

Libros de **Cátedra**

Producción hortícola periurbana

Aspectos técnicos y laborales

Susana Beatriz Martínez, Alejandra Victoria Carbone
y Mariana Garbi (coordinadoras)

n
naturales

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES


EduLP
EDITORIAL DE LA UNLP



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

PRODUCCIÓN HORTÍCOLA PERIURBANA

ASPECTOS TÉCNICOS Y LABORALES

Susana Beatriz Martínez
Alejandra Victoria Carbone
Mariana Garbi
(coordinadoras)

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA


EDITORIAL DE LA UNLP

A los docentes y alumnos de las Ciencias Agrarias y Forestales y carreras afines.

Agradecimientos

A todos los docentes e investigadores que participaron e hicieron posible que este libro pudiera concluirse según lo previsto. Los contenidos vertidos son un aporte a la actualización técnica, basados en la experiencia de cada uno, y poniendo de manifiesto una vez más, el valor del esfuerzo por la labor realizada por todos quienes participaron de esta obra.

Finalmente, un agradecimiento especial a quien fuera nuestro colaborador de campo, en memoria del Sr. Pio Vilca.

Índice

Introducción _____	7
<i>Susana Beatriz Martínez</i>	
Capítulo 1	
Caracterización climática regional _____	10
<i>María Pincioli, Hugo Martín Pardi y María Eugenia Sánchez de la Torre</i>	
Capítulo 2	
Muestreo y análisis de suelo _____	26
<i>Andrea Edith Pellegrini</i>	
Capítulo 3	
Suelo, agua y manejo en producciones intensivas del Gran La Plata _____	43
<i>Margarita Alconada Magliano</i>	
Capítulo 4	
Fenología y bioclimatología de los principales cultivos hortícolas _____	64
<i>Mariana Garbi</i>	
Capítulo 5	
Ecofisiología de cultivos protegidos y a campo _____	92
<i>Alejandra Victoria Carbone</i>	
Capítulo 6	
Herramientas para el estudio de la respuesta fisiológica en hortalizas _____	111
<i>Santiago Javier Maiale y Lucrecia Puig</i>	
Capítulo 7	
Manejo de cultivos en el contexto de producción actual _____	126
<i>Susana Beatriz Martínez y Mariana Garbi</i>	

Capítulo 8

Manejo de cultivos en el contexto de producción orgánica _____ 139

Mariana del Pino

Capítulo 9

Manejo de las plagas en la producción hortícola _____ 160

Silvia Alicia Passalacqua y Susana Beatriz Padín

Capítulo 10

Prepararse para nuevos desafíos laborales _____ 175

Rossana Cacicivio

Los autores _____ 181

Introducción

Este libro plantea un marco general de la actividad hortícola local, señalando las diferentes problemáticas relacionadas al uso intensivo de los recursos, característica propia de la producción de hortalizas en zonas periurbanas. Para un desarrollo amplio se contemplan 10 capítulos, con el objetivo general de proveer herramientas para el abordaje sistémico y multidisciplinar de las problemáticas actuales de la producción hortícola.

La producción hortícola tiene la mayor representación del país en el partido de La Plata. La zona integra el Cinturón Hortícola del Gran Buenos Aires, que se extiende desde Campana hasta La Plata, comprendiendo además los partidos de Florencio Varela, Berazategui, Almirante Brown, Esteban Echeverría, La Matanza, Merlo, Moreno, Cañuelas, General Rodríguez, Luján, Marcos Paz, Pilar y Escobar; con 15.000 ha destinadas a la producción de hortalizas (Fernández Lozano, 2018). La producción de esta región se caracteriza por la gran diversificación de cultivos y variedades, cuyo destino principal es la comercialización en fresco hacia el mercado interno, lo que hace que la actividad sea mucho menos conocida que la de los productos agro-exportables.

El Cinturón Hortícola Platense abarca unas 7.000 ha, representando la mayor superficie de la provincia destinada a la producción hortícola. Asimismo, concentra una de las mayores áreas de superficie cubierta por invernaderos, la que se estimó en 2016 en 5.462 ha, considerando también los partidos de Florencio Varela y Berazategui (Miranda, 2018). Los principales productos que se obtienen en la zona son: alcaucil (*Cynara scolymus*), tomate (*Solanum lycopersicum*), pimiento (*Capsicum annuum* L.), apio (*Apium graveolens*), lechuga (*Lactuca sativa* L.) y otras verduras de hoja (CHFBA, 2005).

La actividad hortícola, como el resto de los sectores productivos, no escapa a las transformaciones que se vienen manifestando en la economía argentina. Estos cambios significativos en las distintas explotaciones modificaron la tradicional estructura productiva, influyendo en la comercialización. La aparición en escena de grandes cadenas de supermercados modificaron las tradicionales condiciones de la demanda en general; mientras que por parte de los consumidores se evidenciaron nuevas pautas y preferencias respecto a los productos hortícolas. De esta manera, los productores se han visto inducidos a reconvertirse con el objetivo de satisfacer las nuevas condiciones impuestas, adoptando nuevas tecnologías frente a la necesidad de mejorar la calidad de sus productos y probar nuevas especies. Esta reconversión abarcó cambios técnicos, comerciales y gerenciales.

En el aspecto técnico, la incorporación de la producción bajo cubierta hacia la década del 80, provocó un retroceso del cultivo tradicional a campo, modificando las decisiones de los productores respecto a qué producir. Esta tecnología fue acompañada con la utilización de semillas mejoradas, como los híbridos F1, riego localizado y fertirrigación, control del ambiente, tratamiento poscosecha, entre otras. Estos cambios introdujeron la necesidad de contar con profesionales para el asesoramiento técnico. Sin embargo, a lo largo de los años, la incorporación de tecnología ha presentado discontinuidades, debido a motivos económicos, como los costos de comercialización, el precio de mercado, el sistema de venta (a veces poco transparente); además de la ausencia de créditos, la incertidumbre político-económica y la situación económico-financiera del país.

Ante la crisis de 2001, el sector comenzó a nutrirse de producciones de autoconsumo y huertas comunitarias, surgiendo un nuevo concepto de la huerta familiar, con el comienzo de un proceso productivo denominado como la “bolivianización” de la producción. Productores que se iniciaron en los 90 como medieros fueron evolucionando hasta convertirse en los actuales actores de la producción hortícola regional (Grimson, 2000; Barsky, 2008).

Por otra parte, la horticultura platense se desarrolla en zonas que constituyen espacios que se conoce como periurbanos, donde se generan intensos conflictos de interés entre las actividades productivas primarias y la urbanización, siendo necesario abordar la dinámica socioeconómica y ambiental que estructura a los mismos (Barsky, 2012). La preservación del Cinturón Hortícola Platense, acompañada por la adopción de Buenas Prácticas Agrícolas, y tendiendo a una transición agroecológica, es un punto fundamental dada su función en la provisión de verduras de hoja y hortalizas de estación a la población de la ciudad y a un mercado de más de 14.000.000 de personas, debiendo asegurarse la calidad e inocuidad de los alimentos producidos (Di Pace y Caride Bartrons, 2004; Boy, 2006). También es importante destacar que la comercialización y el retorno de capital son problemas serios que afectan al sector, requiriendo trabajar en la planificación de la producción y en la generación de centros de transformación de la materia prima para el agregado de valor.

En este marco, la presencia del Estado a través de sus diferentes estamentos (municipio, gobierno provincial, universidades, institutos de investigación) es fundamental para articular con los propios productores los cambios que exige la producción. En los últimos años se vienen haciendo acercamientos para trabajar en conjunto y arribar a soluciones que reconviertan y desarrollen al partido de La Plata, aunque aún sin resultados contundentes que conlleven al cambio ideal. Es esperable que con tecnología y estrategias comerciales que apunten a la obtención de un producto regional para el mercado interno se pueda alcanzar el despegue económico buscado.

Este libro pretende hacer una contribución en ese sentido, brindando fundamentos para una mejor comprensión de la producción de hortalizas desde el punto de vista ambiental y ecofisiológico, presentando estrategias evaluadas en condiciones locales para la obtención de productos en forma competitiva y sustentable. Todos estos aspectos, finalmente, apuntan a la forma-

ción de profesionales comprometidos con la realidad para afrontar los nuevos desafíos laborales en este y otros territorios.

Susana Beatriz Martínez

Referencias

- Barsky, A. (agosto 2008). La bolivianización de la horticultura y los instrumentos de intervención territorial en el periurbano de Buenos Aires. Análisis de la experiencia de implementación de un programa de “buenas prácticas agropecuarias” en el partido de Pilar. *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 270(81), <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-270/sn-270-81.htm>>
- Barsky, A. (2012). La complejidad territorial de la interfase urbano-rural como soporte para el desarrollo de la agricultura periurbana. En: M. Mitidieri y G. Corbino (Eds.), *Manual de horticultura periurbana* (pp. 23-28). San Pedro: Ediciones INTA.
- Boy, A. (2006). La producción orgánica, agroecológica, natural o de bajos insumos, en el futuro de la sociedad argentina. *Revista Súper Campo* 11,(132), 54-57.
- CHFBA. (2005). Censo Hortiflorícola de Buenos Aires. Ministerio de Asuntos Agrarios y Ministerio de Economía de la Provincia de Buenos Aires.
- Di Pace, M. y Caride Bartrons, H. (2004). *Ecología de la ciudad*. Buenos Aires: Prometeo Libros.
- Fernández Lozano, J. (2018). Regiones Productoras. En: A. Chiesa y D. Frezza (Eds.), *Hortalizas. Ecofisiología, tecnología de producción y poscosecha* (pp. 23-38). Buenos Aires: Hemisferio Sur.
- Grimson, A. (2000). La migración boliviana en la Argentina. De la ciudadanía ausente a una mirada regional. *Cuaderno de Futuro N° 7*. La Paz: PNUD.
- Miranda, M. A. (2018). Superficie de cultivo bajo cubierta en el Gran La Plata: análisis espacial con sistemas de información geográfica-SIG. En: P. Tittonell y B. Giobellina (Comp.), *PERIURBANO hacia el consenso: ciudad, ambiente y producción de alimentos: propuestas para ordenar el territorio. Resúmenes cortos: libro 2* (p. 75). Buenos Aires: Ediciones INTA.

CAPÍTULO 1

Caracterización climática regional

*María Pincirolí, Hugo Martín Pardi
y María Eugenia Sánchez de la Torre*

En este capítulo se presenta la caracterización climática de la ciudad de La Plata. Para su realización se emplearon datos correspondientes al período 1989-2018, que cubren los últimos 30 años disponibles, proveyendo una serie de duración adecuada para el objetivo del análisis. Los datos fueron provistos por el archivo de la sección Agrometeorología dependiente de la Estación Experimental Ing. Agr. Julio Hirschhorn y Climatología y Fenología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Para el registro se utilizó una estación automática ubicada a 34,982650° Sur, 57,996811° Oeste y 45 m.s.n.m., marca Davis Instruments modelo Groweather industrial durante el período 01/1989 - 09/2017; y a partir de octubre de 2017 y durante el año 2018 se registraron con el modelo Davis Vantage Pro2. Los registros de granizadas fueron proporcionados por el Departamento de Sismología e Información Meteorológica de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP. La temperatura del aire y radiación solar se registraron a la altura de 1,5 m por encima del suelo, y la temperatura del suelo a 0,05 m de profundidad. La velocidad y rumbo del viento se registraron a la altura de 3,6 m por encima del suelo. En el cálculo del riesgo de vientos fuertes se utilizaron los datos de velocidad máxima sostenida a 3,6 m de altura promediada durante 10 minutos, según el criterio de observación establecido por la Organización Meteorológica Mundial. Este concepto se diferencia del de ráfaga máxima, que es de carácter instantáneo, por lo cual puede alcanzar magnitudes mayores. El registro de heladas se estableció teniendo en cuenta el concepto agroclimático, que define como helada a todo descenso térmico igual o inferior a 0 °C medido en el abrigo meteorológico a 1,5 m de altura sobre el terreno.

Ubicación geográfica y descripción de la región

El área del Gran La Plata se encuentra en el centro este de Argentina en el noreste de la provincia de Buenos Aires. Está integrada por los partidos de Berisso, Ensenada y La Plata, limitando al NE con el Río de la Plata, al NO con los partidos de Berazategui y Florencio Varela, al SO y S con San Vicente y Coronel Brandsen y al SE con el partido de Magdalena. El área se encuentra en la margen sur del estuario del Río de la Plata, cuerpo de agua con forma de embudo que tiene 300 km de largo en dirección NO-SE y un ancho de 200 km en su límite exterior y 40 km en su límite inte-

rior. Incluye al delta del río Paraná, el cual se halla en permanente crecimiento (Fucks *et al.*, 2017). La ciudad de La Plata se encuentra ubicada en el hemisferio sur, a los $-34,9214516^\circ$ S y $-57,9545288^\circ$ O. En la región se pueden reconocer dos ámbitos geomorfológicos: la planicie continental, y la llanura costera (Fidalgo y Martínez, 1983) (Imagen 1A). La primera se caracteriza por el desarrollo de cuencas fluviales con cauces bien definidos que escurren hacia el Río de la Plata. Determinan, en general, un paisaje conformado por suaves ondulaciones que, al llegar a la llanura costera pierden el encauzamiento, formando bañados. La gran mayoría de estas planicies de inundación han sido ocupadas por la población, conformando la planta urbana del partido de La Plata. La llanura costera constituye una franja de unos 4 a 8 km de ancho, paralela al estuario del Río de la Plata, con una pendiente imperceptible (entre 0,06 a 0,1%) y formas cóncavas. Este sector es atravesado por el arroyo El Pescado y numerosos canales artificiales, construidos para drenar los caudales de los demás cursos de agua (Kruse *et al.*, 2014). En la Imagen 1B se puede observar, en detalle, el análisis temporal de la vegetación y/o uso del suelo realizado por medio de un geoprocesamiento digital logrando ocho clases de uso de suelo: Agua, Formaciones forestales, Pajonales, Pastizales, Invernáculos, Urbano, Usos especiales, Áreas extractivas (Kruse *et al.*, 2014).

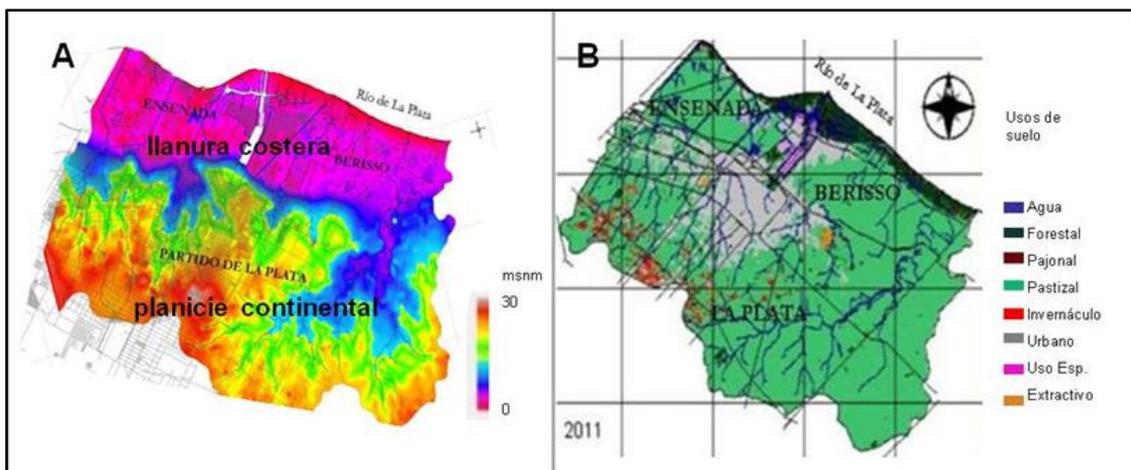


Imagen 1. Modelo de elevación del terreno del área de estudio (A). Usos del suelo en 2011 (Kruse *et al.*, 2014)

Radiación solar y heliofanía astronómicas

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas; siendo el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La energía procedente del Sol es proporcionada por las reacciones del hidrógeno en su núcleo, por fusión nuclear y emitida por la superficie solar en varias frecuencias o longitudes de onda. Esta radiación controla el funcionamiento de los ecosistemas terrestres y acuáticos afectando los procesos físicos y químicos de los seres vivos. Los efectos de la radiación sobre las plantas son determinantes para su desarrollo y de toda la vida que hay sobre la tierra, estimulando procesos biológicos como fotosíntesis, fototropismo, aumento o descenso de temperatura, variación de la humedad y ejecución de los ciclos naturales. La radiación recibida so-

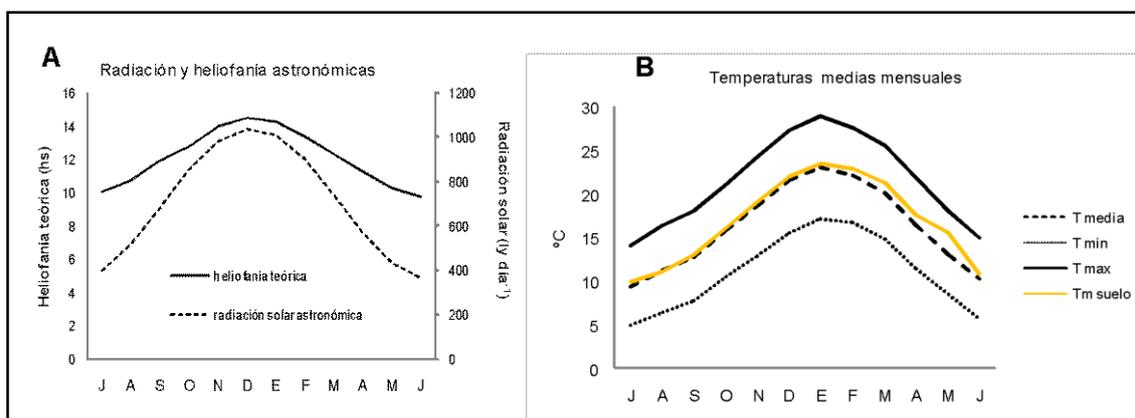
bre la superficie terrestre está en función de los movimientos de rotación y traslación de la tierra. En la localidad de La Plata, los valores de radiación oscilan entre un mínimo de 366 Ly.día⁻¹ en el mes de junio y un máximo de 1038 Ly.día⁻¹ en diciembre. Asimismo, el movimiento de rotación de la tierra con respecto al sol determina la consecución del día y la noche. En el Gráfico 1A se puede observar la distribución de la heliofanía teórica astronómica, el máximo período de tiempo (expresado en horas) durante el cual se podría recibir radiación solar directa, independientemente de las obstrucciones causadas por fenómenos meteorológicos o relieves topográficos. Los valores de heliofanía teórica astronómica en La Plata varían entre un mínimo de 9,8 horas en junio y un máximo de 14,4 horas en diciembre. Cabe aclarar que para el período considerado (1989-2018), en la localidad de La Plata, no hay registros de heliofanía efectiva.

Temperatura del aire y del suelo

El calentamiento del aire ocurre cada día al salir el sol e incidir sobre la superficie del planeta; así el suelo calienta al aire. La temperatura del aire es un elemento bioclimático determinante de la masa vegetativa: el crecimiento de una planta se detiene cuando la temperatura del aire desciende por debajo de un cierto valor mínimo o excede un cierto valor máximo (temperatura umbral). Entre estos límites existe un rango óptimo, en el cual la tasa de crecimiento es mayor. En la localidad de La Plata los valores promedio mensuales de temperatura mínima, media y máxima son 11,1 °C; 16,3 °C y 21,6 °C respectivamente (Gráfico 1B). Los valores absolutos mínimos y máximos diarios registrados en la serie de 30 años fueron de -4,2 °C y 39,9 °C (los días 30/07/2012 y 18/12/1995, respectivamente).

La temperatura de suelo media mensual es de 9,9 °C en julio y 23,6 °C en enero (Gráfico 1B). Los valores extremos mínimos y máximos diarios registrados en la serie de 30 años fueron de 2,5 °C y 31,8 °C (los días 24/06/2018 y 05/01/2009, respectivamente).

Gráfico 1: A. Radiación solar y heliofanía astronómicas; B. Temperaturas medias, mínimas, máximas mensuales del aire y medias del suelo. La Plata, Buenos Aires, Argentina (1989-2018)



Régimen agroclimático de heladas

La helada es uno de los riesgos más importantes que enfrenta la producción agrícola en una región. Constituye una adversidad capaz de afectar la supervivencia, el rendimiento o la calidad de los cultivos, llegando a producir pérdidas significativas en los sistemas productivos de una región. El daño dependerá de factores climáticos, meteorológicos, biológicos, topográficos, locales y regionales. Desde el punto de vista agrometeorológico, la helada se define como el descenso de la temperatura del aire a niveles que puede producir daño en los tejidos u órganos de los cultivos y/o en la vegetación. Para poder comparar distintas localidades y darle un marco independiente como fenómeno, se aplica el criterio meteorológico de la adversidad que define a la helada como todo descenso de la temperatura del aire a 0 °C o a un valor inferior, registrado en el termómetro de mínima colocado dentro del abrigo meteorológico a 1,50 metros de altura sobre el suelo.

