrientes por parte de las malezas presentes, haciéndolas más competitivas con el cultivo. En general, las especies consideradas malezas son más eficientes en la utilización de los nutrientes y agua, teniendo un desarrollo muy rápido y vigoroso. Por lo tanto, en el otro extremo, con déficit nutricional en el cultivo, las malezas crecerán más fuertes que el propio cultivo, siendo más competitivas y causando aún más daño a la producción.

e) Manejo de agua:

Un manejo de riego adecuado a las etapas de crecimiento de la planta de alcachofa, es necesario para mantener un crecimiento vigoroso y competitivo con las malezas que van apareciendo a lo largo del año.

Es ideal tener algún tipo de decantador o filtro para disminuir la cantidad de semillas de malezas que entran a través del agua de riego, antes que esta agua sea distribuida en el potrero. El agua de riego es la principal fuente de contaminación con semillas de especies consideradas malezas.

10.3. Control manual y mecánico

Esto corresponde a labores de eliminación de plantas a través de limpiezas manuales o con herramientas como azadones o echonas. En general, se realizan cuando las plantas de malezas están muy altas y son difíciles de eliminar con paso de maquinaria o cultivaciones.

El control mecánico se realiza con equipos tirados por caballos o tractores, dependiendo del estado fenológico del cultivo, la cobertura y altura de las plantas. Se realiza una limpieza entre hileras y a la vez se aprovecha de hacer los surcos de riego más profundos o correrlos más hacia el centro de las entre hileras.

Una vez que la planta de alcachofa entra en receso, se corta el follaje seco, es un buen momento para cortar las malezas altas con el mismo equipo y dejar el suelo limpio. Con el riego de reactivación, también se reactivan las malezas, germinando las semillas de la temporada anterior y las partes vegetativas de las malezas perennes. En este momento se puede realizar una limpieza con equipos livianos entre hileras y manual sobre hilera.

10.4. Control químico

No hay herbicidas selectivos para el cultivo de alcachofa, pero hay una serie de ingredientes activos que se usan en diferentes momentos fenológicos del cultivo, con muy buen resultado. En general, el control de malezas químico se realiza principalmente al trasplante, entre hileras y al momento de la reactivación del segundo año.

El trasplante de “palos” o “tallos” es la práctica más común en la reproducción de alcachofas vía clonal, una vez realizado esto y cuando aún las yemas dormantes están bajo el suelo (**Figuras 10.2a y 10.2b**), pero reactivándose lentamente, es posible hacer un control químico de malezas con productos de amplio espectro de contacto o sistémicos, una vez emergidas las primeras hojas ya no se puede aplicar este tipo de herbicidas (**Figuras 10.2c y 10.2d**). Dependiendo del grado de presencia de malezas y qué especies están involucradas, se toma la decisión del ingrediente activo a utilizar. Al ser este proceso en pleno verano, con poca humedad y alta temperatura, es recomendable usar productos como Farmon (*Paraquat + Diquat*) que al ser de contacto y no selectivo actúa de mejor manera que un sistémico. Otro herbicida que se puede usar de post emergencia es Goal (*Oxifluorfen*) aplicado un día después de trasplante sellando el suelo. En caso de presencia de malezas perennes como maicillo (*Sorghum halepense*) y chéptica (*Cynodon dactylon*) se puede usar Hache Uno 2000 (*Fluazifop-p-butil*), el cual también controla otras gramíneas provenientes de semilla. Al tener presencia de Chufa (*Cyperus spp*), es recomendable usar Sempra (*Halosulfurón metilo*), después de un riego y con la maleza en crecimiento activo con unos 20 cm de altura.

En caso de trasplante de plántulas de semilla, es mejor hacer una reactivación de malezas de semilla y perennes con un riego antes del trasplante, aplicar Farmon (*Paraquat + Diquat*) o Gramoxone (*Paraquat*), o Touchdown (*Glifosato + Alquilglucósido + Amina Etoxilada*), o Roundup, Rango, Panzer (*Glifosato*), todos herbicidas de amplio espectro de contacto y sistémicos, cuando las malezas estén en activo



Figura 10.2. Estados de plantación de alcachofa y momentos de aplicación de herbicidas de amplio espectro. A) Plantación de “palos” de alcachofa. B) “Palos” de alcachofa sin brotar. C) “Palo” en brotación de yemas subterráneas. D) “Palo” brotado con tres hojas verdaderas.

crecimiento, con 2 a 4 hojas o unos 10 cm de altura. Si persisten las malezas gramíneas se puede aplicar en post-emergencia Assure Pro (*Quizalofop-p-ethyl*). Durante el crecimiento y desarrollo de plantas de alcachofa, desmanche y en planteles de segundo año, es conveniente hacer aplicaciones entre hileras con pantalla de los mismos productos de amplio espectro mencionados anteriormente, pero que no entren en contacto con las hojas o tallos de las plantas.

A continuación, se entrega información detallada de cada uno de los herbicidas recomendados, de acuerdo a la recomendación de etiqueta.

Ingrediente Activo : *Fluazifop-p-butil*.

Grupo : Fenoxi propionato.

Productos : Hache Uno 2000 175EC.

Acción : Post-emergencia, selectivo y sistémico, con 40 días de carencia.

Control : Exclusivamente gramíneas anuales y perennes en cultivos de hoja ancha. Muy efectivo sobre maicillo y chéptica, buen efecto en eliminación de ballica, hualcacho, pasto cebolla y otras gramíneas.

Modo de acción : Sistémica ambimóvil, permite moverse por la circulación savial, acumulándose en puntos de crecimiento como yemas, rizomas y raíces.

Dosis y momento de aplicación:

Gramíneas de semilla 0,75 - 2,5 L/ha La dosis depende de la sensibilidad de la especie. Aplicar en malezas con 2 - 4 hojas.