Época de ocurrencia de heladas

Las heladas tempranas, primera helada o heladas otoñales se presentan como fecha media el 8 de junio y se observa como fecha más anticipada o extrema el 25 de abril. La fecha que más veces se repitió (moda) fue el 7 de junio, presentándose 4 veces. La serie en conjunto presenta una leve tendencia a retrasar su fecha de ocurrencia (dato no presentado) por lo cual el inicio del período de heladas se ve desplazado hacia el invierno. Como el valor del coeficiente de variación es considerado bajo o normal (CV = 11%), los valores no tiene una gran variación en su fecha y presentan un desvío típico de $\pm 16,7$ días.

Las heladas tardías, última helada o heladas primaverales se presentan a la salida del invierno hacia la primavera. Su fecha media de ocurrencia es el 21 de agosto, su fecha más tardía registrada es el 7 de octubre. El 8 de agosto es la fecha más repetida (moda), 3 veces en la serie de 30 años. Como característica en el conjunto de datos se observa un suave desplazamiento de la fecha de ocurrencia de última helada hacia el invierno, presentándose antes el final del período con heladas. Al igual que en las heladas tempranas el coeficiente de variación es considerado bajo o normal y el desvío típico de $\pm 24,8$ días.

En la serie de datos no se observaron heladas en el período estival de cada año, es decir entre el 21 de diciembre y el 21 de marzo.

Intensidad de las heladas

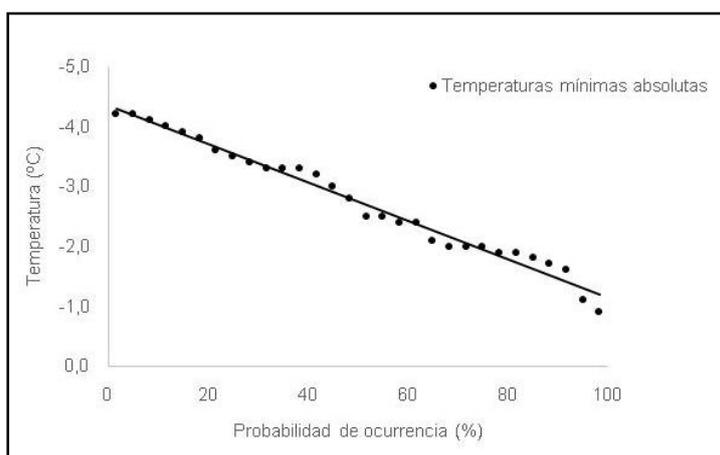
La intensidad establece las marcas más bajas que pueden presentarse durante el periodo con heladas. Así la temperatura mínima anual media es de -2,7 °C, el valor mínimo absoluto de la serie de datos es de -4,2 °C, el máximo es de -0,9 °C y tiene un desvío típico de ± 1 °C. La

temperatura mínima absoluta es de $-3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se repitió en 3 años de los 30. El coeficiente de variación puede considerarse alto ($CV = 35\%$), lo que indica que las heladas invernales presentan una gran variación en su intensidad de un año a otro.

Probabilidad de ocurrencia de temperaturas extremas

Este método permite conocer la probabilidad de que se presenten, en una localidad, ciertos valores de temperaturas extremas. De esta manera, conociendo el umbral térmico letal mínimo de una determinada especie, puede evaluarse su viabilidad en función de cuán probable sea la ocurrencia de esa temperatura. En La Plata, hay un 50% de probabilidad de que se registren temperaturas mínimas absolutas no inferiores a $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en época invernal, encontrándose los valores más probables (90%) entre $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Gráfico 2).

Gráfico 2: Probabilidad de ocurrencia de temperaturas extremas en La Plata, Buenos Aires, Argentina (1989-2018)



Índice crikindinoscópico de peligrosidad de heladas (ICK)

El ICK de primeras heladas (otoñales) para la localidad de La Plata es de $12,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, representando la temperatura media normal del aire de la fecha en la que existe un 20% de probabilidad de que ocurra una helada antes de dicha fecha. En esta época, junto al descenso progresivo de la temperatura, los cultivos estivales van finalizando su ciclo, madurando los frutos y semillas y preparando las ramas y yemas para el próximo período de crecimiento. De acuerdo al valor de ICK obtenido, se puede decir que las primeras heladas se presentan con un nivel térmico próximo a la temperatura mínima de muchos cultivos, presentando un moderado a bajo riesgo de pérdidas por heladas tempranas.

EL valor para el ICK de última helada es de $12,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esto indica la temperatura media normal del aire de la fecha después de la cual la probabilidad de ocurrencia de la última helada es

del 20%. En esta época la temperatura va ascendiendo a medida que pasan los días, coincidiendo con la brotación y floración de plantas perennes (frutales, forestales) y el nacimiento, floración y maduración de granos de plantas anuales; período en el que la sensibilidad al daño por bajas temperaturas va aumentando. El nivel térmico del ICK para esta localidad presenta un moderado a bajo riesgo por heladas tardías, al estar cercano al valor de la temperatura mínima de crecimiento de muchas especies de verano. Además, la actividad metabólica es aún baja y eso hace que ocurra en un momento de poca sensibilidad al daño.

El ICK de heladas invernales para plantas anuales presenta un valor de $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Es la temperatura mínima absoluta que se puede presentar en el invierno de la localidad de La Plata con un 20% de probabilidad. Es importante para producciones anuales de invierno cuyo umbral letal mínimo de temperatura esté por debajo de su valor y en este caso no serían económicamente viables. El ICK para plantas perennes es de $-4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$; siendo la temperatura mínima absoluta que se puede presentar en el invierno de la localidad de La Plata con un 5% de probabilidad. Este valor resulta de interés como indicador en producciones perennes cuyo umbral letal mínimo de temperatura esté por debajo de su valor.

Duración del período con heladas

Es el tiempo que transcurre entre la primera y última helada. Para La Plata, su valor medio es de 73 días, con un mínimo de 8 y un máximo de 155 días. El coeficiente de variación del 44% explica la marcada disparidad en la duración de este periodo de un año a otro. Los registros analizados presentan una tendencia al acortamiento del período con heladas, con un desplazamiento hacia el invierno, siendo más acentuado en las fechas de últimas heladas. El período libre de heladas que, para definir una zona agrícola debe ser superior a 150 días, en la localidad de La Plata es de 292 días.

Frecuencia de heladas

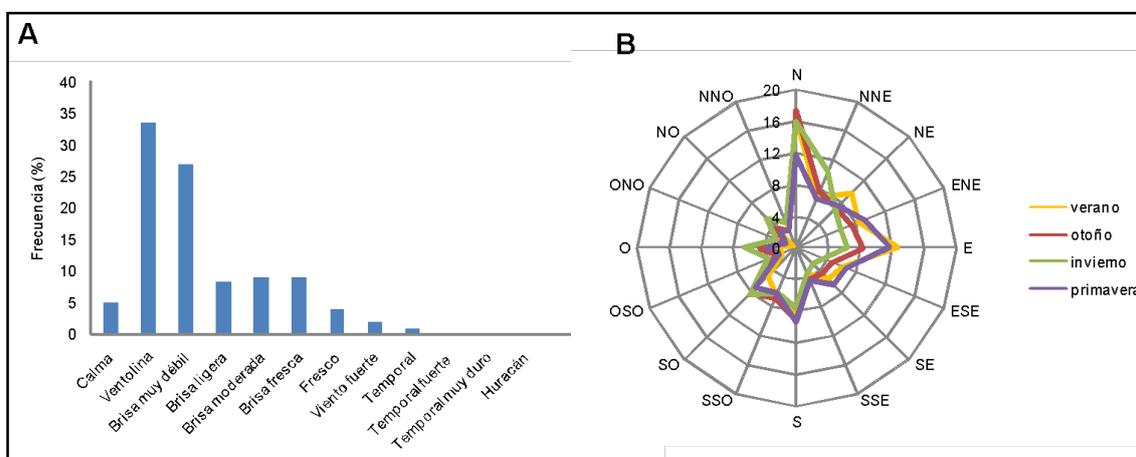
El valor medio de la frecuencia o cantidad de heladas durante el período con heladas es de 9,8 por año, con un desvío típico de $\pm 4,7$ heladas. El coeficiente de variabilidad es de 49%, por lo que se observa una gran variación interanual, con un mínimo de 2 y un máximo de 21 heladas por año.

Viento

El viento influye sobre el crecimiento y el desarrollo de la planta. Sus efectos varían según la duración y velocidad, especie, cultivar y características de las hojas, o por las inter-

acciones entre la planta y la atmósfera, entre otros factores. Los vientos calmos o tipo ventolina, con velocidades menores a $2,5 \text{ km.h}^{-1}$, aumentan el crecimiento en aproximadamente un 10%, por su efecto en la remoción de la capa límite; mientras que a 14 km.h^{-1} reduce apreciablemente la tasa de crecimiento relativa de algunas especies como la colza (*Brassica napus* L.). Los vientos moderados producen excesivas tasas de transpiración con reducción del crecimiento, además de numerosos y variados perjuicios. Velocidades de viento altas ($> a 54 \text{ km.h}^{-1}$) pueden producir vuelco, especialmente en las gramíneas. El vuelco refleja el excesivo doblado a nivel del suelo o quebrado de los entrenudos basales del tallo y usualmente las plantas son más vulnerables en etapas tardías del desarrollo, cuando están espigadas o los tallos comienzan a senescer (Kin y Ledent, 2003). En la localidad en estudio, los vientos predominantes son de tipo ventolina, con una frecuencia de 33,7% y brisa muy débil con una frecuencia de 27%, sobre el total de los casos (Gráfico 3A). Según la escala de Beaufort, estas categorías corresponden a velocidades de entre 2 y 5 km.h^{-1} y 6 y 11 km.h^{-1} , respectivamente. Se puede observar predominancia del rumbo norte en todas las estaciones del año, mientras que durante la primavera y el verano son frecuentes las direcciones este-noreste, este, y este-sudeste (Gráfico 3B).

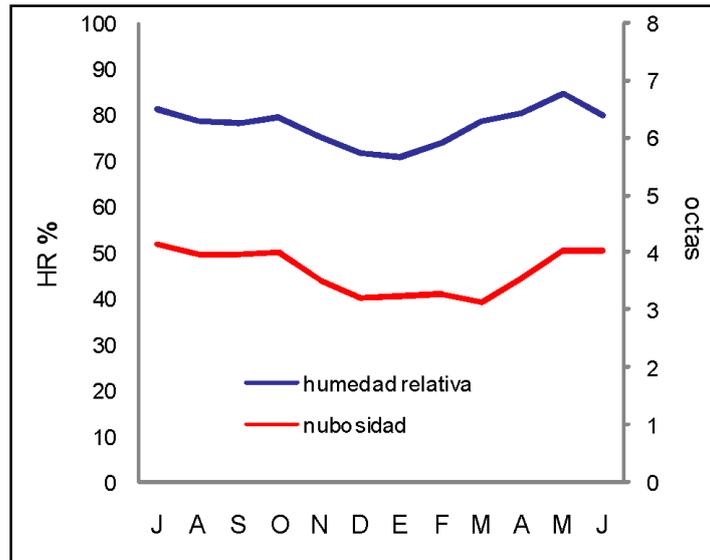
Gráfico 3: A. Frecuencia relativa de los vientos según la escala de Beaufort de 0 (calma) a más de 118 km.h^{-1} (huracán) tomados a 3,6 m de altura. B. Rumbo estacional de los vientos en La Plata, Buenos Aires, Argentina (1989-2018)



Humedad relativa y nubosidad

La humedad relativa es elevada durante todo el año con un promedio de 77,8%. Las condiciones del cielo se estiman en términos de cuántos octavos de la bóveda celeste están cubiertos por nubes, de 0/8 octas (cielo despejado) a 8/8 octas (cielo completamente nublado). El promedio anual para la localidad es de 3,7 (4/8 octas) que corresponde a cielo algo nublado (Servicio Meteorológico Nacional, 2020) (Gráfico 4).

Gráfico 4: Humedad relativa mensual (%) y nubosidad (octas) en La Plata, Buenos Aires, Argentina (1989-2018)



Precipitación

En el ciclo hidrológico del agua las precipitaciones son la vía de descarga atmosférica del agua almacenada en la atmósfera en forma de vapor que llega a la misma a través de distintos mecanismos como la evaporación desde el suelo, cursos de agua, lagos, mares y océanos, la transpiración y respiración de las plantas y animales entre otros. Este elemento es un fenómeno discontinuo caracterizado por una gran variabilidad. Esto hace que, a veces, sea necesario recurrir a tratamientos estadísticos especiales para obtener parámetros que permitan caracterizar con exactitud el régimen de precipitaciones del lugar.

Distribución anual de la precipitación

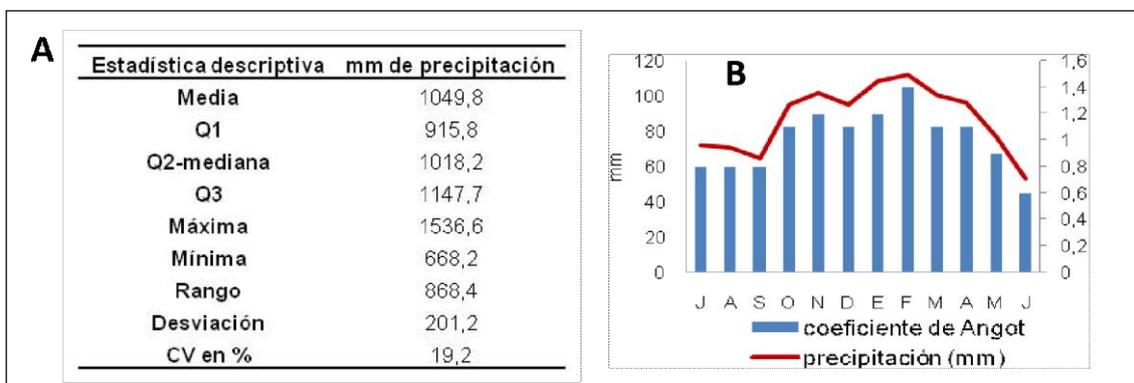
La Plata presenta una precipitación media anual de de 1049,8 mm con valores mínimos de 668,2 mm y un máximo de 1536,6 mm, observándose una marcada variación interanual con un desvío típico de $\pm 201,2$ mm y un coeficiente de variación del 19,2%. El rango que representa el intervalo entre el valor máximo y el valor mínimo, es de 868,4 mm y permite obtener una idea de la dispersión de los datos. El mes más lluvioso es febrero con un valor medio de 112,1 mm, un desvío de ± 72 y un coeficiente de variación de 64%, y el mes más seco es junio con un valor promedio de 53,3 mm de precipitación, un desvío de ± 43 y un coeficiente de variación de 80%. Los cuartiles representan 3 valores que dividen una serie de datos ordenada de menor a mayor en 4 fracciones de 25%. Aquellos años con valores de precipitación anual menor al primer cuartil ($Q1 = 915,8$ mm) presentan deficiencias hídricas marcadas, sequías estacionales de

distintas intensidades y duración en alguna estación. Los años en donde la precipitación anual se encuentra en el espacio intercuartil entre el Q1 y Q3 pueden considerarse como años normales sin marcadas deficiencias ni excesos de agua, mientras los años cuyos valores anuales superaron el Q3 (1147,7 mm) presentan una gran probabilidad que en algún momento del año se generen excesos hídricos. Analizando la serie anual del periodo en estudio (1989-2018) se observaron dos periodos de 15 años, el primero, desde 1989 a 2003 se presentó como un periodo húmedo donde el 47% de los años superaron el Q3 y solo el 13% se presentó menor al Q1, en cambio en el segundo periodo, desde 2004 a 2018, la cantidad de años menores al Q1 resultaron el 33% mientras que los años con valores superiores al Q3 fue solo del 13%. Este último período fue testigo de grandes sequías que afectaron a los principales cultivos en la República Argentina, mientras que en el primero se produjeron en la región pampeana extensas inundaciones en zonas rurales y urbanas. En el Gráfico 5A se presenta la precipitación anual y cuartiles.

Coeficiente pluviométrico de Angot

El coeficiente pluviométrico de Angot mide la diferencia que hay entre una distribución proporcional teórica anual de la lluvia y la distribución proporcional real que tiene, con el fin de poder comparar la distribución de la lluvia entre distintas localidades, en forma independiente de la cantidad de lluvia acumulada en el año en cada una. En La Plata, los meses de mayo a septiembre se presentan como secos (coeficiente pluviométrico de Angot < 1). Esto significa que la proporción de las lluvias acumuladas en esos meses se encuentran por debajo del coeficiente teórico. Entre octubre a abril, el coeficiente pluviométrico de Angot es superior a 1, indicando meses lluviosos, en los que la proporción de lluvias acumuladas en los mismos es superior al coeficiente teórico (Gráfico 5B).

Gráfico 5. A. Precipitación anual y cuartiles. B. Coeficiente pluviométrico de Angot en La Plata, Buenos Aires, Argentina (1989-2018)

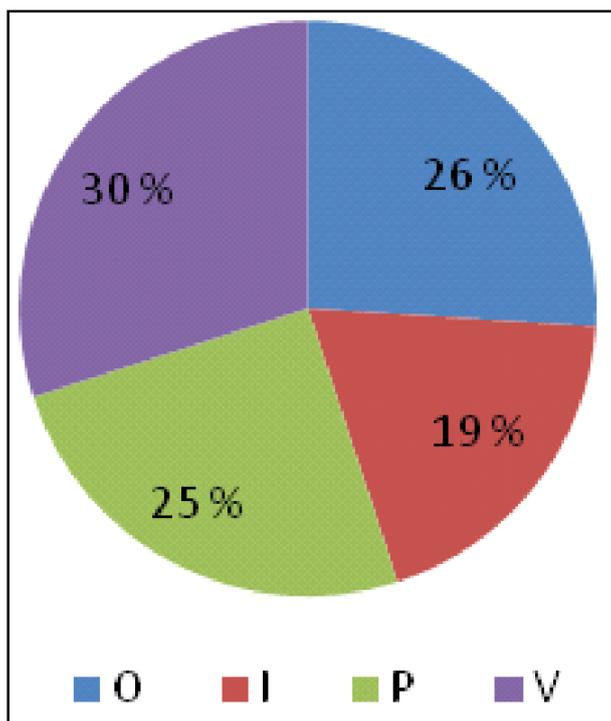


Q: cuartiles, CV: coeficiente de variación.

Distribución estacional de la precipitación

En La Plata, la precipitación se distribuyen homogéneamente durante el año, observándose el verano como la estación más favorecida con el 30% (316 mm) de las lluvias y el invierno recibe la menor proporción 19% (196 mm). Sin embargo, y desde el punto de vista del régimen de precipitación, se corresponde con un régimen pluviométrico isohigro (Gráfico 6).

Gráfico 6: Distribución estacional de la precipitación en La Plata, Buenos Aires, Argentina (1989-2018)



O: otoño, I: invierno, P: primavera, V: verano

Evapotranspiración potencial y balance hidrológico climático mensual

El concepto de evapotranspiración combina las definiciones de evaporación del suelo y transpiración de las plantas. Es importante conocerlos ya que permite el cálculo del balance hídrico del suelo. Existen diferentes métodos para estimar la evapotranspiración potencial (EP). En este caso se utilizó el método de Thornthwaite, basado en las temperaturas medias mensuales. Los valores de evapotranspiración potencial estimados presentan un mínimo en julio de 21 mm y un máximo de 133 mm en el mes de enero (Tabla 1).

El agua es uno de los factores limitantes para el crecimiento y desarrollo de los vegetales. Para evaluar la disponibilidad de agua en el suelo a lo largo del año se han desarrolla-

do modelos que estiman el agua almacenada en la zona de exploración radicular. Para conocer la climatología del agua en el suelo se realizó la estimación del balance hidrológico climático mensual (BHCM), según la metodología de Thornthwaite, a partir del cual se puede clasificar a La Plata como una localidad húmeda, con una evapotranspiración anual inferior a la precipitación anual, un déficit de 4 mm anuales durante diciembre y enero y un exceso de 252 mm entre abril a noviembre (Tabla 2). Agroclimáticamente, La Plata presentan una buena cantidad de agua acumulada durante el año con una buena distribución que acompaña a la estación de crecimiento, la salida del invierno y la salida del verano. El otoño es la estación clave en la recomposición del almacenamiento del agua en el suelo; las principales sequías se presentan cuando en esta estación y en el año la acumulación de agua se ve alterada por las escasas lluvias, debido a situaciones sinópticas del tiempo y regionales que así lo provocan. En La Plata se observa a partir de febrero el inicio del periodo de recarga, alcanzando el suelo su máxima capacidad de retención (300 mm) en abril. Por otra parte, cuando la precipitación no llega a satisfacer plenamente la demanda evapotranspirativa, el agua útil aportada por el suelo permite alcanzar, igualmente, elevados niveles de evapotranspiración real (Gráfico 7).

Tabla 1: EP en La Plata, Buenos Aires, Argentina (1989-2018)

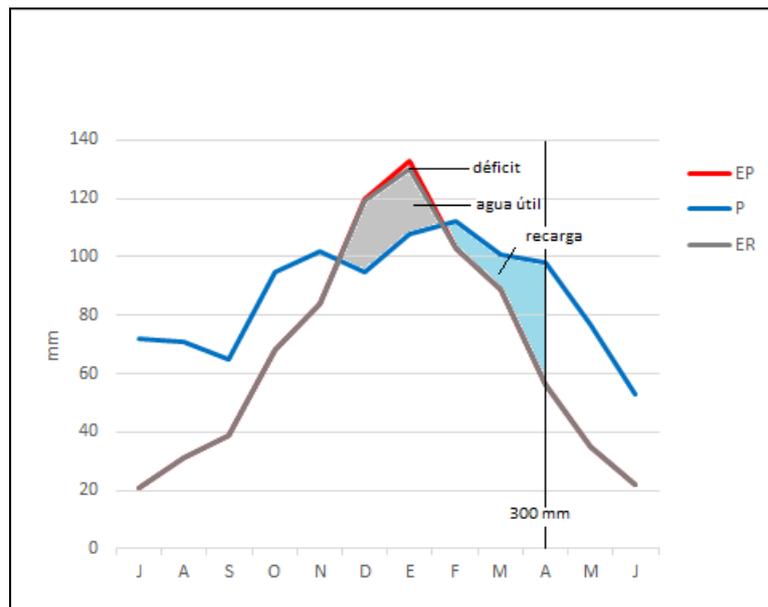
EP	Meses												Anual
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
(mm)	133	103	89	56	35	22	21	31	39	68	84	120	801

Tabla 2: BHCM para La Plata, Buenos Aires, Argentina (1989-2018)

Variables	Meses												Año
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
EP (mm)	133	103	89	56	35	22	21	31	39	68	84	120	801
P (mm)	108	112	101	98	77	53	72	71	65	95	102	95	1049
ER (mm)	130	103	89	56	35	22	21	31	39	68	84	119	797
Exceso (mm)				17	42	31	51	40	26	27	18		252
Déficit (mm)	3											1	4

EP: evapotranspiración potencial, P: precipitación, ER: evapotranspiración real

Gráfico 7: Agua en el suelo en La Plata, Buenos Aires, Argentina (1989-2018)



EP: evapotranspiración potencial, P: precipitación, ER: evapotranspiración real

Clasificación Climática

Clasificación climática de Köppen

Esta clasificación climática creada en 1900 por el científico y meteorólogo ruso Wladimir Peter Köppen y publicada en 1936, junto a Rudolf Geiger, está elaborada en base a un criterio fitogeográfico, utilizando la vegetación nativa para la denominación de los tipos de climas. Para ello combina la temperatura y la precipitación, reconociendo el efecto de la efectividad de la precipitación y la intensidad de la evapotranspiración en la vegetación (UdelaR, 2020).

Según esta clasificación, La Plata corresponde al Grupo Climático C (climas templados lluviosos), dado que la temperatura del mes más frío se ubica entre $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $19\text{ }^{\circ}\text{C}$, y temperatura del mes más cálido es superior a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Según la distribución de las precipitaciones a lo largo del año (criterio utilizado para la subdivisión de los grupos climáticos), La Plata corresponde a la subdivisión f (sin estación seca), dado que conforme lo indica su régimen pluviométrico isohigro, presenta lluvias uniformes durante todo el año. Adicionalmente, siendo la temperatura del mes más cálido superior a $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, la complementación de la información del tipo climático se corresponde con verano caluroso (a).

De esta manera, conforme la clasificación climática de Köppen, La Plata se identifica como una localidad con clima templado lluvioso, sin estación seca y con verano caluroso: C f a.

Clasificación climática de Thornthwaite

En esta clasificación, para la definición de los tipos de clima se toman en cuenta 4 puntos: regiones hídricas, variación estacional de la eficiencia hídrica, regiones térmicas, concentración estival de la eficiencia térmica; índices que se calculan a partir de los valores surgidos de la resolución del balance hidrológico climático mensual (Spescha y Hurtado, 2013).

La primera definición del tipo climático se hace en base a regiones hídricas, tomándose como elemento la eficacia de la precipitación, a través del índice hídrico, que relaciona la diferencia entre exceso y deficiencia anuales de agua en el suelo con la evapotranspiración potencial anual (necesidad de agua). La Plata presenta un índice hídrico de 31,1; lo que la ubica en el tipo climático B1 (húmedo), que engloba a regiones con índices hídricos de 20 a 40. Esta primera clasificación se ajusta a través de la definición de regiones térmicas, a través del índice de eficiencia térmica, expresado indirectamente a través de la evapotranspiración potencial anual. La Plata presenta una evapotranspiración anual de 801 mm, correspondiéndose con el tipo climático mesotermal (B'2). Por tratarse de una localidad húmeda, para su clasificación en base a la variación estacional de la eficiencia hídrica, se calcula el índice de aridez que relaciona la deficiencia de agua anual con la evapotranspiración potencial anual. Para la ciudad de La Plata el índice de aridez tienen un valor de 0,5; representando nula o pequeña deficiencia de agua (r). Por último, se considera la concentración estival de la eficiencia hídrica, a través del porcentaje de evapotranspiración potencial correspondiente a la estación cálida (diciembre, enero y febrero), respecto al total anual. En La Plata, los meses de verano concentran el 44,4% de la evapotranspiración potencial anual, quedando ubicada por debajo del 48%, límite más bajo en la clasificación, representado por el tipo a'.

En resumen, conforme la clasificación climática de Thornthwaite, La Plata corresponde a un tipo climático húmedo, mesotermal, con nula o pequeña deficiencia de agua y 44,4% de verano al año: B1 B'2 r a'.

Índices agroclimáticos

Horas de frío

La estimación de las horas de frío se corresponde con número de horas en que se registran temperaturas inferiores a 7 °C durante todo un año. Este valor fue determinado por investigaciones conducidas para estudiar el crecimiento anual de ramas de durazneros y manzanos, y posteriormente fue mundialmente aceptado como límite medio adecuado para el cómputo de las horas de frío. En la actualidad las estaciones meteorológicas automáticas permiten el registro de las horas de frío efectivas reales. Existen distintas fórmulas para la estimación de horas de frío, habiéndose observado para La Plata que el método de Crossa-Reynaud es el que pre-

senta mejor ajuste, comparándolo con el cómputo de horas de frío efectivas reales (Pardi y Asborn, 2004). En la Tabla 3 se presentan las horas de frío estimadas para La Plata.

Tabla 3: Horas de frío en La Plata, Buenos Aires, Argentina (1989-2018)

	Método de estimación				Horas de frío efectivas reales
	F.S. da Mota	Weinberger	R.H. Sharde	Crossa-Reynaud	
Horas de frío	566	850	887	665	741

Estimaciones F.S. da Mota, Weinberger y R.H. Sharde, con temperatura media mensual 1989-2018. Estimación Crossa-Reynaud y horas de frío efectivas reales, tomadas de Pardi y Asborn (2004)

Suma de temperatura

La temperatura del aire puede considerarse un indicador aceptable de la disponibilidad calórica ambiental, usándose en estudios biometeorológicos o bioclimáticos para expresar el cumplimiento de diversas funciones en los vegetales. Agroclimáticamente, para evaluar la aptitud de un lugar para la producción de un determinado cultivo puede recurrirse, con ciertas limitaciones, al método directo de cálculo de grados-días o acumulación calórica mediante el cómputo de las temperaturas medias mensuales, multiplicado por el número de días de cada mes (Pascale y Damario, 2013). Para la estimación de la suma de temperatura o acumulación calórica en La Plata se consideró el bioperíodo de 15 °C (cantidad de días con temperaturas medias iguales o superiores a 15 °C), dado que este nivel térmico favorece la actividad de cultivos tanto anuales como perennes con elevada exigencia calórica como la soja (*Glycine max*), el sorgo (*Sorghum spp.*), el tomate (*Solanum lycopersicum*), el pimiento (*Capsicum annum L.*) y la berenjena (*Solanum melongena L.*), entre otros.

En La Plata, el bioperíodo de 15 °C comienza el 8 de octubre y finaliza el 30 de abril resultando un total de 204 días. Los grados días acumulados (GDA) durante el mismo suman un total de 4059 GDA; computándose en octubre: 371,5 GDA, noviembre: 561,6 GDA, diciembre: 667,9 GDA, enero: 716,2 GDA, febrero: 619,9 GDA, marzo: 622,4 GDA y abril: 499,6 GDA.

Modificaciones ambientales producidas por los invernaderos

En el Cinturón Hortícola Platense, las estructuras predominantes son de madera blanda en un 99% de los casos (1% de metal), tipo capilla (techo a dos aguas), constituidas por naves de 6 a 6,50 m formando módulos de 3 ó 4 invernáculos con un largo variable de 40 a 90 m y cubiertas con polietileno de 100 a 150 µm de espesor en la mayoría de los casos en un 56% de los casos (Martínez *et al.*, 2019). Las características constructivas determinan serios problemas de ventilación, generando durante el verano condiciones de hipertermia que pueden dificultar el

desarrollo normal de los principales cultivos realizados en la zona. En un estudio realizado sobre seis tipos de estructuras durante seis campañas de cultivo en el mes de enero, se observó un patrón similar en el régimen térmico interno de todas las coberturas analizadas, con valores de temperaturas medias y medias máximas significativamente superiores a las temperaturas externas. Los valores de temperaturas medias máximas se ubicaron entre los 33 y 42,8 °C y las medias entre 25,6 y 30 °C (Garbi *et al.*, 2002).

Otro elemento de importancia en la producción bajo cubierta es la radiación solar que efectivamente atraviesa la cubierta. Mediciones de radiación fotosintéticamente activa realizadas en la zona, en el año 2012, arrojaron valores en el exterior de 1.795 $\mu\text{moles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en febrero, 1.357 $\mu\text{moles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en marzo y 1.164 $\mu\text{moles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en abril, con una transmitancia hacia el interior de un invernadero parabólico con orientación norte-sur que fluctuó entre 36% y 76,8%, correspondiendo los valores más bajos a mediciones realizadas en otoño (Carbone *et al.*, 2012).

Referencias

- Carbone, A., Garbi, M., Morelli, G., Martínez, S., Grimaldi, M. C. y Somoza, J. (2012). Influencia del grado de envejecimiento del polietileno sobre la transmisión de radiación fotosintéticamente activa (PAR) hacia el interior de un invernadero parabólico. *Horticultura Argentina*, 31 (76), 25.
- Fidalgo, F. y Martínez, O.R. (1983). Algunas características geomorfológicas dentro del Partido de La Plata (Buenos Aires). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 38, 263-279.
- Fucks, E., D'Amico, G., Pisano M. F., Nuccetelli, G. (2017). Evolución geomorfológica de la región del gran la plata y su relación con eventos catastróficos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 74(2), 141-154.
- Garbi, M., Grimaldi, M. C., Martínez, S. y Carbone, A. (2002). Influencia de invernaderos sobre la temperatura estival en el cinturón hortícola platense. *Revista Brasileira de Agrometeorología*, 10(1), 27-31.
- Kin, A. G. y Ledent, J. F. (2003). Efectos del viento sobre las plantas. En: A. D. Golberg, y A.G. Kin (Eds.), *Viento, suelo y plantas* (pp. 45-72). Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Kruse E., Sarandón R. y Gaspari F. (Comp.). (2014). *Impacto del cambio climático en el gran La Plata*. La Plata: Edulp.
- Martínez, S., Garbi, M. y Andreau, R. (2019). Situación actual de la producción en invernaderos en el cinturón hortícola de La Plata, provincia de Buenos Aires. En: M. Lenscak y N. Iglesias (Comp.), *Invernaderos. Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino (del paralelo 23 al 54)* (pp. 123-131). Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Pascale, J. A. y Damario, E. A. (2013). Fundamentos de Bio y Agroclimatología. En G. M. Murphy y R. H. Hurtado (Eds.), *Agrometeorología* (pp. 181-194). Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía.

- Pardi, H. M. y Asborn, M. D. (2004). Métodos de estimación de horas de frío efectivas. Su relación con las horas de frío reales y las temperaturas mínimas medias. En: *X Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología*. Mar del Plata: AADA. Recuperado de: <http://agro.unc.edu.ar/~clima/AADA/Congresos/MDQ/215.htm>.
- Servicio Meteorológico Nacional. (2 de junio de 2020). Recuperado de: <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1086>.
- Spescha, L. B. y Hurtado, R. H. (2013). El ciclo del agua. En: En G. M. Murphy y R. H. Hurtado (Eds.), *Agrometeorología* (pp. 105-129). Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía.
- UdelaR. (3 de junio de 2020). Clasificación climática de Köppen, *UdelaR, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias de la Atmósfera*. Recuperado de: <http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/practico%20climatologia%202012/Practico%207/Clasificacion%20Koppen.pdf>.

CAPÍTULO 2

Muestreo y análisis de suelo

Andrea Edith Pellegrini

Muestreo de suelo

La evolución dinámica y productivista de las actividades agropecuarias sin considerar estrategias de sustentabilidad genera la degradación de los sistemas naturales. Las propiedades físicas y químicas de los suelos se ven modificadas venciendo su capacidad de resiliencia, observándose desbalance nutricional, pérdida de materia orgánica, compactación y disminución de su permeabilidad. En tal sentido, los diagnósticos adecuados deben ser integra-dores, asumiendo el riesgo de uso, para luego poder proyectar la estrategia más adecuada de manejo, rotaciones, fertilización, y enmiendas para mejorar o mantener los parámetros de salud del suelo. En este capítulo se presentarán algunos de los principios básicos del muestreo de suelos, el cual debe realizarse correctamente para conocer los datos fehacientes de la realidad de los mismos.

Toma de muestra

Área a muestrear

Los campos no son homogéneos, presentan variabilidad horizontal representada por diferentes suelos y sus variables verticales. Primeramente se deberá realizar un relevamiento del terreno de manera que se consiga dividir en áreas uniformes respecto a su topografía. Además, hay que tener en cuenta los diferentes manejos, cultivos, fertilizantes, rotaciones. Por ejemplo: si un invernadero es plano, pero dentro de él hay varios camellones con diferentes cultivos y formas de manejo, el mismo se deberá muestrear diferencialmente. Asimismo, se deben muestrear áreas homogéneas. Si existieran manchones o problemas localizados, estos deberán ser muestreados individualmente, pero si estas áreas son pequeñas deberán ser omitidas.

Forma de muestreo

Tal como se indicó, la zona a muestrear debe ser homogénea, por lo que es de suma importancia definir unidades de muestreo. En tanto, existen diferentes formas de obtener una muestra representativa. La técnica más sencilla, y más usada, consiste en tomar, sobre el área a

muestrear, submuestras al azar. Luego, estas se mezclan para obtener una muestra compuesta, que es la que se remite al laboratorio.

Sitios de muestreo

Los patrones de muestreo se definen como las diferentes formas en las que se pueden distribuir los puntos de muestreo en el plano horizontal, para cada sitio en particular, conociendo las características y/o los motivos del muestreo. De este modo, pueden darse en forma sistemática a partir del centro de una cuadrícula, en sus vértices, al azar dentro de la cuadrícula, sobre un recorrido en zig-zag, sobre diagonales que cortan el lote a muestrear, en base a una rejilla circular o en forma asimétrica: sinuosa (Imagen 2).

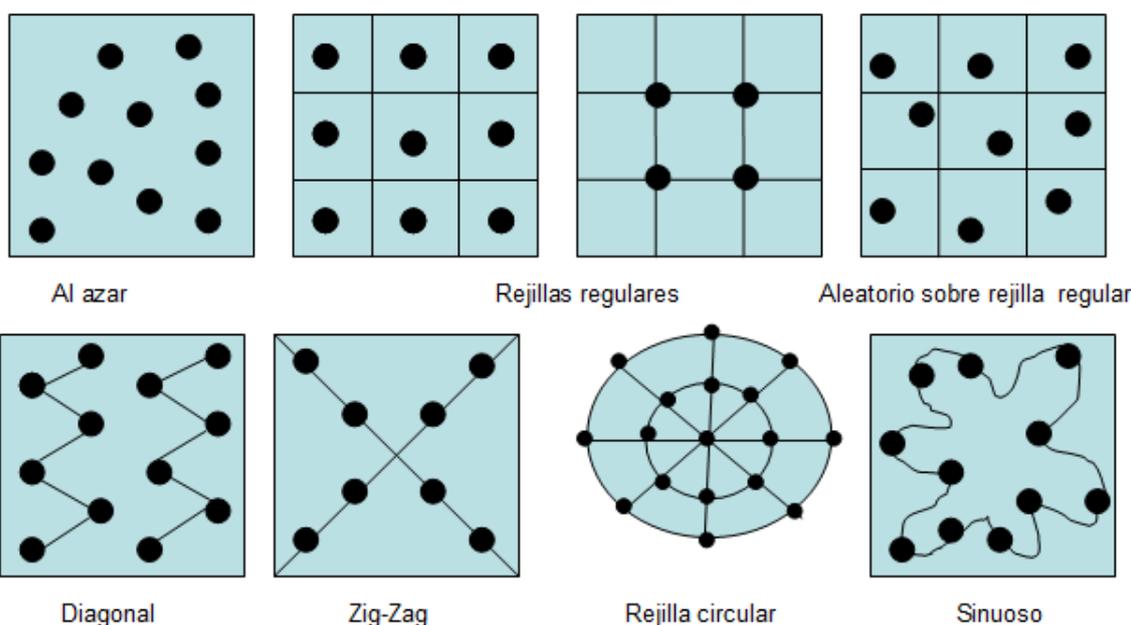


Imagen 2. Patrones de recorrido para la extracción de submuestras

La toma de muestras representativas se convierte en un punto crucial para lograr confiabilidad en los análisis de suelo, que no dejan de ser mediciones indirectas e imperfectas.

Como se desarrollará en el Capítulo 3, los suelos de la región hortícola de La Plata presentan propiedades vérticas con elevada proporción de arcillas expansivas (montmorillonitas) que se contraen en períodos secos generando grietas. En tanto, cuando el suelo vuelve a humectarse se generan *slickenside*, superficies de fricción entre las caras de los agregados; estos suelos se caracterizan por una infiltración lenta o algo limitada. Dichas características tienen efecto sobre la distribución del agua de riego en el lomo del cultivo, generando zonas de diferentes concentraciones de sales. Insaugarat y Rojas (2014) estudiaron la concentración de sales en tres zonas del lomo de un cultivo de tomate con riego por cintas de goteo (Imagen 3). El área lateral del lomo (B) presentó mayor contenido de sales y de Na^{+2} , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Cl^{-} , SO_4^{-2} respecto a la zona más profunda, mientras que el área central del lomo (A) presentó un valor intermedio de sales y pH, siendo los otros parámetros estudiados igual que el lateral del lomo.

Según la variación de los datos en función del área de muestreo, se aprecia la importancia de establecer un criterio para no mezclar suelos de diferentes características. Por lo tanto, en riego por goteo cada submuestra debe recogerse un punto situado entre el gotero y la planta, en un entorno de unos 10 a 15 cm del gotero, no debiendo situarse ni debajo de este (zona muy lavada) ni en los bordes del bulbo húmedo (frente salino). En tanto, se extrae una porción de suelo en forma vertical (10 a 12 cm), que es la zona de profundidad media de las raíces.

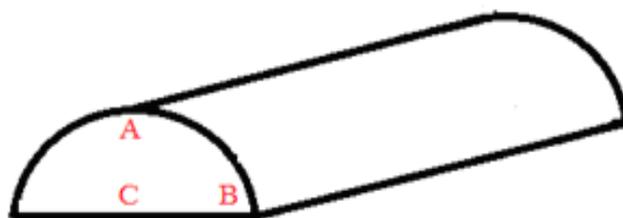


Imagen 3. Zona de muestreo en el lomo o camellón de un cultivo de tomate.

Determinación del número de submuestras

Es importante tener claro dos conceptos diferentes: exactitud y precisión. La exactitud indica cuán cercano está el valor del análisis de suelo del contenido real del campo, mientras que la precisión describe la reproductividad de los resultados. Estas dos variables son aseguradas por el número de submuestras y, en altos niveles, garantizan una muestra que representa el área muestreada y cuyos resultados son reproducibles cuando se realice un remuestreo del sitio.