Gramíneas perennes:

- Maicillo 1,0 - 2,5 L/ha Aplicar desde 15 cm de altura hasta antes de la aparición de panoja. Óptimo con 15 a 30 cm de altura o 3 -6 hojas.
- Chéptica 2,5 - 4,0 L/ha Aplicar sobre maleza joven, antes de floración. Óptimo con brotes de 5 a 10 cm de largo, repetir a los 30 a 45 días.
- Desmanche 0,5 - 1,0 L/ha Mojar completamente la maleza, hasta punto de goteo.

Ingrediente Activo : *Oxifluorfen.*

Grupo : Difenil éter (DFE).

Productos : Goal 2EC.

Acción : Pre y post-emergencia, de contacto, sin carencia.

Control : Sobre malezas de hoja ancha y algunas gramíneas anuales.

Modo de acción : Impide la detoxificación de radicales tóxicos de oxígeno que atacan los ácidos grasos insaturados de las membranas celulares. Forma una barrera química residual en la superficie del suelo que provoca daño a la maleza durante la germinación y posterior emergencia. Posee un largo efecto residual que permite mantener el cultivo limpio de malezas durante el periodo crítico de competencia de malezas.

Dosis y momento de aplicación:

2 - 3 L/ha Aplicar en 200 a 300 L de agua sobre suelo húmedo y mullido.

Aplicar antes o inmediatamente después del trasplante (1 día). En plantaciones de segundo año, aplicar 2 L/ha entre hileras sin mojar las hojas del cultivo.

Ingrediente Activo : Quizalofop-*p*-ethyl.

Grupo : Fenoxi propionato.

Productos : Assure Pro.

Acción : Post-emergencia, selectivo y sistémico, con 50 días de carencia.

Control : Exclusivamente gramíneas anuales y perennes en cultivos de hoja ancha. Usar sobre malezas en crecimiento activo, no posee efecto residual sobre malezas gramíneas, solo controla malezas gramíneas sensibles presentes al momento de la aplicación.

Modo de acción : Una vez aplicado es absorbido rápidamente y distribuido dentro de las malezas sensibles, se detiene el crecimiento, hay cambio de coloración, clorosis, necrosis y, finalmente, las malezas morirán. Inhiben la formación de ácidos grasos, que son esenciales para la formación de lípidos, componentes fundamentales de la membrana celular, lo que determina la desorganización del tejido.

Dosis y momento de aplicación:

Gramíneas anuales 0,25 - 1,125 L/ha Aplicar en malezas con altura entre 5 y 15 cm.

Gramíneas perennes:

- Maicillo 0,5 - 1,5 L/ha Aplicar a plantas de 30 a 45 cm de altura. Se debe aplicar la segunda dosis cuando los brotes tengan nuevamente la misma altura.
 - Chépica 0,5 - 1,5 L/ha Aplicar a plantas de 8 a 15 cm de altura.
 - Pasto Bermuda
 - Ballica
- Se debe aplicar la segunda dosis cuando los brotes tengan nuevamente la misma altura.

Ingrediente Activo : *Paraquat + Diquat.*

Grupo : Bipiridilo.

Productos : Farmon.

Acción : Post-emergencia, no selectivo y contacto, no tiene carencia.

Control : Tiene amplio espectro de control sobre especies de malezas gramíneas y hoja ancha. Controla bien en condiciones de falta de humedad, baja temperatura y luminosidad, donde herbicidas sistémicos no tienen buena acción.

Modo de acción : Al entrar en contacto con la planta, inhiben el fotosistema I. Tienen un alto potencial reductor que les permite recibir electrones del fotosistema II en vez de ferridoxina, por lo tanto, no hay formación de NADPH en los cloroplastos. Se inactiva completamente al entrar en contacto con el suelo, no se lixivia, ni se bioacumula.

Dosis y momento de aplicación:

| | | |
|----------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pre y post plantación de "palos" | 1,5 - 3,0 L/ha 0,75 a 1 L por 100 L de agua | Aplicar en malezas con crecimiento activo, de altura inferior a 10 cm y 2 a 4 hojas, antes que se active la brotación de "palos". |
| Control entre hileras | 1,5 - 3,0 L/ha 0,75 a 1 L por 100 L de agua | Aplicar con pantalla protectora, para que el producto no entre en contacto con ningún órgano de la planta de alcachofa. |
| Plantel de segundo año | 1,5 - 3,0 L/ha 0,75 a 1 L por 100 L de agua | Aplicar en malezas con crecimiento activo, de altura inferior a 10 cm y 2 a 4 hojas, antes que se reactive y brote la planta de alcachofa. |

Ingrediente Activo : Paraquat.

Grupo : Bipiridilo.

Productos : Gramoxone Super, Paraquat 276 SL,
Paraquat 27.6 SL, Kazaro 276 SL

Acción : Post-emergencia, no selectivo y contacto, no tiene carencia.

Control : Tiene amplio espectro de control sobre especies de malezas gramíneas y hoja ancha. Controla bien en condiciones de falta de humedad, baja temperatura y luminosidad, donde herbicidas sistémicos no tienen buena acción.

Modo de acción : Al entrar en contacto con la planta, inhiben el fotosistema I. Tienen un alto potencial reductor que les permite recibir electrones del fotosistema en vez de ferridoxina, por lo tanto, no hay formación de NADPH en los cloroplastos. Se inactiva completamente al entrar en contacto con el suelo, no se lixivia, ni se bioacumula.