Para cultivos extensivos (cultivos y pradera) se recomienda 1 submuestra cada 2 a 3 ha. Cada muestra compuesta deberá estar constituida por 10 a 30 submuestras. En cultivos intensivos (quintas, frutales) se aconseja relevar por cada muestra compuesta 1 ha de igual historia productiva (fertilización, rotaciones y manejo de cultivos), tomando 15 submuestras.

¿Cuándo muestrear?

Si el objetivo es muestrear el suelo para un análisis general de fertilidad, se sugiere realizarlo al inicio de cada ciclo de rotación. En este punto, se evalúan parámetros que varían muy lentamente, como el pH, materia orgánica, nitrógeno total, cationes intercambiables y fósforo disponible. Sin embargo, si el objetivo es el diagnóstico de fertilización respecto a propiedades muy dinámicas, como nitratos y sulfatos, se deberá efectuar antes de cada campaña, lo más cerca de la siembra o fertilización. En este caso, es fundamental dejar pasar 48 horas después de la lluvia o el riego.

¿Quién toma la muestra?

La principal causa de los errores que se presentan en el análisis del suelo reside en los muestreos, que deben ser siempre programados, realizados por personas idóneas, con conocimiento de las características del campo y respetando los objetivos de los mismos. La importancia del muestreo radica, principalmente, en que se lleva al laboratorio aproximadamente 1

kg de suelo, que representa 0,00005% del peso de 1 ha, de un espesor de 20 cm y de una densidad de 1 g.cm⁻³.

Materiales para el muestreo

Se recomienda contar con los siguientes elementos:

- Pala limpia de óxido, principalmente si el muestreo contempla el análisis de micronutrientes.
- Barreno o calador: este artefacto tiene la ventaja de que, al utilizarlo, siempre se obtiene una muestra del mismo tamaño. Es importante que las herramientas para la toma de muestras se encuentren bien afiladas para provocar un corte uniforme, principalmente en las capas profundas de los suelos del Gran La Plata, caracterizados por poseer altos contenidos de arcillas.
- Bolsas resistentes y limpias. No se deben usar bolsas de fertilizantes, cal o plaguicidas.
- Balde y/o lona: se van a utilizar para mezclar las submuestras que conformarán la muestra compuesta.
- Cuchillo o cuchilla.
- Marcadores indelebles y tarjetas identificadoras.

Profundidad de muestreo

La profundidad del muestreo depende del elemento o propiedad del suelo que se desee cuantificar.

El nitrógeno total, la materia orgánica, el pH, la capacidad de intercambio, los cationes intercambiables y los micronutrientes normalmente se miden en la capa superficial del suelo, de 0 a 15 cm o de 0 a 20 cm, ya que es la profundidad donde se encuentran la mayor concentración de raíces de gran parte de los cultivos agrícolas. Por otro lado, para pasturas la profundidad es un poco menor, de 0 a 10 cm o de 0 a 15 cm.

Los nutrientes móviles, nitratos y sulfatos, presentan variabilidad en profundidad, por tal motivo deben ser analizados estratificados entre 0 a 20 cm, 20 a 40 cm y 40 a 60 cm o de 0 a 30 y 30 a 60 cm. Este tipo de muestreo también es el que corresponde llevar a cabo si se quiere observar el movimiento de las sales y el sodio en el suelo, acompañado del valor de pH.

Extracción de las muestras

En relación a la extracción de las muestras, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Los implementos a utilizar deberán estar limpios a fin de evitar la contaminación entre muestras.

- No hay que tomar muestras en caminos, canales, sector linderos a las casas, estanques, establos, lugares donde se almacenan productos químicos y/u orgánicos, ni donde se realizan quemas.

Conjuntamente, respecto del procedimiento, se debe eliminar la cobertura vegetal con cuidado de no sacar suelo o *mulching*, lo que correspondiera. A continuación, hay que cavar un hoyo en forma de V. Luego, hay que sacar de la profundidad preestablecida una palada de 3 cm de grosor y eliminar los bordes con el cuchillo, quedándose con el área central de 3 cm de ancho. Seguidamente, se debe introducir cada una de las submuestras en un balde o bolsa, desmenuzando los terrones. Si se utiliza barreno, se deberá introducirlo hasta la profundidad de muestreo. Importante: no se deben mezclar muestras de sitios y/o profundidades diferentes.

Una vez conformada la muestra con el número de submuestras preestablecidas, si se tiene mucho más de 1 kg de muestra, se debe realizar una técnica de fraccionamiento o cuarteo hasta llegar al peso requerido.

¿Cómo se realiza el cuarteo?

El modo correcto de realizar este procedimiento es desmenuzar la muestra y dividir la misma en cuatro partes iguales, entre las cuales se seleccionan los opuestos para conformar una nueva muestra. Si persiste el exceso de muestra, se deberá realizar un nuevo cuarteo (Imagen 4)

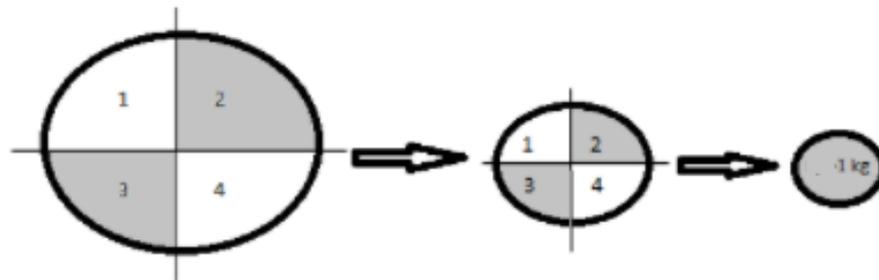


Imagen 4. Selección de muestra por cuarteo.

Tarjeta identificadora o rótulo

Se sugiere trasladar las muestras en doble bolsa y, entre las mismas, introducir una tarjeta identificadora. Cabe destacar que no hay que dejar la identificación dentro de la primera bolsa y en contacto con el suelo, dado que es factible que si la muestra posee humedad el rótulo se deteriore, pudiendo perderse los datos.

En la tarjeta identificadora o rótulo debe consignarse la información que se detalla a continuación:

- Nombre del establecimiento
- Identificación del lote
- Profundidad del muestreo

- Datos del remitente
- Fecha de muestreo
- Observaciones o datos relevantes

Traslado y acondicionamiento

Respecto del traslado y acondicionamiento de las muestras, se recomienda conservarlas en un lugar fresco y enviarlas lo antes posible al laboratorio.

Si el objetivo es analizar nitratos y/o sulfatos, las muestras deberán conservarse refrigeradas, para lo que se podrá utilizar conservadora de telgopor con refrigerantes o una heladera común. Asimismo, deberán ser remitidas al laboratorio con una demora no mayor a 24 - 48 horas.

Si el objetivo son los análisis no variables en el corto tiempo, y si hubiera demora en el envío de las muestras, se debe desmenuzar cada una de ellas y secarlas sobre una lona o plástico limpio formando una capa de 2 cm de altura, al aire libre pero no al sol. Una vez seca se debe proceder a embolsar nuevamente y colocar su etiqueta identificatoria correspondiente.

Muestreo de agua para análisis químico

Considerando que la producción hortícola se realiza bajo riego, y que la baja calidad de agua y el manejo intensivo favorecen el desarrollo de procesos degradativos en los suelos como la salinización, la sodificación, el desbalance de nutrientes y la pérdida de fertilidad física (Alconada, 1996), es necesario conocer la calidad de agua que se dispone. Para ello hay que realizar adecuadamente la toma de muestra de agua para realizar un análisis químico.

Lo más importante es tratar que la muestra de agua sea homogénea y representativa, pero, por sobre todo, que en la extracción no se modifiquen las propiedades del líquido a analizar. Para un análisis químico se requieren 1,5 litros de agua, en tanto que es necesario que el envase se encuentre perfectamente limpio y que posea una tapa hermética, a fin de impedir pérdidas de agua. En relación al procedimiento, se deben seguir los siguientes pasos:

- Abrir la canilla y descartar el primer chorro de agua que salga del grifo (dejarla correr por lo menos 1 minuto). Si es de bomba, se deberá bombear el agua de 5 a 10 minutos, aproximadamente, y luego se procederá a tomar la muestra.
- Abrir el recipiente colector (mínimo de 1,5 litros de capacidad) y enjuagarlo al menos 3 veces con la misma agua a analizar.
- Llenar con agua el volumen total del recipiente. Es importante que no quede una cámara de aire en el envase.
- Rotular el recipiente con fecha, hora, lugar en que se realizó la toma de la muestra, fuente de provisión (agua corriente, de estanque, de origen subterráneo) y datos del propietario. Especificar qué tipo de análisis es requerido (aptitud para riego).

- Enviar la muestra al laboratorio acondicionada en una conservadora con hielo dentro de las 24 horas de haberla tomado, ya que hay varios parámetros (nitratos, nitritos) que pueden modificarse por efecto del calor debido a la proliferación microbiana. Si no es enviada inmediatamente después de la toma, debe ser congelada.

Definición de fertilidad de suelo

Fertilidad edáfica: capacidad que tiene un suelo de brindar las condiciones químicas y físicas para un crecimiento equilibrado de los vegetales. La fertilidad de un suelo está definida por 2 parámetros: dotación (propiedades químicas) y abastecimiento (propiedades físicas y físico-químicas). Ambos se encuentran estrechamente vinculados y, si bien cada uno debe ser analizado en forma individual, resulta imprescindible establecer sus relaciones en el paisaje, ya que en general dichas relaciones son las que posibilitan la productividad del sitio para un cultivo determinado.

Dotación: es la cantidad de nutrientes que podría ser tomada por los cultivos en el corto, mediano y largo plazo. Está definida por tres factores: Intensidad - Capacidad - Renovación.

Intensidad: se refiere a la cantidad de nutrientes disponible inmediatamente para el cultivo. Por ejemplo, valor absoluto de algún elemento soluble (NO_3^- en ppm).

Capacidad: es la reserva del nutriente en el suelo que puede estar disponible para la planta de mediano a largo plazo. Por ejemplo, nitrógeno total (Nt, en %)

Renovación: es el proceso mediante el cual el factor capacidad se transforma en el factor intensidad. Si bien varía con el elemento, en general se asocia a las condiciones que promuevan la mineralización de la materia orgánica, solubilización de precipitados, sales y meteorización de minerales. Por ejemplo, el proceso de mineralización de la materia orgánica que contiene el Nt, que se transforma en NO_3^- .

Abastecimiento: son las condiciones del medio que posibilitan que un determinado nivel de nutriente medido en laboratorio, efectivamente esté disponible para las plantas. Las propiedades del suelo que definen el abastecimiento son las que garantizan que ocurran los procesos responsables de la transformación de las reservas del nutriente a formas asimilables por las plantas (por ejemplo, la materia orgánica a Nt a NH_4^+ y NO_3^- , en cada etapa participan bacterias con condiciones definidas de desarrollo).

En términos generales, puede indicarse que representan aquellas propiedades que condicionan la solubilidad de nutrientes, el movimiento del agua y aire para la vegetación, y la biología edáfica. Las principales propiedades que determinan al abastecimiento son:

- Propiedades físicas: textura, estructura, porosidad, densidad aparente, profundidad y estratificación (secuencias de capas u horizontes), relacionadas con el drenaje de los suelos.
- Conductividad eléctrica (CE): mide sales solubles en agua.
- pH del suelo.

- Porcentaje de sodio intercambiable (PSI): Na^+ intercambiable respecto a la CIC (capacidad de intercambio catiónico medido por AcNH_4 , pH 7, 1N).
- Relación de adsorción de sodio (RAS): Na^+ soluble, respecto a la raíz cuadrada de la suma de Ca^{++} y Mg^{++} solubles sobre 2.

El suelo es un sistema abierto, dinámico, constituido por tres fases. La parte sólida (50%), fase heterogénea, formada por los componentes inorgánicos y orgánicos, y discontinua donde hay huecos, fase no sólida (50%) que contempla la gaseosa: aire y la líquida: agua y donde también se encuentran las raíces, microorganismos y fauna edáfica (los porcentaje son de referencia). Las plantas están en contacto con una enorme variedad de tamaños y formas de partículas, generalmente asociadas formando agregados, conformando la estructura del suelo. (Imagen 5).

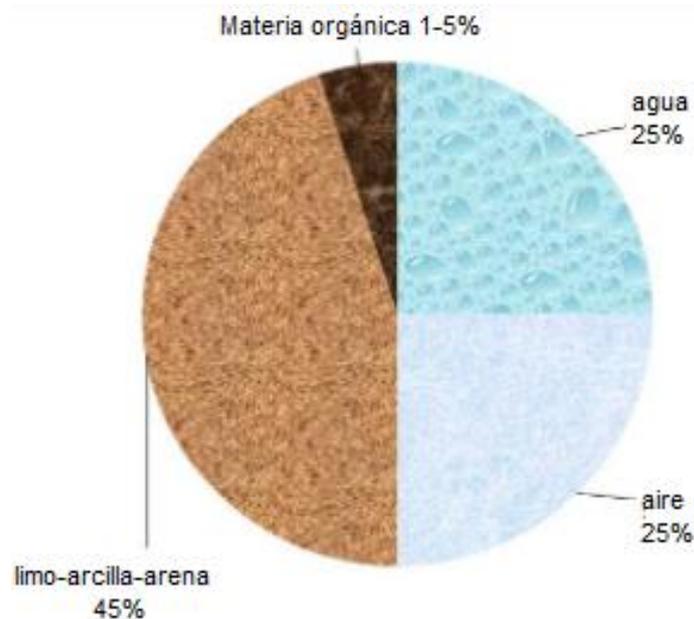


Imagen 5. Proporciones volumétricas de los principales componentes del suelo.

PARÁMETROS DE ABASTECIMIENTO DEL SUELO. INTERPRETACIÓN

Análisis físico

Textura

Cuándo se habla de textura se hace referencia a la expresión porcentual de las fracciones granulométricas de arena, limo y arcilla, partículas primarias menores de 2 mm de diámetro. La combinación de estas 3 fracciones determina la clase textural. La textura es una de las propie-

dades permanentes del suelo, no obstante, puede sufrir cambios por laboreo (mezcla de horizontes), erosión eólica o erosión hídrica. En los suelos estas fracciones se hallan íntimamente relacionadas entre sí con los otros componentes del suelo. Sin embargo, cada fracción confiere propiedades particulares:

Arena (50 a 2000 μm): conforma la fracción esquelética del suelo, con partículas que dejan macroporos entre sí, los cuales aumentan la permeabilidad y, por lo tanto, son pobres almacenadores de agua. Debido a su baja superficie específica y falta de cargas, le confieren baja fertilidad a los suelos. En tanto, por su baja capacidad para formar estructura es una fracción susceptible a la erosión.

Limo (entre 2 y 50 μm): es una fracción derivada de la anterior por alteración física. Su tamaño de partícula es inferior, dejando poros, también más pequeños, en donde almacena agua. En general, es de baja actividad superficial, por lo que también es baja la fertilidad química. Los suelos con predominio de limo favorecen el encostramiento superficial, lo que puede limitar la permeabilidad e infiltración.

Arcilla (< 2 μm): es la fracción más fina. Por su pequeño tamaño de partícula, tiene valores muy elevados de superficie específica activa, por lo que incide fundamentalmente en la fertilidad de los suelos. Forma cuerpos de elevada porosidad, con predominio de microporos. Los suelos con preponderancia de fracción arcilla poseen permeabilidad lenta e infiltración baja.

Las **clases texturales** definidas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) son doce y se disponen en un triángulo de textura (Imagen 7). El triángulo se divide en una serie de áreas que corresponden a las diversas clases, que representan grupos de texturas con aptitudes o propiedades análogas.

La clase textural franca es la que asegura las mejores cualidades para el desarrollo de las plantas por poseer un adecuado gradiente de partículas finas que brindan superficie activa, almacenaje de nutrientes y agua, y una fracción gruesa que posibilita buena permeabilidad y, por lo tanto, aeración. Además, resulta ser la clase que posee mayor tendencia a formar estructura.

Estructura

La estructura es la propiedad física que resulta del modo de agregación de las partículas sólidas, organizadas en cuerpos o agregados de formas y tamaños variables, y dejando entre sí huecos que constituyen el área porosa del suelo.

Se habla de estructura como una propiedad, pero es más bien un estado, ya que cuando el suelo está seco se agrieta y se manifiesta la estructura. Pero, si está húmedo, se vuelve masivo, sin grietas, y la estructura no se manifiesta (Dorronsoro, 2004).

El agua y la circulación de la misma varían notablemente de acuerdo con la estructura, por lo que los procesos más afectados cuando un suelo sufre deterioro estructural son drenaje, aireación y crecimiento radical.

Según su forma, las estructuras se definen de las siguientes maneras (Imagen 7):

Estructura laminar: está conformada por láminas delgadas dispuestas en forma horizontal. Es muy común en los suelos en los que predomina el limo (franco limoso, limoso). Suele producir problemas de infiltración y drenaje. No es una estructura adecuada para el desarrollo de las raíces.

Estructura prismática: los terrones son más altos que anchos. Generalmente se presenta en los suelos en el horizonte B que acumulan arcillas proveniente del o los horizontes superiores (Bt).

Estructura columnar: son prismas con sus bordes superiores redondeados por el efecto del sodio, que actúa como agente dispersante.

Estructura de bloques: son terrones más o menos cuadrados y algo más grandes que la granular. Suelen tener abundante espacio poroso y grietas. Los angulares son superficies planas, de aristas vivas y con vértices. Los subangulares son superficies no muy planas, sin formación de vértice.

Estructura granular: los agregados son de reducido a mediano tamaño, con espacio poroso adecuado para favorecer condiciones de aireación y exploración de raíces. Es frecuente en horizonte A.

Estructura migajosa: es similar a la granular pero con poros en su interior. Está asociada a altos contenidos de materia orgánica.

En tanto, el grano suelto es el suelo sin estructura, muy frecuente en la zona hortícola, principalmente por exceso de laboreo. Los abonos orgánicos se recomiendan en aquellas tierras sometidas a cultivo intenso para mejorar la estructura del suelo; con ello, se aumenta la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (Graham y Hubbell, 1974).

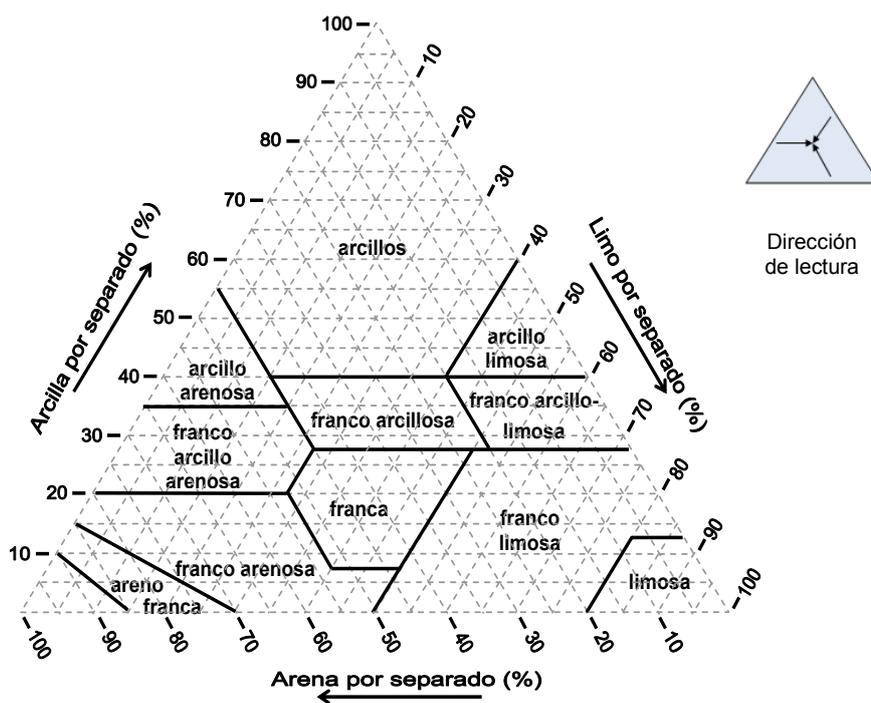


Imagen 6. Triángulo de clases texturales del suelo según el tamaño de las partículas, según USDA

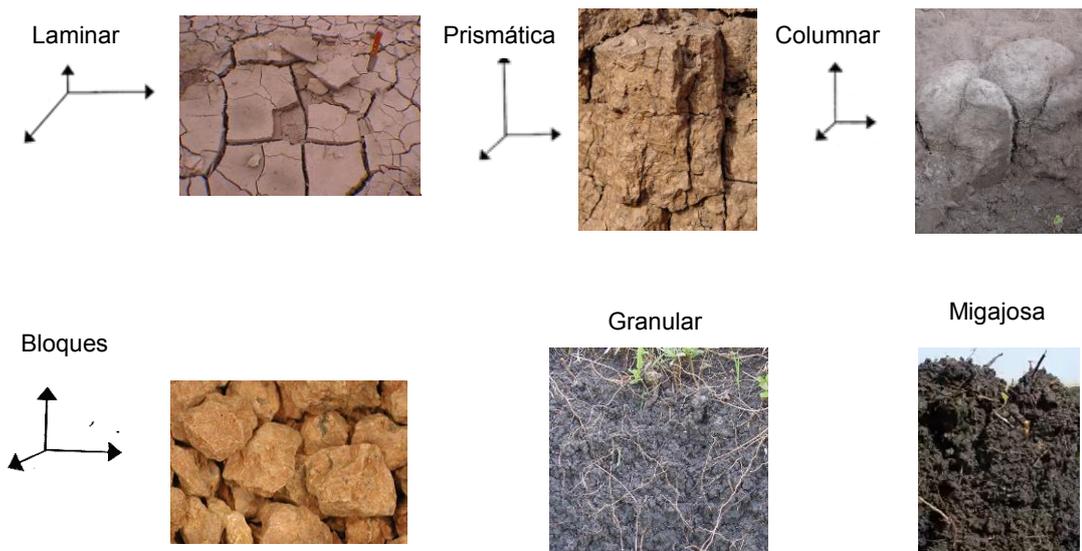


Imagen 7. Tipos de estructuras

Análisis físico-químicos

Conductividad eléctrica (CE)

Este parámetro se relaciona con la cantidad de sales del suelo. A mayor valor, más contenido de sales. El aumento en el contenido salino genera menores tasas de germinación, emergencia y crecimiento, pudiendo alcanzar la muerte en situaciones extremas. El principal efecto generado por las sales es el estrés hídrico para los cultivos. Las sales generan un potencial osmótico alto de la solución del suelo, por lo que la planta tiene que utilizar más energía para absorber el agua. Además, la salinidad puede generar deficiencias nutricionales por desbalance entre los nutrientes y por exceso de un ión que limita la absorción de otros iones. Conjuntamente, el hombre puede introducir sales a través del agua de riego, dado que, si el agua es de mala calidad, el uso reiterado de la misma tenderá a salinizar el suelo. Por tal motivo, es indispensable contar con la información de la calidad de agua de riego (Tabla 4), fundamentalmente antes de su uso, para prevenir el posible deterioro del suelo. La conductividad eléctrica también puede aumentar mediante la aplicación de algunos fertilizantes y abonos.

La CE se mide en el extracto de la pasta saturada y para su interpretación se utiliza el método indicado por Scofield (1941) (Tabla 5). La CE medida con conductímetros portátiles de campo o de laboratorio en relación suelo:agua 1:2 no sería una estrategia válida, comparado con los valores del extracto de la pasta saturada. Esto se confirmó al analizar el rango de 0,3 a 19 dS.m⁻¹ a 25 °C del extracto (Pellegrini *et al.*, 2020).

Tabla 4: Clasificación de la calidad del agua para riego según la FAO

	Grado de restricción en el uso		
	Ninguno	Ligero o moderado	Severo
Problema potencial : SALINIDAD			
CE (dS/m)	<0,7	0,7-3,0	>3,0
Problema potencial : INFILTRACIÓN			
RAS entre 0-3 y CE=	>0,7	0,7-0,2	<0,2
RAS entre 3-6 y CE=	>1,2	1,2-0,3	<0,3
RAS entre 6-12 y CE=	>1,9	1,9-0,5	<0,5
RAS entre 12-20 y CE=	>2,9	2,9-1,3	<1,3
RAS entre 20-40 y CE	>5,0	5,0-2,9	<2,9

CE: Conductividad eléctrica (mS/cm ó dS/m), RAS: Relación de Adsorción Sodio
Adaptado de Ayers y Westcot (1987)

Tabla 5: Escala de clasificación de suelos según contenidos de sales

Clasificación:	dS.m ⁻¹	Tolerancia de plantas
Suelos no salino	< 2	Efectos de la salinidad despreciable
Suelo ligeramente salino	2 a 4	Los cultivos muy sensibles pueden ser afectados
Suelo moderadamente salino	4 a 8	La mayor parte de los cultivos son afectados
Suelo salino	8 a 16	Solamente los cultivos tolerantes pueden desarrollarse
Suelo muy salino	> a 16	Únicamente se pueden desarrollar unos pocos cultivos muy tolerantes.

Reacción del suelo, pH

La reacción de un horizonte de un suelo hace referencia al grado de acidez o basicidad de dicho horizonte, y generalmente se expresa por medio del pH. El pH se define como la cantidad de iones de hidrógeno libres presentes en el suelo, y se expresa en escala de entre 4,5 -10 para los sistemas naturales (Porta Casanellas *et al.*, 2003) (Tabla 6).

El bienestar de los distintos microorganismos presentes en el suelo depende del valor del pH de este, ya que cada uno tiene un nivel óptimo. Asimismo, cada cultivo tiene un rango recomendable de crecimiento, por lo que cuanto más se aleje del mismo se verá afectado su desarrollo y rendimiento.

Hay que tener en cuenta que los nutrientes presentes en el suelo se pueden absorber con mayor o menor eficiencia en función del pH. En la Imagen 8 se representa, a modo orientativo, la relación entre la disponibilidad de los elementos del suelo y el pH, sin olvidar que en algunos

suelos la deficiencia se puede deber a las características propias del material original del mismo, independientemente del valor de pH.

Tabla 6: Efecto de diferentes intervalos de pH sobre el suelo

pH	Evaluación	Efecto esperado
< 4,5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables
4,5 -5,0	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad de Mn ⁺⁺ y Al ⁺³
5,1-5,5	Fuertemente ácido	Exceso: Co, Cu, Fe, Mn, Zn Deficiencia de: Ca, K, N, Mg, Mo, P, S Suelo sin carbonato cálcico Actividad bacteriana escasa
5,6-6,0	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos
6,1-6,5	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes
6,6- 7,3	Neutro	Mínimo efecto de toxicidad pH <7 no hay carbonato cálcico en el suelo
7,4-7,8	Medianamente básico	Suelos generalmente con CaCO ₃ Disminuye la disponibilidad de P y B Deficiencia creciente Co, Cu, Fe, Mn, Zn Clorosis férrica
8,5- 9,0	Ligeramente alcalino	En suelos con carbonatos, estos pH altos pueden deberse al MgCO ₃ , si no hay sodio intercambiable Mayores problemas de clorosis férrica
9,1-10,0	Alcalino	Presencia de carbonato sódico
< 10,0	Fuertemente alcalino	Elevado porcentaje de sodio intercambiable Toxicidad por Na y B Actividad microbiana escasa Micronutrientes poco disponibles, excepto Mo

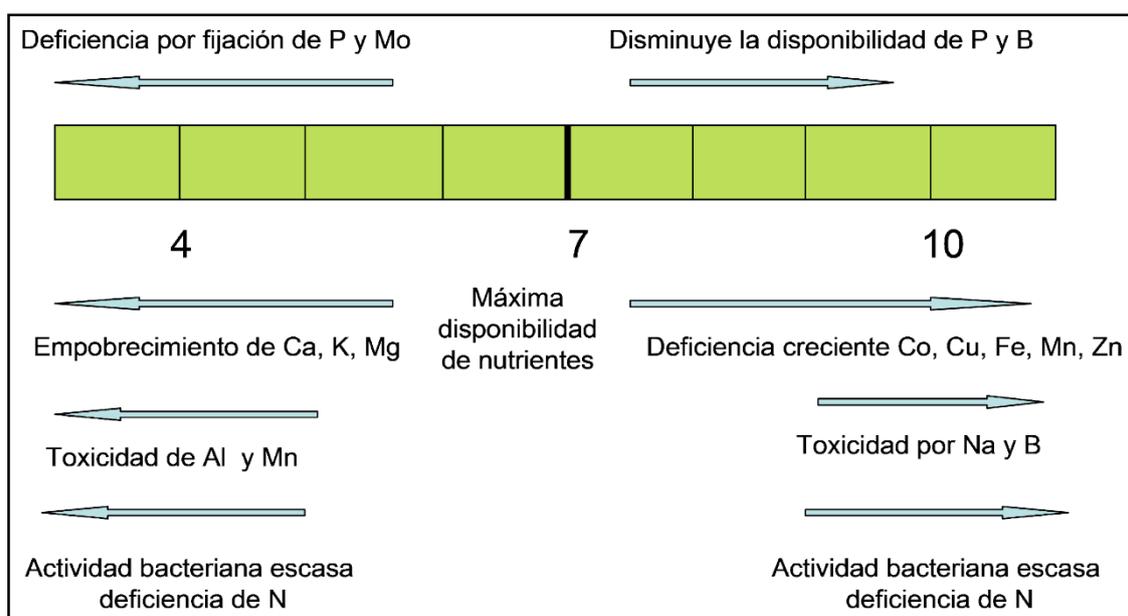


Imagen 8. Disponibilidad de los nutrientes en el suelo según el pH.

En el caso del suelo, el pH se determina en una pasta de suelo o en una suspensión suelo:agua con relaciones 1:1; 1:2,5; 1:5; 1:10. En la actualidad, los laboratorios de la Argentina toman como referencia el pH en relación suelo-agua 1:2,5. En este sentido, se debe tener en cuenta que siempre se debe comparar pH de igual dilución.

Los valores de pH del suelo varían de acuerdo a las condiciones de humedad, cuanto más diluida sea la suspensión de un suelo tanto más alto será el valor de pH determinado.

En caso de que la medición de pH tenga que hacerse en el campo, pueden usarse pH-metros de bolsillo (medidores portátiles de pH), utilizando agua destilada. También se puede medir colorimétricamente utilizando una solución indicador como reactivo universal (con escala de pH) o papel indicador, técnicas que arrojan datos orientativos. Hay que tener en cuenta que según cómo se haga la medición los valores obtenidos pueden variar.

Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y Relación de Adsorción Sodio (RAS)

Los suelos sódicos se caracterizan por tener una alta cantidad de sodio intercambiable y un bajo nivel de sales en solución. El sodio en el suelo puede haber ingresado a partir de su material originario o por napas freáticas enriquecidas en sodio que ascienden en el perfil por capilaridad. En situaciones donde la napa se encuentra cercana a la superficie, el sodio puede llegar a afectar el crecimiento radical. También puede ingresar en el perfil al realizar riegos con aguas de mala calidad y alto contenido de dicho elemento, es decir, por efecto de la actividad antrópica.

En los suelos sódicos el rendimiento de los cultivos se ve limitado principalmente por problemas en las condiciones físicas edáficas. Estos inconvenientes se originan porque los iones de sodio interfieren en las fuerzas que unen a las partículas de arcilla, separándolas, proceso conocido como dispersión. El sistema poroso se ve afectado, incrementándose la proporción de microporos y el bloqueo de poros a partir de las partículas que migran.

Todo lo mencionado anteriormente trae inconvenientes en la movilidad del agua en el suelo. Se disminuye el ingreso de agua en el perfil (infiltración), como en el movimiento del agua dentro del perfil (conductividad hidráulica), motivos por los que se generan anegamientos e inundaciones. El sodio en exceso también puede ser tóxico, dependiendo de la resistencia de los vegetales.

La forma de evaluar la problemática del sodio en los suelos se lleva a cabo a través del **porcentaje de sodio intercambiable (PSI)**, que se define como la cantidad de sodio adsorbido por las partículas del suelo en cmol.kg^{-1} sobre la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en cmol.kg^{-1} de suelo, expresado en porcentaje (Ecuación 1). Los suelos sódicos están definidos como aquellos donde el PSI es mayor a 15. Sin embargo, con valores muchos menores pueden presentarse las problemáticas del sodio. En la Tabla 7 se indica una calificación de la sodicidad en base al porcentaje de sodio intercambiable.

$$\text{PSI (\%)} = \frac{\text{Na}^+}{\text{CIC}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Tabla 7: Calificación de la sodicidad en base al porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

PSI	Calificación de sodicidad
Menor de 4	Baja
4 – 8	Ligera
8 – 15	Moderada
15 - 20	Alta
Más de 20	Muy alta

Como indicador de la sodicidad del suelo también se puede utilizar la **Relación de Adsorción Sodio (RAS)** (Ecuación 2). Se usan las concentraciones de Na⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en moles por litro del extracto de la pasta saturada, el mismo donde se mide la conductividad eléctrica. Los valores de RAS mayores a 13 están indicando la presencia de problemas de sodicidad. Este análisis se debe pedir en suelos con presencia de sales.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2}}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Enmienda - Abono- Sustrato

Se entiende por **enmienda** a todo producto capaz de modificar o mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, ya sea de origen orgánico o inorgánico.

En tanto, un **sustrato** para el cultivo de plantas es todo material que puede proporcionar anclaje, oxígeno y agua suficiente para el óptimo desarrollo de las mismas, o en tal caso nutrientes, requerimientos que pueden cubrirse con un solo material o en combinación con otros, los cuales deberán ser colocados en un contenedor (Cruz-Crespo *et al.*, 2013).

Asimismo, se considera un **abono orgánico** a todo material de origen animal o vegetal que se utilice, principalmente, para mejorar las características del suelo, como fuente de vida y nutrientes. Entre los abonos orgánicos los más conocidos son el compost, el bocashi y el lombricompost (Soto, 2004), pero dentro de este concepto también están los biofertilizantes, los téis, los abonos verdes, las excretas animales y los desechos vegetales: pulpa. Según la Resolución N° 71/99 (SAGPyA, 1999):

- Los abonos orgánicos, incluyendo los originados a partir de lodos orgánicos y los residuos orgánicos urbanos, deben someterse a tratamiento (compostado u otros) para eliminar los agentes patógenos antes de ser incorporados al suelo. En caso contrario, se podría contaminar el producto o bien el medio que lo rodea.

- Se deben aplicar con suficiente antelación al momento de cosecha, respetando los periodos de carencia, para evitar cualquier posibilidad de contaminación del producto.
- Se prohíbe utilizar lodos cloacales y residuos urbanos orgánicos como enmiendas (corrector de suelos) que no hayan sido compostados previamente de acuerdo a las normas vigentes. Hay que tener en cuenta que la restricción de uso de estas enmiendas orgánicas determina que no se aplicarán durante el ciclo del cultivo hortícola. En el caso de aquellos cultivos en los que la parte comestible está en contacto con el suelo deben ser aplicados con una anticipación de SEIS (6) meses a la cosecha.
- El contenido de metales pesados de los abonos deberá encontrarse dentro de los límites máximos establecidos.
- No se deben usar abonos contaminados con metales pesados u otros químicos cuyos límites máximos no estén determinados.
- Los sitios donde se realiza el compostado deben encontrarse aislados del lugar donde se produce el cultivo o donde se manipula o almacena el material cosechado.
- En la producción de brotes a partir de la germinación de semillas está prohibido el uso de abonos orgánicos.
- Si se utilizan abonos inorgánicos o químicos tienen que estar registrados por el Organismo Oficial competente, y deben usarse en las dosis recomendadas, respetando los tiempos de carencia establecidos a fin de no dejar residuos potencialmente tóxicos para la salud humana.

Dado que las características de los abonos dependen de los materiales de origen, no es posible manejarse con rangos de calidad aplicables universalmente. Es fundamental contar con la caracterización de los abonos-enmiendas a usar para indicar dosis adecuadas, a fin de controlar los efectos de acumulación de sales y nutrientes para fortalecer una agricultura sustentable.

Referencias

- Alconada Magliano, M. (1996). Deterioro físico-químico de un Vertisol con cultivos protegidos en el partido de La Plata. En: *Actas XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo* (en CD). São Paulo: SBCS.
- Ayers, R. S. y Westcot, D. W. (1987). *Calidad del agua en la agricultura*. Roma: FAO.
- Cruz-Crespo, E., Can Chulim, A., Sandoval Villa, M., Bugarin Montoya, R., Robles Bermúdez, A. y Juárez López, P. (2013). Sustratos en la horticultura. *Bio Ciencias*,2(2), 17-26.
- Dorronsor, C. (2004). *Introducción a la Edafología*. Granada: Carlos F. Dorronsoro Fernández
Recuperado de: <http://www.edafologia.net/introeda/tema04/estr.htm>.
- Graham, P. H. y Hubbell, D. H. (1974). Interacciones suelo-planta-*Rhizobium* en agricultura tropical. En: E. Bornemisza y A. Alvarado (Eds.), *Manejo de suelos en América tropical* (pp. 211-235). Raleigh: North Carolina State University.

- Insaugarat, J. y Rojas, M. (2014). *Efecto del drenaje y del riego por goteo sobre la dinámica de las sales en el suelo y el rendimiento en tomate bajo cubierta en La Plata*. (Tesis de grado). Inédita.
- Pellegrini, A. E., Frias Calvo, A. y Baridon, E. (2020). Validez de la medición de conductividad y pH a campo. En: *XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Corrientes: AACCS Inédito.
- Porta Casanellas, J., Reguerín, L. A. y Roquero de Laburu, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Mundi-Prensa.
- SAGPyA. 1999. Resolución N° 71/99. Guía de Buenas Prácticas de Higiene y Agrícolas para la Producción Primaria (cultivo-cosecha), empackado, almacenamiento y transporte de hortalizas frescas. Recuperado de: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/55000-59999/56077/norma.htm>.
- Scofield, C. S. (1941). *Pecos River Joint Investigation; soil salinity investigation, 1939-1940*. Washington: Bureau of Plant Industry.
- Soto, G. y Meléndez Celis, G. (2004). Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos. *Hoja técnica N° 48. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 72, 91-97.

CAPÍTULO 3

Suelo, agua y manejo en producciones intensivas del Gran La Plata

Margarita Alconada Magliano

Consideraciones generales

Los cinturones hortícolas de todo el país presentan problemas productivos, ambientales, sociales y económicos que son comunes. Estos problemas se vinculan entre sí, y en general parten de no considerar adecuadamente las relaciones suelo, agua y manejo productivo. Es necesario entonces, realizar un análisis de dichas relaciones para cada región a fin de alcanzar producciones sustentables. Específicamente, en el Cinturón productivo del Gran La Plata debe promoverse un pensamiento reflexivo sobre un estado de acciones e inacciones que conducen a la degradación y contaminación del suelo, agua y productos de cosecha, con consecuencias sociales y económicas, que se inicia con la salinización y alcalinización de los suelos.

Surge entonces plantearse para un ambiente y sistema productivo particular: *¿es posible controlar la salinidad de los suelos y contaminación del ambiente?* La respuesta es categórica, *sí lo es*. Sin embargo, es necesario iniciar las producciones intensivas efectuando correctos diagnósticos e implementar una mirada global hacia el sistema productivo, que incluyan al suelo, el agua, el clima y las necesidades reales de los cultivos en función del ambiente y su genética. Consecuentemente, debe definirse “causa- efecto” de las degradaciones observadas, y proponer a partir de esto, aquellas prácticas de manejo que efectivamente coadyuven a las condiciones naturales y requerimientos productivos. El traspaso de tecnologías desarrolladas para otras condiciones ambientales y productivas, tal como con frecuencia sucede en la región analizada, resulta inadecuado y muy posiblemente es el inicio de la secuencia de procesos degradativos del suelo, que conducen a una disminución de la producción, con muy altos costos en términos económicos, ambientales y sociales.

Suelo y Agua de riego

Definiciones

El suelo debe ser comprendido como un sistema dinámico, abierto, donde los factores que lo originaron e inciden en la actualidad, tal como la calidad del agua de riego, determinan las posibilidades de intervención y manejo. En la Imagen 9 se esquematiza cómo el suelo se vincula con los elementos del paisaje local y regional.