Dosis y momento de aplicación:

| | | |
|----------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pre y post plantación de "palos" | 1,5 - 3,0 L/ha 0,75 a 1 L por 100 L de agua | Aplicar en malezas con crecimiento activo, de altura inferior a 10 cm y 2 a 4 hojas, antes que se active la brotación de "palos". |
| Control entre hileras | 1,5 - 3,0 L/ha 0,75 a 1 L por 100 L de agua | Aplicar con pantalla protectora, para que el producto no entre en contacto con ningún órgano de la planta de alcachofa. |
| Plantel de segundo año | 1,5 - 3,0 L/ha 0,75 a 1 L por 100 L de agua | Aplicar en malezas con crecimiento activo, de altura inferior a 10 cm y 2 a 4 hojas, antes que se reactive y brote la planta de alcachofa. |

Ingrediente Activo : *Glifosato + Alquilpoliglucósido (surfactante) + Amina etoxilada (surfactante).*

Grupo : Amina ácida o derivado de glicina
Alquilpolisacárido (no iónico)
Amina grasa etoxilada (catiónico)

Productos : Touchdown IQ.

Acción : Post-emergencia, no selectivo y sistémico, con 30 días de carencia.

Control : Herbicida de amplio espectro para control de malezas anuales y perennes de hoja angosta y ancha. Usar sobre malezas en crecimiento activo, en sus primeros estados de desarrollo.

Modo de acción : Una vez en contacto con la planta, es rápidamente absorbido e inhibe la función de la vía del ácido shikímico, produciendo una deficiencia en los aminoácidos aromáticos, lo que eventualmente provoca la muerte de la planta a causa de desnutrición. Se inhibe en contacto con el suelo y no deja residuos.

Dosis y momento de aplicación:

| | | |
|--------------------------------|----------------|------------------------------------------------|
| Hoja ancha y gramíneas anuales | 1,1 - 1,8 L/ha | Aplicar en malezas con altura entre 5 y 15 cm. |
|--------------------------------|----------------|------------------------------------------------|

Malezas perennes:

- | | | |
|------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| • Hoja ancha y angosta | 1,4 - 2,9 L/ha | Maicillo, aplicar 30 a 45 días después de emergencia. Correhuela, a inicios de floración. |
| • Chépica | 2,9 - 4,3 L/ha | Aplicar a plantas en activo crecimiento con estolones de 25 cm. |
| • Pasto Bermuda | | |
| • Chufa | 2,9 - 4,3 L/ha | Aplicar con plantas en crecimiento activo de 15 a 20 cm de altura. |

| | | |
|-----------|------------------------------|--------------------------------------------|
| Desmanche | 1,1 - 2,9 L en 100 L de agua | Aplicar sobre malezas con buen mojamiento. |
|-----------|------------------------------|--------------------------------------------|

Ingrediente Activo : *Glifosato.*

Grupo : Amina ácida o derivado de glicina

Productos : Roundup, Rango 480SL, Rango 75 WG, Panzer, Glifosato 48%SL.

Acción : Post-emergencia, no selectivo y sistémico, con 30 días de carencia.

Control : Herbicida de amplio espectro para control de malezas anuales y perennes de hoja angosta y ancha. Usar sobre malezas en crecimiento activo, en sus primeros estados de desarrollo.

Modo de acción : Una vez en contacto con la planta, es rápidamente absorbido e inhibe la función de la vía del ácido shikímico, produciendo una deficiencia en los aminoácidos aromáticos, lo que eventualmente provoca la muerte de la planta a causa de desnutrición. Se inhibe en contacto con el suelo y no deja residuos.

Dosis y momento de aplicación:

| | | |
|--------------------------------|----------------|------------------------------------------------|
| Hoja ancha y gramíneas anuales | 2,0 – 4,0 L/ha | Aplicar en malezas con altura entre 5 y 15 cm. |
|--------------------------------|----------------|------------------------------------------------|

Malezas perennes:

- Hoja ancha y angosta 3,0 – 8,0 L/ha Maicillo, aplicar 30 a 45 días después de emergencia. Correhuela, a inicios de floración.

- Chépica 3,0 – 8,0 L/ha
- Pasto Bermuda

Aplicar a plantas en activo crecimiento con estolones de 25 cm.

| | | |
|-----------|------------------------------|--------------------------------------------|
| Desmanche | 2,0 – 3,0 L en 100 L de agua | Aplicar sobre malezas con buen mojamiento. |
|-----------|------------------------------|--------------------------------------------|

10.5. Control integrado

El concepto de MI (Manejo Integrado) tiene su origen en la entomología, donde se han desarrollado programas que comprenden métodos culturales, legales, biológicos, físicos y químicos, etc.; destacando el mejoramiento genético de plantas cultivadas resistentes a las plagas, programas de control biológico, prácticas agrícolas apropiadas y oportunas, y el uso racional de plaguicidas. El sistema de manejo sostenible de malezas combina juiciosamente varias estrategias de control con el fin de reducir el impacto de las malezas a un nivel económicamente aceptable.

Las metas de un sistema de Manejo Integrado de Malezas (MIM) deberían ser reducir el movimiento de las semillas dentro del suelo y reducir el impacto de las malezas en los cultivos a un nivel económicamente aceptable. El énfasis debe ser puesto más en el manejo que en la erradicación. El MIM ha sido poco usado en la agricultura de una manera racional y planificada. Su implementación requiere de conocimientos básicos de varias disciplinas y el desarrollo de investigaciones a nivel de campo, para comprender los diferentes factores que regulan el comportamiento de las malezas.

Para implementar un programa de MIM, a nivel de parcela, unidad de producción o zona agrícola, se requiere al menos lo siguiente:

1. La identificación de las malezas presentes, su distribución y nivel de infestación.
2. Conocer la biología y ecología de las especies predominantes.
3. Potencial de daño de las especies de malezas predominantes.
4. Disponer de recursos para implementar métodos de control técnicamente efectivos, económicamente viables y seguros para el ambiente.

Por lo tanto, el control integrado es más bien un programa de manejo de malezas, que sea sostenible y sustentable en el tiempo, de manera de mantener las poblaciones de malezas a niveles que no causen daño económico al cultivo. Entonces, de acuerdo a las especies de malezas presentes se debe diseñar una estrategia de manejo apropiada también al cultivo, donde se integren todos los métodos disponibles.