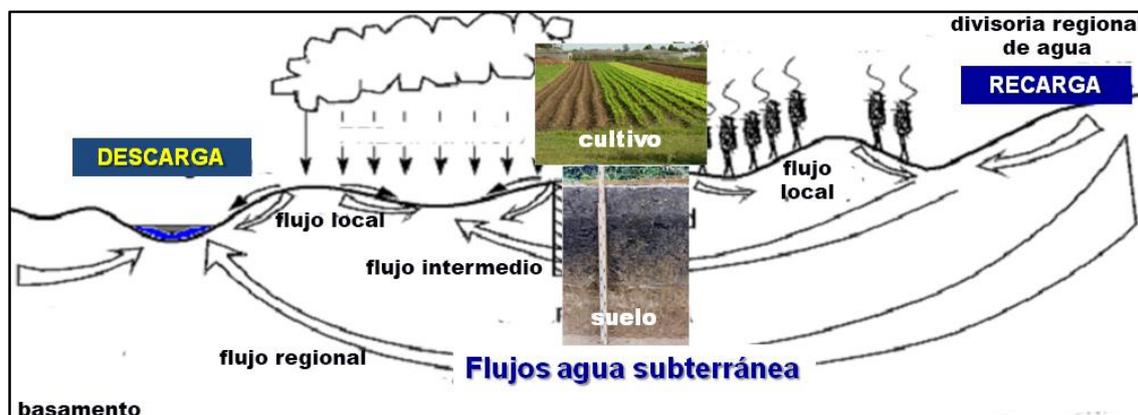


Imagen 9. El suelo como sistema dinámico, vinculado con el paisaje local y regional

A continuación se presentan algunas definiciones que permiten comprender más precisamente lo anteriormente indicado:

Suelo: el concepto de suelo es muy variado, dependiendo de la finalidad de estudio y uso. Para fines productivos se constituye en el medio para el desarrollo de las plantas, estando su fertilidad definida por las condiciones de dotación y abastecimiento (Alconada Magliano *et al.*, 2018a). Estas condiciones son definidas por las características morfológicas y analíticas del perfil edáfico, siendo necesario además, analizar el origen de dichas características, ya que las mismas son la manifestación de uno o varios procesos edafogénicos que interactúan y definirán el manejo. Por ejemplo, puede suceder que las propiedades del suelo se deban a: 1) condiciones pasadas o presentes; 2) una posición en el paisaje local o regional; 3) condiciones naturales o antrópicas. Esto determinará: limitantes y potencialidades de uso-manejo.

Perfil de un suelo: es el corte vertical del terreno que permite estudiar el suelo desde su superficie hasta el material original. Se estudia efectuando un pozo (calicata) hasta el material original, el menos alterado (horizonte C) o hasta alguna impedancia mecánica (tosca, piedra, agua freática). Porta *et al.* (1994) señalan que el límite inferior del suelo es la profundidad a partir de la cual las características son constantes con independencia de la distancia a la superficie o presentan secuencia de carácter estratigráfico. En el perfil edáfico se reconoce una sucesión de capas/horizontes que en conjunto definen el comportamiento del suelo en relación con la planta, y que se vinculan principalmente con la hidrología (agua superficial y subterránea), y con el ambiente en general. En los **horizontes** se reconocen propiedades morfológicas y analíticas que resultan de los **procesos formadores** que se originaron por la forma en que se combinan los **factores formadores** (material original, tiempo, clima, biota, y relieve). Se aprecia entonces, que el estudio individual de un perfil en sus primeros horizontes y sólo en algunas de sus propiedades, resulta insuficiente.

Profundidad efectiva: queda definida por la presencia de capas u horizontes subsuperficiales que restringen el normal desarrollo de raíces o el crecimiento del cultivo.

Agua de riego: el agua usada para riego debe ser evaluada por sus propiedades físico-químicas para un suelo y cultivo particular.

Estos conceptos, serán analizados en los suelos representativos del partido de La Plata donde se desarrollan las producciones intensivas.

Suelos y agua en su condición natural en el Gran La Plata

Los suelos dedicados a la producción flori-hortícola de la región se ubican en el área de Influencia Continental en el sector de la Divisoria Principal del Sistema de Arroyos del Río de La Plata y la Vertiente del Río Samborombón, se clasifican como *Argiudoles vérticos* (*Serie Segui* y *Estancia Chica*), en los ambientes regionalmente más elevados y *Hapludert típico* (*Serie Gorina*) en los más bajos (Hurtado *et al.*, 2006). En la Imagen 10 se observan perfiles representativos de estas series, y se indica la secuencia de horizontes (hz). Estos suelos en su condición natural tienen como principal limitante una *permeabilidad* restringida por la presencia de una elevada cantidad de arcillas desde superficie, siendo alta la proporción de arcillas de tipo expansivas principalmente en la *Serie Gorina*.

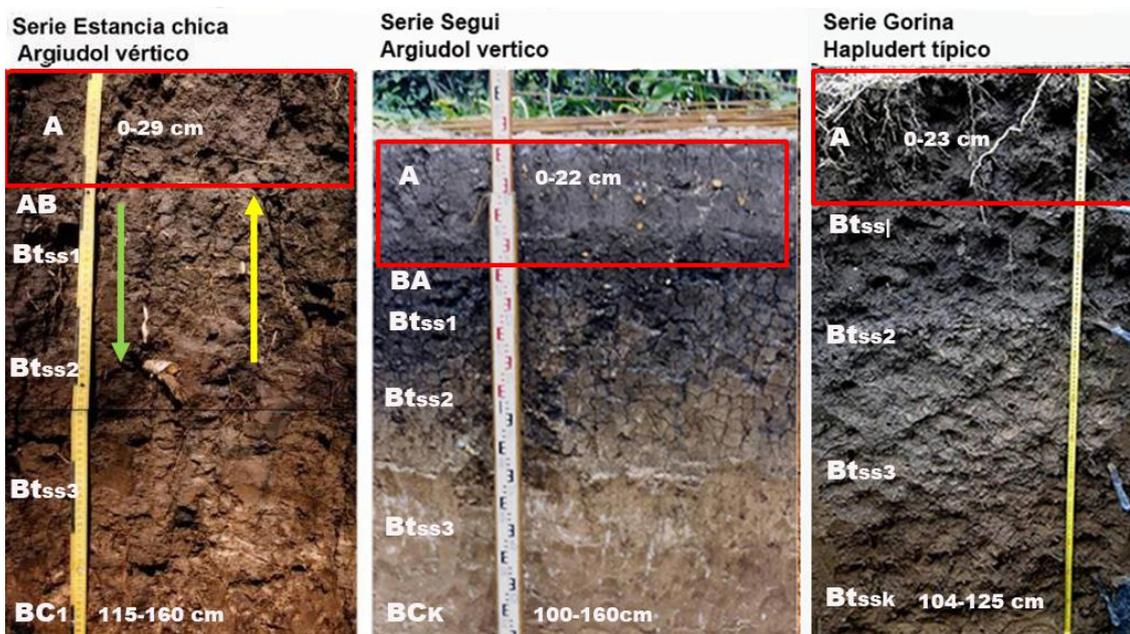


Imagen 10. Principales suelos donde se realiza la producción flori-hortícola en el Gran La Plata (adaptado de Alconada *et al.*, 2018b)

En la Imagen 11 se presenta un detalle de las propiedades vérticas que son características de estos suelos con elevada proporción de arcillas expansivas (montmorillonitas). La contracción de las arcillas en periodos secos genera *grietas* por donde se introduce material de super-

ficie, cuando el suelo vuelve a humectarse, esto se visualiza como *chorreaduras de materia orgánica* en el perfil. Asimismo, durante los periodos húmedos, se generan *slickenside*, superficies de fricción entre las caras de los agregados, por expansión de arcillas hidratadas y por el menor volumen en el suelo al haber sido ocupadas las grietas por el material de superficie. En la Imagen 12 se presenta la permeabilidad que podría atribuirse a los horizontes A (permeabilidad rápida con estructura granular), principalmente del *Argiudol vértico*, y en el Btss (permeabilidad moderadamente lenta con estructura prismática) que se inicia a los 23 cm en el *Hapludert típico*, y a 30-37 cm en los *Argiudoles vérticos*.

Respecto a las **propiedades químicas**, la única limitante que estos suelos presentan es un bajo contenido de **fósforo**. El resto de las propiedades se encuentran en niveles adecuados. Se destaca en superficie: pH ligeramente ácido (5,5-6,0), alto contenido en bases principalmente Ca^{+2} (8-15 me.l⁻¹), sin sodicidad (Na <1 me.l⁻¹), y ricos en materia orgánica (4 a 5%).



Imagen 11. Horizonte Bt con propiedades vérticas: chorreaduras de materia orgánica por grietas y presencia de slickenside (ss)

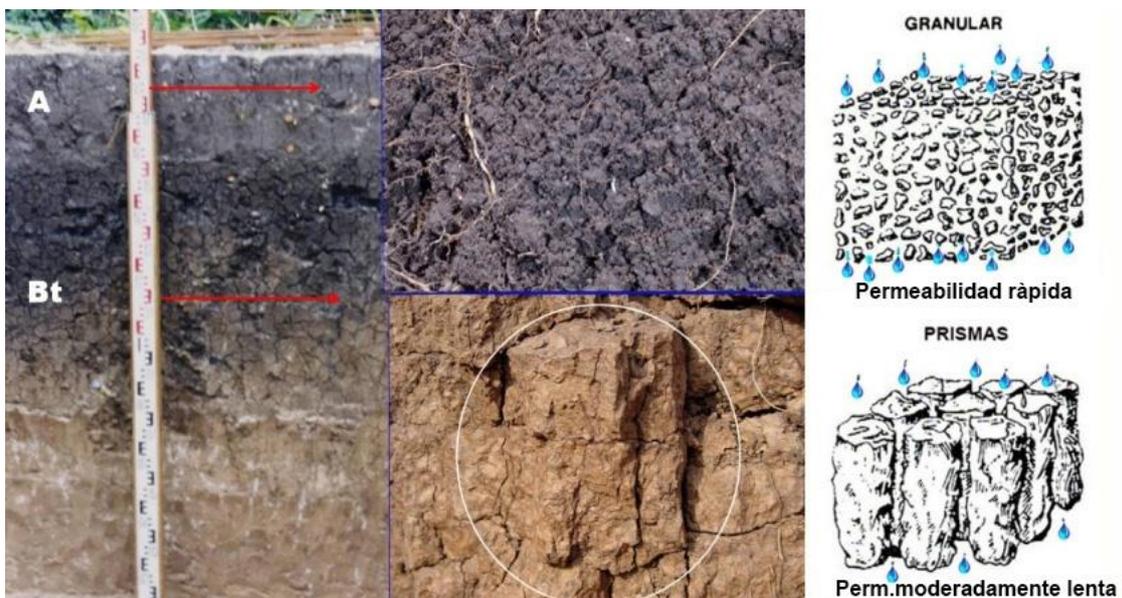


Imagen 12. Permeabilidad natural que podría atribuirse a los horizontes A y Btss del suelo *Argiudol vértico* y *Hapludert típico*

El agua de riego, proviene de dos acuíferos, *Pampeano* y *Puelche*, y se caracterizan por una composición química semejante debido a la comunicación hidráulica que existe entre ambos (Auge, 2005). Prevalen las aguas de tipo bicarbonatadas cálcicas y sódicas en el *Pampeano*, y sódicas en el *Puelche*, con tenores salinos entre 0,5 y 1,0 g.l⁻¹. La composición química media del agua en el ambiente de la Llanura alta (ámbito con producción intensiva) es la siguiente: HCO₃⁻ 7,6 mEq.l⁻¹ (89%); Cl⁻ mEq.l⁻¹ (11%); semejante en NO₃⁻ y SO₄⁻² 0,4-0,45 mEq.l⁻¹ (4-5%); Na⁺ 7,7 mEq.l⁻¹ (77%); Ca⁺² 1 mEq.l⁻¹ (11%); Mg⁺² 0,7 mEq.l⁻¹ (9%) y K⁺ 0,25 mEq.l⁻¹ (3%) (Auge, 2005). Se presenta en la Tabla 8 la composición de aguas que riegan suelos de la Imagen 11, y en Tabla 9, la participación porcentual de los iones en dichas aguas (extraídas de Alconada Magliano, 2020b). Se aprecia una importante variabilidad, principalmente en los contenidos de cationes. Esto modifica significativamente las reacciones que se producen en el suelo y el riesgo de salinización-alcalinización. Pla Sentis (2014) evalúa el efecto del agua de riego sobre la permeabilidad del suelo en función del balance de sales que se produce en la solución edáfica. Este autor señala la necesidad de incorporar a las clásicas mediciones de RAS (relación de adsorción sodio en solución) y PSI (porcentaje de sodio intercambiable), el uso del índice CROSS (Cations Ratio of Soil Structural Stability), a fin de considerar el efecto dispersante del Mg⁺² debido a que en algunas circunstancias este se suma al efecto del alto nivel Na⁺.

$$\text{CROSS} = \frac{\text{Na}^+ \times 0,56\text{K}^+}{[(\text{Ca}^{+2} + 0,6\text{Mg}^{+2})^2]^{1/2} \text{ mEq.l}^{-1/2}}$$

Respecto a RAS vs PSI, se recomienda utilizar el primero debido a que resulta más preciso y menos sujeto a errores de medición que el PSI (Pla Sentis, 2014).

Tabla 8: Composición química de aguas de la zona productiva del partido de La Plata

Pozo	pH	CE	HCO ₃	TSS	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	CaCO ₃	RAS
A	7,8	700	8,63	758	0,79	0,21	0,82	7,10	1,88	1,26	396	0,94
B	7,8	700	7,53	655	0,62	0,04	3,05	0,91	3,91	0,25	198	2,78
C	7,9	550	6,03	538	0,45	0,08	3,20	3,05	1,61	0,33	313	0,91
D	7,6	570	7,10	743	0,80	1,40	0,40	1,00	8,10	0,20	70	9,68
E	7,3	758	6,74	591	0,42	0,35	3,40	1,89	1,91	0,34	265	1,17

Tabla 9: Participación porcentual de cationes y aniones de aguas de Tabla 8

Pozo	%HCO ₃	%CL	%SO ₄	%Ca	%Mg	%NaK
A	89,6	8,2	2,2	7,4	64,2	28,4
B	91,9	7,6	0,5	37,6	11,2	51,2
C	91,9	6,9	1,2	39,1	37,2	23,7
D	76,3	8,6	15,1	4,1	10,3	85,6
E	89,7	5,6	4,7	45,1	25,1	29,8

Degradaciones y contaminación del ambiente

Problemas sin resolver en la producción Intensiva

En los esquemas productivos vigentes del Gran La Plata, la degradación de los suelos, la contaminación del agua y productos de cosecha, así como los daños en la salud humana, son procesos ampliamente denunciados desde diferentes ámbitos técnicos, científicos y sociales, desde hace más de 50 años. Sin embargo, es alarmante la persistencia de algunos de los problemas e incluso su agudización. El manejo de los suelos con cultivos intensivos es frecuentemente realizado utilizando procedimientos que en líneas generales se repiten año tras año desde hace décadas. Si bien se introducen modificaciones promisorias, tales como: manejos agroecológicos, control biológico y aspectos relacionados con la ecofisiología de los cultivos; el criterio de producción no se ha modificado esencialmente en muchos aspectos. Así, es frecuente que continúe la errónea creencia de que las disminuciones de rendimiento de los cultivos y/o degradaciones en el suelo, se revierten con el uso de más insumos, en tipo y cantidad (Alconada Magliano *et al.*, 2018b, Alconada Magliano, 2019).

En este sentido, diversas situaciones concurren: 1) inadecuada *caracterización del suelo, calidad de agua, y del balance de sales* que resulta de la interacción suelo-agua-manejo; 2) *manejo implementado* que no considera las características naturales, y prevalece el criterio de “recetas”; 3) *investigación-experimentación* no es suficiente en todos los tópicos que incluye la producción intensiva, o no son parte de una secuencia de avances tendientes a revertir problemas; 4) insuficiente *articulación entre los avances en el conocimiento científico-tecnológico con su extensión* al medio productivo; 5) las *empresas comerciales* suelen ser quienes promueven el uso de insumos, no siempre debidamente controlados en su efectividad; y 6) *ausencia del Estado* en el control de las diferentes etapas del proceso productivo y de los productos de cosecha.

Puede afirmarse que en la región del Gran La Plata, los esquemas productivos con frecuencia son “peligrosamente autónomos” por las consecuencias en los propios productores y a la

comunidad en general. En relación al suelo, los motivos por los cuales se insisten en algunas formas de producir y/o analizar los problemas es en parte semejante a lo señalado por Pla Sentis (2014) para la agricultura con riego en otras partes del mundo: no se consideran las relaciones causa-efecto de la salinización-alcalinización del suelo, y otras degradaciones al no ser abordados como *procesos hidrológicos* que al menos en parte, pueden ser controlados.

Degradaciones: origen y consecuencias

Degradaciones

Con la producción intensiva bajo coberturas plásticas se producen **degradaciones** del suelo por salinización, alcalinización, disminución de materia orgánica, desequilibrios nutritivos (excesos-déficit), pérdida de estructura y permeabilidad, que generan anegamientos, y asociados a esto, desarrollo de enfermedades y plagas, con disminución del rendimiento.

a) Física y físico-química del suelo: en la Imagen 13 se presenta en un Hapludert típico Serie Gorina, un encostramiento en superficie por dispersión del material edáfico atribuible al aumento de Na^+ en la solución edáfica de un suelo rico en arcillas expansivas; que además, ha tenido pérdida de materia orgánica y laboreo que rompe/pulveriza la estructura (rotovater). La estructura que originalmente era granular/bloques finos, se torna en laminar y/o masiva, conduciendo a una drástica disminución de la permeabilidad (lenta a muy lenta, Imagen 13), tal como también se observa en el perfil edáfico de la Imagen 14, por la formación del horizonte E que se origina por degradación de la base del horizonte A por acumulación de agua de riego de calidad denominada “D” (Tablas 8 y 9) en el techo del horizonte Btss. Es de destacar que al implementar diferentes manejos en este suelo y con dicha agua D, los bulbos húmedos que se generan y las consecuencias en la salinidad-alcalinidad-encharcamiento son marcadamente diferentes (Imagen 15).



Imagen 13. Suelo Hapludert típico Serie Gorina en superficie: encostramiento, pérdida de estructura, y disminución de la permeabilidad

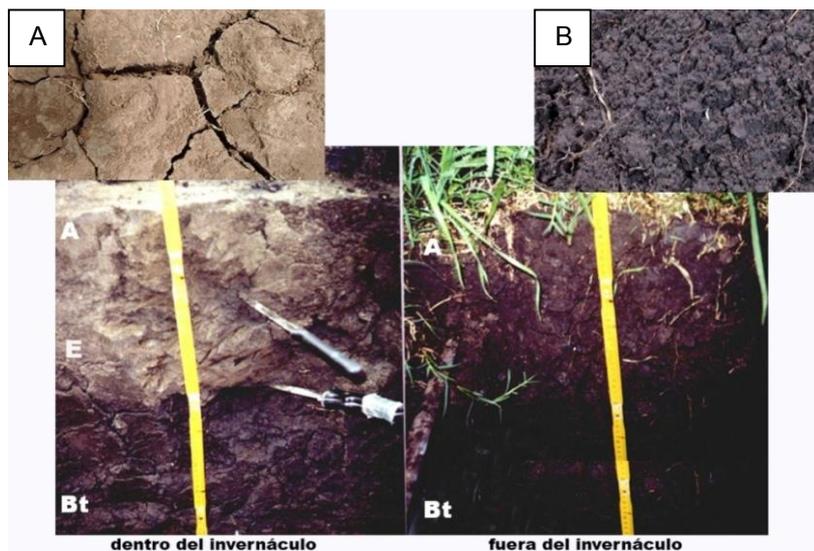


Imagen 14. Perfil de suelo Hapludert típico bajo invernáculo. Horizonte A con estructura masiva y formación de horizonte E (A) vs. suelo a campo (B) (adaptado de Alconada Magliano, 2019a)



A. Mal manejo con halo salino; **B.** Con sales, compactación y encharcamiento ; **C.** Manejo ajustado a las condiciones del medio, sin sales (extraído de Alconada Magliano, 2019a)

Imagen 15. Bulbos húmedos del riego (izq a der; salinidad, encharcamiento y sin sales)

b) Química del suelo: se producen cambios en el pH, elevado contenido de algunos nutrientes, principalmente P, y deficiencias inducidas de otros debido al pH y/o interacciones iónicas con nutrientes en exceso.

Fósforo: se producen **hiperfertilizaciones**, normalmente se mide más de 200 ppm de P e incluso hasta 1000 ppm (Alconada *et al.*, 2000; Giuffre *et al.* 2004), siendo indicado suficiente para cultivos intensivos 30 ppm (Cadahia López, 1998). El agregado de este y otros nutrientes sin un adecuado control, favorecen otras deficiencias nutritivas.

Deficiencias inducidas: son frecuentes las **deficiencias inducidas de Ca^{+2}** (Blossom end rot) en el cultivo de tomate y pimiento protegido de la región (Imagen 16), y si bien son diversos los motivos por los cuales el Ca^{+2} disminuye en su contenido, disponibilidad y movilidad, tiene un rol importante el exceso de otros nutrientes (Cadahia López, 1998). Como se comentó, los suelos en su condición natural son ricos a muy ricos en Ca^{+2} (Hurtado *et al.*, 2006). Asimismo, es frecuente que se agreguen **micronutrientes**, que son aplicados conforme se indican desde empresas comerciales. Al respecto se destaca lo señalado por Alpi y Tognoni (1991) sobre las interacciones nutritivas que se producen en los cultivos intensivos, situación que es favorecida al agregar nutrientes sin un adecuado control en tipo, calidad, y dosis. Este último autor, indica

también, que no son frecuentes las **deficiencias de micronutrientes** en suelos ricos en materia orgánica, tal como lo son estos suelos en su condición natural. Cabe destacar, que la elevación de pH que se produce en estos sistemas productivos, incide en la disponibilidad de nutrientes, particularmente en los micronutrientes (Porta et al., 1994).