Por ejemplo, si hay gran presencia de maicillo (*Sorghum halepense*) se puede iniciar la temporada anterior a la plantación de alcachofas disminuyendo la población, evitando la producción de semillas y la producción de rizomas. Realizar control mecánico durante el primer mes después de la emergencia de la planta (30-40 cm). Dar vuelta y sacar los rizomas, exponerlos al sol para que se deshidraten, cortes frecuentes tienden a consumir las reservas de los rizomas y limitan su brotación.

Una vez que se decide preparar el suelo, no se debe utilizar implementos que partan los rizomas en trozos pequeños y los diseminen, como arados y rastras de disco, es mejor usar arados cincel y vibrocultivadoras. Cuando está armado el camellón de trasplante, si se usa el sistema clonal de "palos", se puede plantar, regar y esperar que broten los renuevos de maicillo, entonces cuando tengan 15 a 30 cm de altura aplicar el herbicida Hache Uno que es específico para estas gramíneas. Después de unos 30 a 45 días se puede repasar con el mismo producto. Posteriormente, es necesario fertilizar bien las plantas de alcachofa para que tengan un crecimiento vigoroso y sean competitivas con las malezas presentes. Así como este plan de acción hay muchos otros que se pueden realizar según las especies de malezas dominantes, de manera de disminuir la competencia con el cultivo de alcachofa. Por otra parte, esta planta a tener gran vigor de crecimiento y cobertura de suelo, es una buena competidora con las malezas, por lo tanto, un manejo inicial apropiado permite tener un suelo limpio y con baja competencia.

Capítulo 11.

Cosecha y recolección

Carlos Blanco Moreno,
Ingeniero Agrónomo Mg.
cblanco@inia.cl

11.1. Cosecha

La cosecha de la alcachofa está muy influenciada por el destino del producto, bien sea en fresco para el mercado nacional o para la agroindustria.

En el caso del cultivar Argentina, este se ha destinado principalmente al mercado de la industria favorecido por sus características como planta entre las cuales se encuentra:

- su precocidad,
- producción durante dos ciclos productivos (invernal y primaveral),
- alta prolificidad de la planta (capacidad para emitir hijuelos)
- y su rendimiento expresado en cabezuelas por planta,

La época de cosecha depende muchas veces de la fecha de establecimiento del cultivo y de las características climáticas de la época anterior a las cuales estaban sometidas las plantas que se utilizaron como material a propagar. Sin embargo, para establecimientos entre los meses de enero a marzo la entrada en producción comienza normalmente en el mes de junio dando inicio a la producción invernal.

Durante la cosecha se observan en el cultivo dos ciclos productivos bien definidos: ciclo invernal y ciclo primaveral. Con respecto al primero el rendimiento alcanzado en términos porcentuales puede ser entre un 25 a 30% de la producción total y el ciclo primaveral (septiembre a comienzos de noviembre) concentra la mayor producción cercana al 70% de la producción total. Establecimientos del cultivo en forma más anticipada de lo mencionado puede favorecer una

precocidad aun mayor del cultivo, sin embargo, dado las temperaturas en el período de floración la calidad del capítulo se ve desfavorecida observándose “capítulos acardados” que tienden a segregar características como presencia de espinas en las brácteas.

Considerando que prácticamente el 100% del procesamiento nacional para conservas corresponde a alcachofa Argentina, se han introducido al mercado nacional variedades híbridas de alcachofas propagadas por semilla. En algunas variedades la forma de los capítulos tiende a ser similar a la de la alcachofa Argentina, lo que les otorga posibilidades para el procesamiento. Además, presentan ventajas tales como conseguir rápidamente el material, asegurar el número de plantas por hectárea al establecimiento, garantizar la sanidad porque no transmiten virus ni otras enfermedades, y una mayor homogeneidad del producto a la cosecha. Sin embargo, el costo por hectárea parece ser una de las principales limitantes, pues idealmente la semilla debe ser reemplazada todos los años, y no se debería obtener material vegetal de propagación vegetativa para un segundo ciclo.

Por otro lado, dichas variedades tienen un período vegetativo que puede durar entre 180 a 210 días dependiendo de la época de establecimiento para concentrar su producción en los siguientes 60 días. Esto conlleva la posibilidad de manejar a nivel de agroindustria la superficie contratada, de manera de evaluar épocas de establecimiento por localidades y regiones, que permitan escalar la producción para abastecer a la planta procesadora en forma paulatina y evitar acumulación de materia prima.

11.2. Recolección

En la alcachofa Argentina se utiliza como parámetro de cosecha el calibre del capítulo el cual puede variar entre 50 y 70 mm de diámetro. Por lo tanto, tanto el peso como número de capítulos por hectárea va a depender del diámetro del capítulo al momento de la recolección como número de pasadas que se logre realizar al cultivo. Mientras más cosechas se realicen, la planta puede estimular más la producción de capítulos siendo más productiva.

La parte comestible, es decir, la no fibrosa, alcanza su mayor proporción cuando el capítulo ha llegado al máximo de desarrollo, pero debe mantener las brácteas apretadas o cerradas. Esta fase de índice de cosecha, puede variar días

dependiendo las condiciones ambientales de la zona productora y el manejo agronómico que esté sometido el cultivo, esto permite que la recolección pueda regularse bastante bien en función de la demanda de los mercados, con la excepción de las épocas de calor, en las que la evolución de los capítulos es muy rápida. El estado descrito corresponde a ausencia de pigmentaciones violetas en las brácteas interiores y con un escaso desarrollo de las flores en el receptáculo, es decir, con una escasa presencia de lo que se denomina “pelo”.

El número de pasadas para realizar la cosecha depende del clima y del estado vegetativo de la planta. En épocas frías las pasadas pueden ser semanales, quincenales o incluso cada 20 días, mientras que en épocas de calor se puede llegar a tener que realizar pasadas cada tres a cuatro días.

El destino de la producción condiciona la cosecha sobre todo en este cultivar que dada su precocidad permite abastecer de alcachofa fresca al mercado en época invernal, donde los cultivares de fresco americanos o franceses están ausentes. En este sentido los capítulos pueden ser altamente rentables para el agricultor y su calibre a cosecha es de aproximadamente 10 a 12 cm antes que se produzca la abertura de las brácteas y suelen cosecharse con unos 10 a 15 cm de tallo. Sin embargo, como el propósito fundamental de este cultivar es el procesamiento para la agroindustria destinada a la elaboración de alcachofines en frescos ya sea marinados o en agua para el mercado nacional e internacional, la cosecha se orienta a los calibres entre 50 a 70 mm con unos 5 cm de tallo (**Figura 11.1**). La presencia de tallo retarda el marchitamiento, evita el oscurecimiento de las brácteas y la aparición de sabores amargos en el capítulo.

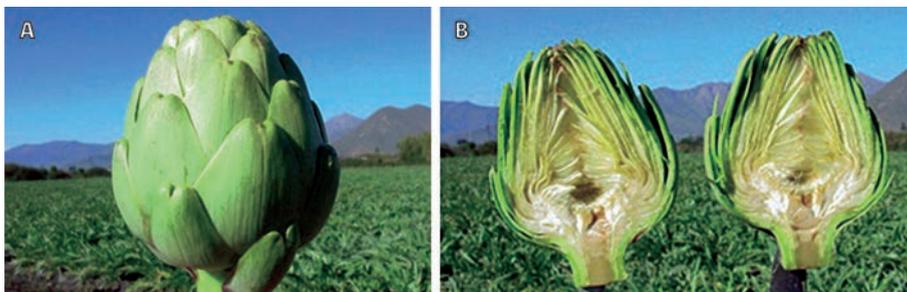


Figura 11.1. Capítulo de alcachofa Argentina, A) con un diámetro de 70 mm y B) presencia de receptáculo y brácteas.

La recolección debe hacerse en las primeras horas de la mañana, manteniendo los capítulos en lugares frescos para evitar que se deshidraten. Se recomienda no cortar simultáneamente el capítulo principal y los secundarios de una misma planta en una única pasada, debido a que se suprimirá el efecto de “tiravías” que estos realizan, provocando la detención del desarrollo de los capítulos del tercer y sucesivos órdenes. Los capítulos deben ser colocados en recipientes que reduzcan en la medida de lo posible los daños por fricción (**Figura 11.2**). Estos hacen desmerecer el producto y pueden facilitar el ataque de microorganismos como *Botrytis cinerea*.



Figura 11.2. Bins contenedores utilizados para el almacenamiento de los capítulos en la cosecha de alcachofa.

Se han desarrollado todo tipos de implementos para favorecer la cosecha manual, aumentando el rendimiento de los operarios. Estos van desde un recipiente a la espalda del operario, como una plataforma autopropulsada que avanza entre las hileras de alcachofa siendo una maquinaria semi mecanizada (**Figura 11.3**).



Figura 11.3. Sistemas utilizados para facilitar la cosecha de alcachofa.

11.3. Almacenamiento

En el período de postcosecha el proceso de desarrollo del capítulo de alcachofa continua, ya que esta especie se encuentra entre las hortalizas con mayor actividad metabólica. Por tanto, su perecibilidad, es alta. En las alteraciones que puede sufrir la alcachofa en esta fase están:

- Deshidratación, pérdida de agua por transpiración.
- Apertura de las brácteas, lo que está relacionado con un aumento de la fibrosidad y desarrollo del “pelo”.
- Apariciones de pigmentaciones violetas en las brácteas interiores y pardeamientos en las brácteas interiores y exteriores.
- Si no existe una buena ventilación en el lugar de almacenamiento se produce daños por excesos de CO₂, consistentes en manchas necróticas oscuras en las bases de las brácteas interiores.
- Daños de origen de patógenos, principalmente podredumbre gris causada por *Botrytis cinerea*.

Por lo general, no está justificado económicamente ningún tipo de almacenamiento en frío. Cuando no se utiliza frío para el almacenamiento, el consumo debe realizarse entre los 3 a 5 días posteriores a la recolección. De todas formas, para conservaciones de 15 a 30 días se recomienda la conservación en cámara de frío (0 a 1°C) con control de humedad (95%). Si se requiere llegar a los 45 días, se recomienda la utilización conjunta de pre-enfriamiento, frío (0 a 1°C), humedad relativa alta 95% HR y envolturas plásticas perforadas o semipermeables.

11.4. Literatura citada

Gil, R., Villa, F., Arce, P. y Macua, J. 1995. Variedades de alcachofa. HF-Hortoinformación 9: 58-60.

Gil, R. 1996. El cultivo de la alcachofa. Hojas Divulgativas Núm. 2097 HD. Servicio de Investigación Agroalimentaria. D.G.A. 50080 ZARAGOZA p. 47.

Macua, J. 1996. Colección de variedades de alcachofa (1993-1995). I Jornadas Técnicas de Alcachofa, Tudela, España. p. 151-160.

Capítulo 12.