Imagen 16. Deficiencias inducidas de Ca^{+2} (Blossom end rot) en el cultivo de tomate y pimiento protegido de la región

Origen de las degradaciones

Se inician las degradaciones edáficas al no considerar las **características naturales del suelo y del agua de riego**, que si bien varían dentro de la región del Gran La Plata, presentan características físico-químicas generales que condicionan el manejo. Prevalcen los suelos imperfectamente drenados y el agua de riego *bicarbonatada sódica*, por lo cual el balance de sales que resulta de la interacción suelo-agua tiende a la salinización, alcalinización y elevación del pH edáfico, siendo agravado por el aporte de sales proveniente de la elevada aplicación de fertilizantes y abonos orgánicos sin control y sin una calidad adecuadamente definida.

Al poco tiempo de iniciada la producción intensiva, aumenta el *pH*, la *salinidad* y *alcalinidad* en forma variable, dependiendo del manejo que se realiza. La *alcalinización se aprecia por compactaciones* del suelo (Imágenes 14 y 15), y la *salinización por halos o sectores de color blanquecino* (Imagen 15). Ambos procesos generan un ambiente desfavorable para las plantas (toxicidad, sequías fisiológicas) y de la microflora y fauna benéfica del suelo, propiciando el desarrollo de los microorganismos patógenos debido principalmente al anegamiento.

Las prácticas que *aportan sales* al suelo son: el *riego*, *fertilizantes de síntesis*, y *enmiendas orgánicas e inorgánicas*. La magnitud depende del *tipo y dosis de fertilizantes y abonos*, así como, del *manejo del suelo y del riego*.

Uso de fertilizantes: Magallón *et al.* (2001) señalan que en zonas de horticultura intensiva observan una drástica disminución de la producción y hasta abandono de las tierras asociado a la salinización debido al empleo de fertilizantes sin criterios técnicos ajustados al tipo de suelo

y cultivo. Cabrera *et al.* (2007) indican también, que el uso elevado de fertilizantes favorece la ocurrencia de desequilibrios nutricionales, generan cambios en la reacción del suelo, salinización, alteración de la microflora y fauna edáfica, contaminación de napas freáticas y contribuye al calentamiento global por liberación de gases nitrogenados a la atmósfera. Esto es común a lo observado en la región de La Plata (Alconada y Huergo, 1998; Alconada Magliano *et al.*, 2018b). La salinidad que aportan los fertilizantes (Índice salino) puede ser fácilmente consultada en la bibliografía nacional e internacional (Cadahia López, 1998; Santos Coello y Ríos Mesa, 2016; Profertil, 2020). Sobre la presencia de contaminantes y metales pesados en fertilizantes se destaca la publicación de Malavolta (1994).

Abonos orgánicos de origen animal: los abonos utilizados en la región, materiales, compostados, lombricompuestos y estiércoles sin compostar se analizan en Alconada Magliano *et al.* (2018b). Dependiendo su origen aportan diferentes cantidades de sales, nutrientes, contaminantes y/o microorganismos de variado tipo, destacándose los patógenos en estiércoles sin compostar. La salinidad-alcalinidad es muy variable aunque siempre elevada, así como las dosis que normalmente se agregan en la región (aprox. 30/40 t.ha⁻¹.año⁻¹). Larrieu *et al.* (2019) midieron una salinidad en el estiércol de pollo en cama de cáscara de arroz de 23,6 dS.m⁻¹ y 13,5 dS.m⁻¹ cuando dicho material fue compostado. Cabe destacar que los materiales de origen animal no son buenos formadores de humus, este se forma principalmente a partir de materiales de origen vegetal siendo el aporte proveniente de las camas “a priori” poco significativo (Labrador Moreno, 1996; Gallardo Lancho, 2016).

Las mejoras temporales que pueden observarse al agregar grandes cantidades de abonos orgánicos, tal como estiércoles de cama de pollo fresco o con escasa maduración, muy posiblemente se deba a la cama del estiércol (cáscaras, afrecho), remoción del suelo y al aporte de un material voluminoso. Debe considerarse, que si bien muchos de los nutrientes que contienen son benéficos estos se suman al aporte total que se le suministra al cultivo a partir del fertirriego y del suelo, favoreciéndose los desbalances nutritivos mencionados.

Otras enmiendas inorgánicas y “bioestimulantes”: no obstante se reporta el efecto benéfico del agregado de una amplia variedad de productos de origen vegetal, animal o mineral, deben conocerse no sólo las características de los productos sino también las del suelo a tratar. Por ejemplo, entre las enmiendas inorgánicas ampliamente recomendadas para suelos con excesos de Na⁺ se destaca el **yeso**. En relación a este, debe considerarse que varía su calidad, pudiendo ser fuente de Na⁺ y aportar bajo nivel de Ca⁺² (Magra y Ausilio, 2003). Asimismo, es necesario garantizar condiciones de drenaje a fin de que efectivamente se produzca un intercambio de Na⁺ por Ca⁺² (Alconada Magliano, 2020b). Consecuentemente, si bien no se invalida su uso, debe ser adecuadamente establecida su pertinencia. En la región, Cuellas (2015) no encontró efectos mejoradores significativos en un suelo *Hapludert* típico degradado con agregado de yeso agrícola.

Son de destacar también en la región, los productos que se comercializan como “**ácidos húmicos**”, y que se incluyen en el concepto de “*bioestimulantes*”. Estos presentan una muy variada salinidad y alcalinidad. En un ensayo reciente, efectuado con un producto que se co-

mercializa en la región de La Plata, se midió: 6,74 de pH y 58,4 dS.m⁻¹ de CE; sin embargo, en el marbete del mismo se indicaba: pH 8,7 y CE 2,53 dS.m⁻¹. No hubo mejoras en la producción. Consecuentemente, se detectó una inexactitud en la calidad y eficiencia promocionada, con un incremento injustificado en los costos (inédito).

Manejo del suelo: se destaca la *falta de rotaciones* que favorece el desarrollo de enfermedades, plagas y pérdida de materia orgánica; el *laboreo del suelo* que rompe la estructura hasta llegar a extremos de su pulverización, y en ocasiones, hasta se inunda el sitio previo al laboreo. En todos los casos se favorece la compactación, amasado, pérdida de materia orgánica e improductividad del suelo. En la Imagen 17 se presenta un invernáculo con el suelo muy degradado, preparado para plantar tomate en lomos totalmente pulverizados.



Imagen 17. Vista general del invernáculo preparado para la plantación de tomate, con detalle de lomos con el suelo pulverizado

Agua de riego: la calidad del agua de riego si bien, como se indicó, varía en la región, prevalecen las bicarbonatadas sódicas (Tabla 8 y 9). Esto conduce a un aumento de Na⁺, pH y una disminución del Ca⁺² (balance de sales conduce a la **alcalinización** del suelo) (Pizarro, 1978; Alconada Magliano, 2020b). Consecuentemente, disminuye el Ca⁺² para el consumo de las plantas y como para asegurar una adecuada circulación del aire y agua edáfica. El Ca⁺² flocula las partículas del suelo y asegura una buena estructura y porosidad; por el contrario, el Na⁺ dispersa la estructura, se compacta, se acumula el agua y se favorecen otros procesos degradativos (Alconada Magliano, 2020b). Respecto al aumento de sales en el suelo (**salinización**), aún cuando el agua posea baja concentración, se va acumulando con los sucesivos cultivos. La agricultura con riego conduce a la alcalinización y salinización de los suelos en todo

el mundo, **su control depende** del tipo de suelo y agua, y **principalmente del manejo** (Pla Sentis, 2014). En relación al **sistema de riego en la región**, si bien prevalece por goteo, que es un sistema eficiente, este con frecuencia es realizado sin un control conforme las exigencias del cultivo y la retención del suelo. El exceso de agua si bien favorece la lixiviación de nutrientes, en los suelos del Gran La Plata, esto se produce principalmente con el N (NO_3 en agua subterránea), siendo el efecto negativo más importante en los suelos la formación de una “*napa colgada*” en el techo del Btss que favorece la formación del horizonte E (Imagen 14), y en su superficie el encharcamiento (Imagen 15).

Sobre la **evaluación de la calidad del agua de riego**, se destaca que el uso de los criterios establecidos en el Manual 60 (Richards *et al.*, 1954; Richards, 1973) no es un criterio válido actualmente (Porta *et al.*, 1994), y sin embargo, sigue utilizándose y conduciendo a errores de interpretación sobre el efecto del agua en el suelo y sobre el manejo. Un criterio adecuado es el de Ayres y Wescot (1987), y para una mayor precisión el de Pla Sentis (2014), utilizando el Modelo SALSODIMAR, ambos criterios consideran las condiciones del suelo. Estos temas son analizados con mayor detalle en Alconada Magliano (2020b).

Los **motivos** por los cuales se agrega una **elevada cantidad de fertilizantes y abonos** en general y particularmente de P pueden sintetizarse así: 1) elevar la *situación inicial deficitaria de P* de los suelos, y propiciar un nivel nutritivo para cultivos exigente, sin embargo, se continua agregando con un criterio de “*recetas*” incluso desarrolladas para otros sistemas productivos (hidroponía, enarenado), en reemplazo del balance de nutrientes suelo-planta; 2) al aumentar la *salinidad-alcalinidad* y procesos asociados, principalmente pérdida de permeabilidad, incidencia de plagas, etc., disminuye el rendimiento y se intenta *revertir* con mayor agregado de *fertilizantes de síntesis*, práctica que resultó ineficiente en estudios de la región y otras partes del mundo (Sainju *et al.*, 2003; Amma y del Parco, 2007; Mollinedo *et al.*, 2007; Hochmuth y Cordasco, 2008; Alconada *et al.*, 2011); 3) el *aumento de pH* que en algunas combinaciones suelo-agua se produce, se intenta controlar con el agregado de *ácido fosfórico*, no obstante haber sido demostrado inconducente para disminuir el pH (INPOFOS, 2004; Poncetta *et al.*, 2006; Alconada *et al.*, 2011), 4) agregado de *abono orgánico de origen animal* a fin de mejorar el drenaje, siendo una práctica que no conduce a una mejora efectiva de la permeabilidad (Ungaro, 2017).

Consecuencias

La elevada cantidad de insumos y prácticas de manejo que se realizan en estos sistemas intensivos, sin una adecuada caracterización de dichos insumos y prácticas, y sin establecer causa-efecto de todos los procesos que se producen. Esto conduce a que con frecuencia la evaluación del resultado de alguna practica/insumo en particular, no pueda ser atribuida con precisión a dicha práctica, y/o sólo tiene un efecto temporal. No se revierte la pérdida de productividad por agregado de mayor número y tipo de insumos, porque no se aborda el origen de los problemas de estos sistemas productivos (pérdida de permeabilidad, salinidad, alcalinidad, hiperfertilización). El mayor uso de insumos sin control, aumenta los costos, disminuye el mar-

gen bruto y se contaminan los productos de cosecha y el ambiente en general, principalmente el agua de consumo humano (Auge, 2005).

Pueden entonces sintetizarse las principales consecuencias de las degradaciones observadas que se asocian a las prácticas que intentan revertir la disminución en producción: 1) con frecuencia no se revierte la disminución de *rendimientos*; 2) se *agudizan problemas* que se intentan solucionar; 3) aumentan los *costos* por mayor uso de agroquímicos e insumos; 4) disminución del *beneficio económico*, 5) *contaminación* del ambiente y de los productos de cosecha, particularmente por nitratos. Por lo expuesto, las consecuencias del mal manejo de los suelos, agua e insumos, se suman y/o vinculan a la problemática socio-económica y político-administrativa de la región (Mierez y Vega, en Alconada Magliano *et al.*, 2018b).

Recomendaciones de manejo

Puede indicarse que las practicas de manejo deben tender a controlar las condiciones de dotación (nutrientes disponibles) y de abastecimiento (pH, salinidad, alcalinidad y drenaje).

Nutrición: Los suelos de la región del Gran La Plata que se incorporan a la producción intensiva *necesitan ser enriquecidos en fósforo* paulatinamente sin llegar a superar aproximadamente las 40 a 50 ppm de P por Bray Kurtz I, dependiendo del sistema productivo y cultivo. Posteriormente, sólo se requieren *dosis de mantenimiento*, al igual que para el resto de los nutrientes. Debe *restablecerse el balance que naturalmente tienen los suelos*, con elevado contenido de Ca, N, S, K, materia orgánica, micronutrientes, etc., y efectuar ajustes conforme al cultivo y la evolución del suelo en producción. A fin de establecer la necesidad de fertilización (tipo, frecuencia, dosis), debe realizarse un *balance* entre el *potencial de rendimiento* del cultivo, *disponibilidad de los nutrientes en el suelo*, y los *aportes que se realizan por otras vías*, tal como agua de riego, abonos inorgánicos y orgánicos. La distribución del total de nutrientes necesarios para un suelo, cultivo y sistema productivo, debe programarse conforme al ciclo fenológico (dosis fraccionadas), siendo esto particularmente factible de realizar en sistemas con fertirriego, tal como prevalece en el Gran La Plata. En todos los casos debe controlarse el *aporte de sales y pH* que generan los fertilizantes, seleccionar fuentes compatibles, y que el exceso de algunos nutrientes impidan la disponibilidad de otros por *interacción iónica* (competitiva, no competitivas, sinergismos y antagonismos) (Malavolta *et al.*, 1989).

Al respecto, por ejemplo, Alpi y Tognoni (1991) en cultivos intensivos, señalan diferentes tendencias: 1) carencias de Fe en suelos ricos en Ca, Cu, Mn; 2) excesos de NO₃ se asocian a carencias de Mo y Zn; 3) excesos de P se vinculan con deficiencias de Zn y Fe; y 4) carencias de Zn pueden favorecer acumulaciones de Fe, Mn, NO₃ y PO₄ en hojas. Sin embargo, si bien deben tomarse en consideración, no puede generalizarse para todos los sitios, en todos los casos, deben conocerse las condiciones bajo las cuales se obtienen los resultados (cultivo, suelo, manejo, clima), y establecer las posibles relaciones con el problema a resolver o evitar. Así por ejemplo, en la región en estudio se observan cambios en la dinámica y contenido de

nutrientes según las técnicas de desinfección del suelo que se implementen (Alconada, 2004; Cuellas *et al.*, 2019) o por la instalación de sistemas de drenaje (Cuellas, 2015; Cuellas y Alconada Magliano, 2018a,b).

Es amplia la bibliografía relativa al *diagnostico de la fertilidad edáfica* (dotación), *nutrición de los cultivos en general*, y de los *cultivos hortícolas* en particular. Pueden consultarse diversas fuentes tales como Malavolta (1987); Domínguez Vivancos (1989); López Ritas y López Melida (1990); Alpi y Tognoni (1991); Malavolta *et al.* (1997); Cadahia López (1998); Havlin *et al.* (1999), Mengel y Kirkby (2000); Bertsch (2003); existiendo diversos manuales que sintetizan las principales prácticas de manejo de la fertilidad tal como FAO (2013). Asimismo, se destaca mucha bibliografía por cultivo, por ejemplo en el cultivo de tomate puede indicarse Letard *et al.*, (1995); Nuez Viñals (1999); Benton Jones (2007); Escobar y Lee (2009); García y Correndo (2016). Sobre micronutrientes en general puede consultarse a Loué (1988); Malavolta (1994); Ratto (2005); Malavolta (2012) y Ortega y Malavolta (2012), entre otros. En Alconada Magliano *et al.* (2018a) se analiza este punto de nutrición de los cultivos en general, y se incluyen, entre otros, algunos de los aspectos destacados por los autores mencionados.

Asimismo, en Alconada Magliano (2020a) se sintetizan algunas interpretaciones de variables del suelo, extraídas de diversas fuentes. En este punto, es de destacar que si bien con fines de abonado suele ser suficiente el estudio del sector del suelo que exploran las raíces, que en la región de estudio en su condición natural, varía entre 22 y 30 cm (horizonte A), es también posible que en algunos perfiles los cultivos extraigan nutrientes de los horizontes AB o BA (aproximadamente 10 cm de espesor). Sin embargo, cabe indicar que no deben muestrearse en forma conjunta, y que en condiciones de suelo degradado el horizonte superficial suele disminuir significativamente, tal como se presenta en la Imagen 8 (sector de raíces sólo 10 cm). No obstante esto, desde el punto de vista de manejo del suelo y del riego, es también importante que se conozcan las características del perfil edáfico. El suelo se vincula con el *agua subterránea*, con otros suelos y elementos del paisaje. Consecuentemente, todo lo que se hace en superficie incide en profundidad y a su vez determina que efectivamente el suelo continúe siendo apto para los cultivos, así como, que el agua subterránea continúe siendo potable para el hombre.

Abonos orgánicos de origen animal: tal como *estiércoles en diferentes camas*, deben estar estabilizados y maduros, asegurando su inocuidad biológica y controlando el aporte de elementos *contaminantes, sales, pH y nutrientes*. Los *compost y lombricompostos* elaborados a partir de diferentes materiales pueden ser una alternativa válida si se controla su calidad y la cantidad aplicada, incluso en reemplazo de fertilizantes de síntesis. Lanfranco en Alconada *et al.* (2018a,b) analiza en detalle el manejo de enmiendas orgánicas. Ungaro (2017); Larrieu *et al.* (2019) y Vescovo (inédito), presentan algunos resultados con materiales sin compostar y compostados en cultivo de tomate protegido en la región.

Riego: La frecuencia y caudal de riego debe ajustarse al momento fenológico del cultivo, características productivas y tipo de suelo (Escobar y Lee, 2009). Evitar pérdidas de agua desde los sistemas de riego y/o excesos de riego que favorezcan sectores encharcados y con esto, el desarrollo de algas, moho, plagas y enfermedades. Si bien, en líneas generales debe mante-

nerse el contenido de agua próximo a la capacidad de campo, debe asegurarse que el bulbo húmedo generado por los goteros tenga una dimensión suficiente como para evitar que en el caso de la presencia de sales estas lleguen a la base de la planta. Sin embargo, cabe reafirmar que es posible que las sales no se acumulen si es que se asegura el drenaje y se controla el aporte de sales (Imagen 15). Al respecto, la bibliografía recomienda agregar, en periodos definidos, una fracción de agua suficiente para lavar sales (fracción de lixiviación de sales) (Richards *et al.*, 1954), en los suelos de la región por la presencia del Btss (Imagen 11) esta práctica no resulta en general efectiva, situación que se agrava cuando se forman perfiles degradados (Imagen 14). En tales casos, se requieren mejoras en el drenaje.

Mejorar la estructura, aumentar la profundidad efectiva y la permeabilidad (drenaje): se posibilita una adecuada estructura en los suelos del área con contenidos de materia orgánica que en general no sean inferiores a 4%. Para esto se requiere: *rotación de cultivos, abonos verdes y/o residuos vegetales secos y laboreos* que se adecuen al suelo. Si se ha llegado a una situación donde la dureza del suelo dificulta la preparación del terreno, humedecerlo en forma paulatina y/o permitir la entrada de agua de lluvia, evitando inundarlo ya que esto conduce a una mayor compactación, es como batir y amasar el suelo. Asimismo, resulta adecuado realizar *labores verticales* y *evitar una roturación excesiva* del suelo. Estas alternativas de manejo además de incorporar materia orgánica capaz de formar humus han sido ensayados con éxito en el control de plagas y enfermedades (Alconada Magliano *et al.*, 2018b; Cuellas *et al.*, 2018; Cuellas, 2019).

En la Imagen 18 se comparan diferentes manejos de un *Argiudol vértico* en 2 invernáculos contiguos: a y b) diferentes tipos de abonos verdes, control de fertilización, rotaciones, laboreo con cincel, y c) laboreo intensivo, pulverizando el suelo conforme se suele realizar en la región.