Clon de alcachofa tipo “Argentina” libre de virus

Gabriel Saavedra Del Real,

Ingeniero Agrónomo MSc., Ph.D.,

gsaavedr@inia.cl

12.1. Clon de alcachofa tipo “Argentina” libre de virus

La alcachofa (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* (L.) Fiori), en la mayoría de los países donde se cultiva, se propaga casi exclusivamente en forma vegetativa, aunque en la actualidad hay cultivares híbridos propagados por semilla que se están utilizando, pero los cultivares tradicionales en Europa y Sudamérica continúan siendo de reproducción clonal. El material de propagación se obtiene directamente de plantas adultas en el mismo campo, es por esto que se afirma, que gran parte del material utilizado para formar nuevos plantales está infectado por uno o varios virus, además de otras enfermedades fungosas. Estos virus se podrían presentar en forma individual o asociados como complejos virales, se ha visto que muchas veces no presentan ninguna sintomatología concreta y particular, si no que provocan en las plantas síntomas diferentes, a veces con mayor o menor intensidad, inclusive imperceptibles, como reducción de vigor y desarrollo, disminución de rendimiento y en algunas ocasiones causando el síndrome conocido como “degeneración” de plantas. Por lo tanto, esta situación de las plantas clonales de alcachofa ha llevado a la conclusión que los virus son uno de los factores causantes de la pérdida de vigor y rendimiento de las plantas, pero dado el carácter latente de algunos de ellos, unidos a una sintomatología indefinida, no es posible relacionar visualmente los efectos con las causas concretas.

El virus Latente de la Alcachofa (ArLV) es la enfermedad viral más común que afecta el cultivo de la alcachofa (Babes y otros, 2004). ArLV es uno de los típicos virus perteneciente al grupo de los Potyvirus con partículas de 730 nm de largo y que puede ser transmitido en el campo por áfidos de manera no persistente (Gallitelli, 2004). Aunque no hay mucha información, ni investigación desarrolla-

da en Chile, Rosales y otros (2011) indicaron que ArLV es una de las infecciones virales más comunes, alcanzando al 90% de las plantas cultivadas de alcachofa. Estudios de pérdidas de rendimiento realizados en diferentes partes de mundo han demostrado que estas varían entre 38% y 53%, afectando principalmente al retraso en la madurez (Gallitelli, 2004).

No hay tratamientos químicos de control disponibles para las enfermedades virales, por lo tanto, las estrategias están restringidas a prevenir la transmisión o eliminar los virus de las plantas ya sea por termoterapia o cultivo de meristemas, o una combinación de ambos. Muchos intentos se han hecho para eliminar virus y mejorar los métodos de cultivo *in vitro* para la alcachofa (López-Pérez y Martínez, 2015; Bedini y otro, 2012; Acquadro y otros, 2010; Navacchi y otros, 2005), pero se ha asociado al cultivo de meristemas con la pérdida de precocidad en cultivares de producción temprana como 'Brindisino' o 'Blanca de Tudela' (Acquadro y otros, 2010). Por otra parte, Pécaut y Martin (1993) reportaron que el cultivo de meristemas producía variaciones en las plantas generadas que se distinguían por su floración tardía y hojas profundamente divididas, además de capítulos globosos, pero Acquadro (2010) reportó que otros tipos de tratamientos como termoterapia *in vitro* e *in vivo* fueron exitosos en mantener la precocidad y la forma típica del capítulo en el cultivar 'Brindisino'.

En cuanto a comportamiento agronómico, las plantas libres de virus fueron mejores que el control de plantas no tratadas del tipo tardío 'Romanesco' (Saccardo y otros, 2007). Sin embargo, el problema es que siempre está la probabilidad de re-infección a través de vectores, así Barba y otros (2007) encontró que el cultivar libre de virus en segundo año de cultivo en diferentes regiones presentó plantas infectadas con ArLV. Por lo tanto, la estrategia de reemplazo de plantas debería ser anual, pero estas plantas libres de virus deberían generar un incremento sustancial en productividad, por el mayor costo por planta comparado con el material de reproducción vegetativo.

a) Selección de clones

El primer paso para iniciar el trabajo de limpieza de virus en alcachofa fue elegir un clon que por sus características agronómicas y de calidad industrial fuese el ideal, pero además se incluyó el contenido de cinarina. Se evaluaron 97 clones de alcachofa tipo 'Argentina' por sus características morfo-agronómicas, de los cuales tres sobresalieron del promedio general de la clasificación por diferentes perfiles específicos, cuyos resultados se muestran en el **Cuadro 12.1**.

Cuadro 12.1. Características morfológicas de tres clones seleccionados de alcachofa tipo 'Argentina' provenientes de Catemu, Región de Valparaíso.

| Características morfológicas | Clones CAT | | | Promedio general |
|--------------------------------------|------------|--------|--------|------------------|
| | 4 | 5 | 32 | |
| Planta | | | | |
| Altura de planta (cm) | 83 | 95 | 82 | 84±10 |
| Cobertura de planta (cm) | 140 | 144 | 183 | 142±16 |
| Nº ramificaciones en tallo principal | 2 | 3 | 1 | 1±1 |
| Capítulo central | | | | |
| Peso (g) | 271,6 | 88,8 | 198,2 | 198,4±71,2 |
| Longitud (mm) | 102,3 | 69,6 | 88,1 | 88,1±14,3 |
| Diámetro (mm) | 29,0 | 20,0 | 26,0 | 27,0±5,0 |
| Volumen (cm ³) | 22,5 | 7,3 | 15,6 | 16,8±0,1 |
| Longitud de la base (mm) | 11,8 | 11,7 | 14,4 | 12,4±1,6 |
| Anchura de la base (mm) | 35,9 | 25,9 | 34,7 | 30,7±3,9 |
| Espesor de la base (mm) | 7,1 | 5,5 | 5,1 | 5,8±1,2 |
| Forma de la sección longitudinal | Cónico | Cónico | Cónico | Cónico |
| Capítulos laterales | | | | |
| Peso (g) | 139,0 | 136,2 | 97,8 | 145,5±56,7 |
| Longitud (mm) | 79,6 | 84,4 | 68,4 | 82,3±13,5 |
| Diámetro (mm) | 22,5 | 23,0 | 19,0 | 24,0±4,0 |
| Volumen (cm ³) | 10,6 | 11,7 | 6,5 | 12,4±0,1 |
| Longitud de la base (mm) | 9,2 | 13,2 | 9,4 | 11,3±2,3 |
| Anchura de la base (mm) | 31,0 | 29,5 | 26,5 | 28,5±6,1 |
| Espesor de la base (mm) | 5,2 | 4,6 | 4,3 | 5,5±2,7 |
| Forma de la sección longitudinal | Cónico | Cónico | Cónico | Cónico |

Estos tres clones, CAT4, CAT5 y CAT32 fueron los de mejor comportamiento agronómico e industrial, por lo tanto, fueron seleccionados para ser evaluados por su contenido de cinarina, otro componente importante en la diferenciación de material genético.

Al analizar las tres selecciones y compararlas con otros clones de uso común en el país, se pudo distinguir que a nivel de hojas hay diferencias entre contenidos por época de muestreo para todos los clones (**Figura 12.1**), pero se observó claramente que el clon CAT 4 tuvo un contenido muy superior al resto de los clones durante el periodo de evaluaciones, pero su mayor concentración estuvo en el mes de octubre, siendo un 34% mayor que Green Globe, clon que lo siguió en contenido. Por otra parte, los clones seleccionados CAT5 y CAT32 mostraron resultados bastante uniformes durante el año, un leve incremento en el mes de octubre.

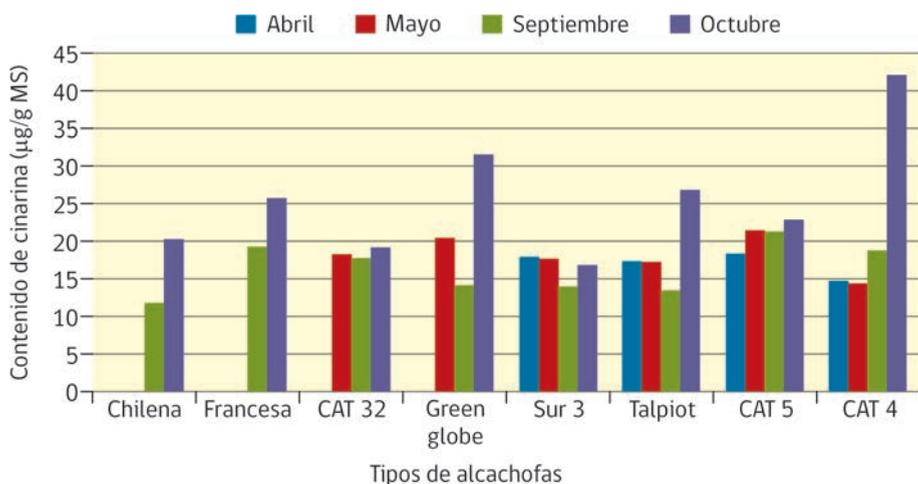


Figura 12.1. Contenido de cinarina en hojas de ocho clones en diferentes meses y estados de desarrollo de la planta de alcachofa (Zamora 2015).

En cuanto al contenido de cinarina en capítulos de alcachofa, evaluados en los meses de septiembre y octubre, se observó una diferencia sustancial entre CAT4 y los otros clones, superando en 30% al clon Green Globe, que fue el siguiente en contenido de cinarina (**Figura 12.2**).

Por lo tanto, basándose en esta información obtenida de los análisis morfológicos, de características industriales y contenido de cinarina, se seleccionó el clon CAT4 para ser sometido a limpieza de virus.

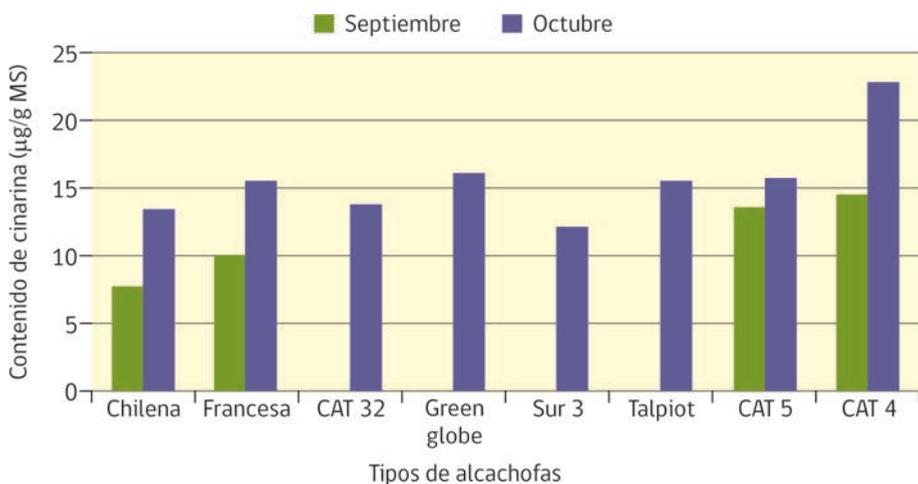


Figura 12.2. Contenido de cinarina en capítulos de ocho clones de alcachofa evaluados en dos meses diferentes (Zamora, 2015).

b) Tratamiento de limpieza de virus:

El tratamiento se realizó en el Laboratorio de Virología del CRI La Platina (Herrera y otros, 2012). Los experimentos se llevaron a cabo con alcachofas cultivar 'Argentina' clon CAT4 mantenidos por el programa de Mejoramiento Genético en el Centro Regional de Investigación La Platina durante la temporada 2010-2011. Trozos de hijuelos cuidadosamente limpios y desinfectados provenientes de plantas naturalmente infectadas con el virus ArLV se introdujeron en cultivos de tejidos para los posteriores tratamientos de cultivo de meristemas y termoterapia.

Meristemas apicales (0,4-1,0 mm), incluyendo el domo y parte de la primera zona del primordio se cortaron, se transfirieron a un frasco con medio MS y se les permitió crecer a 24°C con un fotoperiodo de 16 horas luz.

Explantos vigorosos, de más o menos tres cm de alto se sometieron a ciclos de aumento de temperaturas cada dos días, entre 28°C y 38°C. Los explantes durante el período de aumento de temperaturas se mantuvieron en una cámara a 100%

de humedad relativa y a un fotoperiodo de 12 horas día. Una vez cumplido los tratamientos de termoterapia, se obtuvo los meristemas limpios, los cuales se introdujeron a medios de cultivo y una vez crecidos a más o menos tres cm, se les realizaron las pruebas virológicas correspondientes.

En todas las detecciones de virus de los distintos tratamientos se utilizó la prueba ELISA (DAS) con antisueros y controles positivos y negativos provenientes de *Agdia*. Los explantes identificados como negativos a ArLV por ELISA se corroboraron mediante RT-PCR usando un par de partidores y metodología descrita por Lumia y otros (Lumia *et al.*, 2003).

Todas las plántulas libres de ArLV se repicaron a medios conteniendo concentraciones de medio base, vitaminas, macro y micro elementos suplementados con hormonas y solidificados en Difco Bacto agar (**Figura 12.3a**). Posteriormente, una vez enraizadas las plántulas, se transfirieron a un pote de plástico con una mezcla de arena y suelo y con una tapa de polietileno para mantener la humedad y se dejaron desarrollar bajo condiciones controladas de humedad, luz y temperatura. Cada cinco a siete días, se hicieron orificios en la tapa plástica para la adaptación lenta de las plántulas al medio ambiente. Después de 25-30 días se transfirieron a condiciones de invernadero (**Figura 12.3b**).



Figura 12.3. Imágenes de plántula en enraizamiento previo a trasplante a sustrato suelo y planta trasplantada. A) Plántula en enraizamiento. B) Planta trasplantada.

Los resultados obtenidos fueron similares a otros presentados (Marras et al., 1982; Pecaut et al., 1985), en el sentido de que la termoterapia seguida de cultivos de meristemas, resultan efectivos para la eliminación de ArLV en plantas de alcachofas. No obstante, se hace necesario considerar que el tratamiento de termoterapia a las plantas de alcachofa *in vitro*, causa grandes efectos fisiológicos que llevan a que gran parte de estas plantas se deterioren por efecto de las altas temperaturas. Idealmente, los tratamientos de calor no deberían exceder los 25-30 días.

Gran parte del material obtenido como libre de ArLV está siendo mantenido como material base bajo condiciones de invernadero para prevenir infecciones de virus. A partir de esas mismas plantas, se están propagando otras para evaluar las condiciones agronómicas, los efectos de la multiplicación *in vitro* sobre los factores fisiológicos de la alcachofa y la capacidad de multiplicación por clonación para su uso comercial en el futuro.

c) Plantas madres:

Previo al establecimiento de las plantas en campo se requiere acondicionar la plántula que proviene del laboratorio de cultivo *in vitro*, para lo cual fue necesario introducirlas a una cámara de temperatura controlada a 24°C con un fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas neutro por un período de tiempo de dos semanas. Posteriormente, esta plántula fue trasplantada a macetas con sustrato en una proporción de 50-50% de turba y perlita lo que permitía el desarrollo de una planta que fue denominada "planta madre".

Posterior a la aclimatación y traspaso a contenedor definitivo, las plántulas fueron trasladadas a un invernadero con aislación y condiciones controladas de producción de hijuelos denominada "Vivero de Plantas Madres" (**Figura 12.4**). Esta sala debe cumplir con medidas sanitarias estrictas de manera de mantener la sanidad de las plantas, evitando la entrada de vectores que transmiten virus como son los pulgones y trips, como también mantener el vigor evitando el desarrollo de enfermedades. Cada planta madre fue sometida a un manejo productivo que favoreció la producción de hijuelos mediante un control del crecimiento vegetativo (foliar) y una permanente nutrición por medio de soluciones nutritivas con macro y micro elementos.



Figura 12.4. Invernadero de aislamiento con condiciones controladas para mantención de plantas madres de alcachofa libre de virus y multiplicación clonal. A) Exterior de invernadero de aislamiento. B) Interior de invernadero de aislamiento.

Una vez que los hijuelos que producía la planta madre se encuentran en un desarrollo de 3 a 4 hojas (15 a 20 cm de altura) verdaderas se separan de la planta madre bajo un estricto protocolo sanitario (**Figura 12.5**). Se desinfecta el cuchillo, después se despeja el área donde se encuentra el hijuelo, se corta



Figura 12.5. Manipulación de hijuelos extraídos y proceso de endurecimiento de plantas. A) Planta madre e hijuelo. B) Hijuelo trasplantado. C) Jaula antiáfidos de acondicionamiento de plantas. D) Interior de jaula de acondicionamiento de plantas.

con mucho cuidado tratando de sacar todo el hijuelo con algo de raíz. Se pasa por el desinfectante (hipoclorito al 5%) y enraizante, luego se trasplanta en el sustrato, regando inmediatamente. Se etiqueta con la información de la planta. El hijuelo se decapita dejando el brote central. Estas plantas son trasplantadas a maceteros, luego se mantienen por un periodo de tiempo, mientras forman raíces nuevas en el invernadero. Posteriormente, son llevados a un sombreadero donde se aclimatan.

El sombreadero de campo es una etapa intermedia para la planta de alcachofa libre de virus antes de ser trasplantadas al terreno definitivo. El sombreadero está construido con postes de maderas y cubierta con malla antiáfidos. Una vez que las plantas tienen suficiente vigor y muestran condiciones como para ser trasladadas al sombreadero, condición que está determinada por su estado de desarrollo, estas plantas son aclimatadas antes de ser trasplantadas en campo de manera de provocar un "endurecimiento de la planta" y evitar pérdidas de establecimiento.