Imagen 18. Suelo *Argiudol vértico* en invernáculos contiguos con tres tipos de manejo. Laboreo y prácticas de recuperación (abonos verdes, rotaciones) (A y B). Pulverización del suelo (C)

Como prácticas ensayadas en la región con éxito para aumentar la profundidad de enraizamiento (profundidad efectiva) y mejorar la circulación del agua se indican: **drenes de PVC**, laboreo con **subsulado**, y en menor medida con **cincel** (Alconada Magliano *et al.*, 2018b). En los casos en que la acumulación de sales se ha producido y/o las condiciones productivas aportan sales pueden instalarse **drenes subsuperficiales** en el horizonte más arcilloso (Btss) ubicado en la región a aproximadamente 20-30 cm de profundidad (Imagen 11). Con estos drenes se impide que se acumule agua en superficie y el ascenso de sales cuando se seca el suelo entre dos riegos consecutivos. En Imagen 19 se presenta el dren ensayado en el suelo *Hapludert típico*. En Alconada Magliano *et al.* (2018b), Cuellas (2015) y Cuellas (2019) se presenta el detalle de instalación de estos drenes y los promisorios resultados que se obtienen cuando estos son adecuadamente instalados (pendiente, profundidad, material filtrante). Respecto al uso de **cincel y subsulado**, son labores verticales que permitieron en la región aumentar la profundidad efectiva al disminuir la densidad aparente, mejorar el almacenamiento de agua, y aumentar la productividad, siendo más efectivo el uso del subsulado (Cerisola en Alconada Magliano *et al.*, 2018b).



Imagen 19. Drenes instalados en el techo del horizonte Btss cubiertos con piedra granítica y detalle del dren con uso de nivel para mantener pendiente

El **enyesado** es también una práctica habitual en la región, y si bien puede producir mejoras temporales (Cuellas, 2015), en general, las dosis son insuficientes para el objetivo propuesto (reemplazar Na^+ por Ca^{+2} y mejorar la estructura), debiéndose además, mejorar la permeabilidad subsuperficial para asegurar su eficiencia. En la Imagen 20 se presenta un detalle del suelo superficial de un *Hapludert típico* en 3 situaciones: drenes, drenes más yeso con ligera acumulación de sales, respecto al suelo del invernáculo vecino con manejo tradicional y sin drenes.

Se destaca, la pertinencia de ensayar el agregado de *yeso en el agua de riego* en bajas concentraciones, asegurando un adecuado balance de nutrientes. Actualmente en la región está siendo probada la efectividad del **yeso líquido**, el cual se haya disponible en el mercado para su uso en sistemas de riego por goteo (E.E. Julio Hirschhorn, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, inédito).



Imagen 20. Efecto en el suelo de los drenes (A). Drenes más yeso (B) vs. invernadero vecino con manejo tradicional sin drenes (C)

Consideraciones finales

A fin de decidir las prácticas de manejo en sistemas intensivos, se requiere efectuar un análisis de las condiciones del suelo, agua y cultivo, estableciendo la pertinencia de los ensayos y recomendaciones efectuadas por la bibliografía nacional e internacional. El traspaso de prácticas efectuadas para otros sitios no resulta adecuado si no se ajustan y analizan para las condiciones de la región.

Referencias

- Alconada Magliano, M. (4 de junio de 2020a). Interpretación de perfiles edáficos como parte de un paisaje a fin de definir manejos sustentables. *Aula Virtual Edafología, FCyF. UNLP*. Recuperado de: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35474/mod_resource/content/1/GUIA%20DE%20INTERPRETACION%20DE%20PERFILES.pdf.
- Alconada Magliano, M. M. (2019). Suelos afectados por sales en sistemas productivos protegidos, agua de riego y manejo productivo. En: H. Rimski-Korsakov y R. S. Lavado (Comp.), *Actas VI Congreso de la Red Argentina de Salinidad* (pp. 140-145). Buenos Aires: RAS. Recuperado de: <http://share.agro.uba.ar/d/XhzRkgJe2Sb>.
- Alconada Magliano, M. M. (2020b). Suelos salinos y sódicos. En: M. M. Alconada Magliano y J. W. Lanfranco (Eds.), *Suelo en el paisaje. Parte II Condiciones de abastecimiento* (pp. 74-137). La Plata: Edulp. Recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/96774>.
- Alconada Magliano, M. M., Cuellas, M. V., Poncetta, P., Barragán, S., Inda, E. y Mitidieri, A. (2011). El cultivo de tomate protegido: I-Nutrición nitrogenada. Efectos en el suelo y la producción. *Horticultura Argentina*, 30 (72), 5-13.

- Alconada Magliano, M. M., Lanfranco, J. W. y Pellegrini, A. E. (2018a). *Suelo en el Paisaje. Parte I. Condiciones de dotación*. La Plata: Edulp. Recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/96774>.
- Alconada Magliano, M. M., Martínez, S. B. y Garbi, M. (2018b). *Producción intensiva florícola hortícola sustentable en el Gran La Plata*. La Plata: Edulp. Recuperado de: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73390>.
- Alconada, M. 2004. *Desinfección del suelo con vapor: efectos sobre la nutrición de los cultivos*. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Alconada, M. y Huergo, L. (1998). Degradación de suelos con cultivos protegidos: Tomate. Influencia de la calidad de agua de riego. En: *I Reunión de Producción Vegetal*. San Miguel de Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán.
- Alconada, M., Giuffrè, L., Huergo, L. y Pascale, C. (2000). Hiperfertilización con fósforo de suelos Vertisoles y Molisoles en cultivo de tomate protegido. En: *Avances en Ingeniería Agrícola 1998-2000* (pp. 343-347). Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía.
- Alconada, M.; Zembo, J. C. y Mórtoła, N. (2000). Influencia cualitativa del riego con aguas subterráneas en suelos con producciones intensivas a campo y en invernáculo. En: *Anais do 1er Joint World Congress on Groundwater*. Fortaleza: IAH. Recuperado de: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/23488-85108-1-PB%20\(1\).PDF](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/23488-85108-1-PB%20(1).PDF).
- Alpi, A. y Tognoni, F. (1991). *Cultivo en invernadero*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Amma, A. T. y del Parco, C. K. (2007). Efecto de la aplicación de dosis crecientes de potasio sobre el rendimiento y calidad de tomate cultivado en invernadero. II. Tomate redondo común. En: M. Garbi (Comp.) y R. Andreau (Coord.), *Actas 30º Congreso Argentino de Horticultura, 1º Simposio Internacional sobre Cultivos Protegidos*. (p. 90). La Plata: ASAHO.
- Auge, M. P. (2005). Hidrogeología de La Plata, Argentina. En: R. E. de Barrio, R. O. Etcheverry, M. F. Caballe y E. J. Llambias (Eds.), *XVI Congreso Geológico Argentino: Relatorio, Geología y recursos minerales de la Provincia de Buenos Aires* (pp. 293-312). La Plata: UNLP-Asociación Geológica Argentina.
- Ayers, R. S. y Westcot, D. W. (1987). *Calidad del agua en la agricultura*. Roma: FAO.
- Benton Jones, J. (2007). *Tomato plant culture. In the field, greenhouse, and home garden*. London: CRC Press.
- Bertsch, F. (2003). *Absorción de nutrientes por los cultivos*. San José: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Cabrera, A., Arzuaga, J. y Mojena, M. (2007). Desbalance nutrimental del suelo y efecto sobre el rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de cultivo protegido. *Cultivos Tropicales*, 28(3), 91-97.
- Cadahia López, C. (1998). *Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Cuellas, M. V. (2015). *Control de la salinización del suelo mediante sistemas de drenes en producciones intensivas de cultivos bajo cubierta*. (Tesis Magister Sc en Ciencias del Suelo). Recuperada de: FAUBA DIGITAL.

- Cuellas, M. V. (2019). Problemáticas de los suelos en producciones bajo cubierta del periurbano AMBA. En: H. Rimski-Korsakov y R. S. Lavado (Comp.), *Actas VI Congreso de la Red Argentina de Salinidad* (pp. 140-145). Buenos Aires: RAS. Recuperado de: <http://share.agro.uba.ar/d/XhzRkgJe2Sb>.
- Cuellas, M. V. y Alconada Magliano, M. M. (2018a). Drenos subsuperficiales: control de la salinización edáfica, en producciones intensivas bajo cubierta. *RIA*,44(1), 60-69.
- Cuellas, M. V. y Alconada Magliano, M. M. (2018b). La nutrición del cultivo de pimiento protegido con prácticas de drenaje. *Revista Facultad de Agronomía*,117(1), 117-125.
- Cuellas, M., Amoia, P. y Delmazzo, P. (2018). Abonos Verdes: ensayo en el Cinturón hortícola del Gran La Plata. *Boletín Manejo de los suelos hortícolas*,IX. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_boletin_suelo_9.pdf.
- Cuellas, M., Amoia, P. y Delmazzo, P. (2019). Efecto de diferentes tratamientos de desinfección del suelo sobre las propiedades edáficas. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences. Ex Agro-Ciencia*,35(1), 26-37.
- Domínguez Vivancos, A. (1989). *Tratado de Fertilización*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Escobar, H. y Lee, R. (Eds.). (2009). *Manual de producción de tomate bajo invernadero*. Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- FAO. (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i3361s.pdf>.
- García, F. O. y Correndo, A. (2016). Cálculo de Requerimientos Nutricionales – Versión 2016. *IPNI Canada*. Recuperado de: <http://lacs.ipni.net/topic/nutrient-requirements>.
- Gallardo Lancho, J. (2016). Materia orgánica del suelo. Residuos orgánicos, humus, compostaje y captura de carbono. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental (España) y Orientación Gráfica Editora (Argentina).
- Giuffré, L., Alconada, M., Pascale, C. y Ratto, S. (2004). Environmental impact of phosphorus overfertilization in tomato greenhouse production. *Journal of Applied Horticulture*,6(1), 58-61.
- Havlin J., Beaton, J., Tisdale, S. y Nelson, W. (1999). *Soil fertility and fertilizers. An Introduction to nutrient management*. USA: Pearson.
- Hochmuth, G. y Cordasco, K. (2008). A summary of N, P, and K research with tomato in Florida. University of Florida. Recuperado de: <https://edis.ifas.ufl.edu/cv236>.
- Hurtado, M., Giménez, J., Cabral, M. et al. (2006). *Análisis ambiental del partido de La Plata. Aportes al ordenamiento territorial*. Buenos Aires: Consejo Federal de Inversiones.
- INPOFOS. (2004). El fósforo y el potasio en los sistemas de fertirrigación. La calidad del agua para riego en los sistemas de goteo. México & Northern Central America. Potash & Phosphate Institute. Recuperado de: <http://www.ppi-far.org/ppiweb/mexnca.ns/>.
- Labrador Moreno, J. (1996). *La materia orgánica en los agrosistemas*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Larrieu, L., Cuellas, M., Pellegrini, A. E. y Alconada Magliano, M. M. (2019). Enmiendas orgánicas sobre el suelo y cultivos hortícolas protegidos. En: H. Rimski-Korsakov y R. S. Lavado (Comp.), *Actas VI Congreso de la Red Argentina de Salinidad* (pp. 303-308). Buenos Aires: RAS. Recuperado de: <http://share.agro.uba.ar/d/XhzRkgJe2Sb>.

- Letard, M., Erard, P. y Jeannequin, B. (1995). *Maitrise de l'irrigation fertilisante. Tomate sous serre et abris en sol et hors sol*. Paris: CTIFL.
- López Ritas, J. y López Melida, J. (1990). *El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Loué, A. (1988). *Les oligo-elements en agriculture*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Magallón, J., Tremont, O. y Rodríguez, N. (2001). Efectos del uso de un vermicompost sobre las propiedades biológicas y químicas de los suelos degradados por sales. *Venesuelos*,9(1-2), 48-56.
- Magra, G. y Ausilio, A. (2004). *Yeso agrícola: algunas características de diferentes productos existentes en el mercado*. Rosario: Facultad de Ciencias Agrarias.
- Malavolta E. (2012). Relaciones entre fósforo y zinc. *Información Agronómica*,63, 12-13.
- Malavolta, E. (1994). *Fertilizantes e seu impacto ambiental. Micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos*. São Paulo: Produquímica Indústria e Comércio Ltda.
- Malavolta, E. 1987. *Manual de calagem e adubação das principais culturas*. São Paulo: Agronômica Ceres.
- Malavolta, E., Vitti, G. C. y de Oliveira, S.A. (1997). Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS.
- Malavolta, E., Vitti, G. C. y De Oliveira, S. A. (1989). *Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e Aplicações*. São Paulo: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato.
- Mengel, K. y Kirkby, E. A. (2000). *Principios de nutrición vegetal*. Basilea: Instituto Internacional de la Potasa.
- Mollinedo, V., Contini, A., Agüero, J. y Borquez, A. (2007). Efecto del aumento de la concentración de la solución de fertirriego en pimiento bajo invernadero, Famaillá (Tucumán) campaña 2006. En: M. Garbi (Comp.) y R. Andreau (Coord.), *Actas 30º Congreso Argentino de Horticultura, 1º Simposio Internacional sobre Cultivos Protegidos*. (p. 87). La Plata: ASAHO.
- Nuez Viñals, F. (1999). *El cultivo del tomate*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Ortega, A. E. y Malavolta, E. (2012). Los más recientes micronutrientes esenciales. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 7, 16-25.
- Pizarro, F. (1978). *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Pla Sentis, I. (2014). Advances in the prognosis of soil sodicity under dryland and irrigated conditions. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(4), 50-63.
- Poncetta, P., Alconada, M. y Lavado, R. (2006). Producción de tomate protegido en suelos decapitados con diferentes planes de fertirrigación. En: *XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y I Reunión de Suelos de la Región Andina* (p. 481-487). Salta: AACCS.
- Porta, J., López Acevedo, M. y Roquero, C. (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Profertil. (3 de junio de 2020). Fertilizantes y soluciones concentradas. Recuperado de: <https://www.profertilnutrientes.com.ar/archivos/fertilizantes-y-soluciones-concentradas>

- Ratto, S. E. (2005). Los microelementos en el sistema productivo. En: *Actas de la Primera Jornada Nacional de Micronutrientes: Diagnóstico y tecnología de fertilización*. La Plata: Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP; AACCS.
- Richards, L. A. (1973). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. México, D.F.: LIMUSA.
- Richards, L. A. (Ed.). (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. Washington: United States Department of Agriculture.
- Sainju, U. M., Dris, R. y Singh, B. (2003). Mineral nutrition of tomato. *International Journal of Food, Agriculture and Environment*, 3(1), 176-183.
- Santos Coello, B. y Ríos Mesa, D. (2016). *Cálculo de soluciones nutritivas en suelo y sin suelo*. Tenerife: Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife.
- Ungaro, S. (2017). *Evaluación de enmiendas orgánicas (compostadas y sin compostar) en las propiedades físicas y formación de humus en suelos Vertisoles y en el cultivo de tomate protegido (Lycopersicon esculentum)* (Tesis de grado). Recuperada de: SEDICI.

CAPÍTULO 4

Fenología y bioclimatología de los principales cultivos hortícolas

Mariana Garbi

Durante el transcurso de su ciclo biológico, los vegetales van atravesando por diversas fases que se identifican por la aparición, transformación o desaparición relativamente rápida de órganos. La observación sistemática y el registro de estos fenómenos periódicos son objeto de estudio de la fenología (Flores Gallardo *et al.*, 2016). En el cultivo de especies hortícolas, este proceso se inicia con la siembra y continúa con la emergencia y foliación, pudiendo mediar o no la etapa de trasplante. El ciclo se completa con la cosecha que puede realizarse en la fase vegetativa (hortalizas de hoja, raíz o bulbo) o continuar el proceso a través de las fases de floración, fructificación y maduración de los frutos, para cosechar el órgano comestible en fase reproductiva o coleccionar semillas (hortalizas de fruto o semilla) (Krug, 1997).

El ritmo con el que se manifiestan las diferentes fases, su duración (cantidad de días transcurridos entre comienzo y fin de fase) y energía (velocidad con que se produce una fase en relación a la duración promedio) están muy vinculados a las características genéticas del individuo, ambiente edafo-climático en el que se encuentra, forma de cultivo (a campo o invernadero), prácticas de manejo a las que se lo somete y a la interacción de todos estos factores. Esta relación entre los fenómenos periódicos de los vegetales y los factores mencionados destaca la importancia de hacer su seguimiento en base a las etapas fenológicas más representativas de la edad fisiológica del individuo, y no únicamente según la edad cronológica, comúnmente indicada como la cantidad de días después de la siembra o trasplante (Flores Gallardo *et al.*, 2016).

Dentro de las fases, para la definición de los momentos puede aplicarse el criterio propuesto por Pascale y Damario (2013c) para cultivos anuales, definiendo inicio, plenitud y fin de fase, según se trate de cultivos densos o ralos, que en horticultura va a depender fundamentalmente de la forma de iniciación de los cultivos.

- Cultivos densos: aplicable a cultivos sembrados en forma directa al voleo o en línea (siembra directa o trasplante), donde la individualización de plantas es dificultosa. En este caso, para la determinación de los momentos de fase, sobre la apreciación general se define: a. inicio de fase, cuando aparecen en el cultivo los primeros órganos, sucediéndose con otros en forma ininterrumpida; b. plenitud de fase: apreciación subjetiva

de que ese día han aparecido el máximo posible de los órganos de la fase a registrar; c. fin de fase: últimos órganos de la fase. Ejemplos de cultivos en los que podría aplicarse este criterio son: zanahoria (*Daucus carota* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.), espinaca (*Spinacia oleracea* L.), cebolla (*Allium cepa* L.)

- Cultivos ralos: aplicable a cultivos iniciados por trasplante o siembra directa por golpe, donde cada planta puede individualizarse. En este caso, pueden contarse las plantas y definir inicio, plenitud y fin de fase cuando aparecen los órganos en estudio en el 20%, 50% y 80% de las plantas, respectivamente. Este criterio fue adoptado por Guaymasí *et al.* (2018) para el registro de floración y fructificación en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), berenjena (*Solanum melongena* L.) y pimiento (*Capsicum annum* L.).

Respecto a la frecuencia de observación, la misma debe definirse en función del cultivo y los objetivos de estudio. Izarra Tito y López Ríos (2011) indican que las observaciones fenológicas deben realizarse día por medio, aumentando la frecuencia a todos los días en floración. Sin embargo, Damario y Pascale (2013b) expresan que las observaciones fenológicas que se realizan con fines bioclimáticos son más reducidas en cantidad que las necesarias en el estudio de la fisiología vegetal o la aparición de plagas o enfermedades.

El conocimiento de la fenología de los cultivos es una herramienta fundamental para interpretar la respuesta de las plantas a las condiciones ambientales y culturales, implementar técnicas de manejo integrado de plagas y enfermedades, al permitir prevenir la aparición de adversidades (correlaciones fenológicas) y programar diversas tareas como la polinización, fertilización o aplicación de hormonas, entre otras prácticas frecuentes en la horticultura (Moreno Pérez *et al.*, 2011; Pascale y Damario, 2013b). Por ejemplo, Maroto (1992) propone el criterio de observar la aparición de las primeras flores en el 40 a 50% de las plantas para iniciar la aplicación de hormonas para el cuajado de frutos en berenjena.

Desde el punto de vista de la bioclimatología, la definición y correcta identificación de las fases a observar son instancias fundamentales, dado que son indicadoras del cambio de exigencias meteorológicas de un cultivo. En contraposición, durante los subperíodos (lapsos transcurridos entre dos fases, en los cuales predomina el crecimiento de los tejidos vegetales), las necesidades o requerimientos se mantienen constantes. Cada subperíodo tiene exigencias bioclimáticas diferentes, siendo importante reconocer aquellos momentos del ciclo biológico donde las variaciones en un elemento meteorológico producen oscilaciones máximas en el rendimiento (períodos críticos) (Pascale y Damario, 2013a). De esta manera, la decisión acerca de las fases a observar y la delimitación de los subperíodos van a depender de los objetivos de estudio, pero también de los componentes del rendimiento de cada cultivo. En general, los cambios de fase son fácilmente identificables, pero hay otras variaciones, transicionales entre fases sucesivas, que pueden no resultar tan obvias y cuya observación es más incierta, como por ejemplo cambios de color en el follaje (Dambreville *et al.*, 2015), donde el conocimiento de la especie es importante para una observación más precisa.

Krug (1997) expone que para cuantificar la influencia del ambiente sobre la fenología de un cultivo, pueden utilizarse diversos modelos que dan una descripción explicativa de los procesos, siendo útil considerar ciertos criterios:

- En los periodos que se caracterizan por la prevalencia de procesos de aparición de órganos (manifestación de las fases), registrar la cantidad de órganos visibles (hojas, flores, frutos) en función del tiempo. De esta manera, propone el cálculo de una tasa que denomina “tasa de diferenciación”
- Identificar la cantidad mínima de órganos (por ejemplo, hojas) que una planta debe formar antes de avanzar hacia la fase reproductiva, delimitando así su fase juvenil. Este proceso asegura que la planta ha alcanzado el tamaño mínimo necesario para ser capaz de formar semillas durante el resto de su estación de crecimiento. Un ejemplo claro de esta etapa se da en tomate, especie en la que normalmente la primera inflorescencia aparece una vez que se han formado entre 6 y 11 hojas (Kinet y Peet, 1997). En lechuga (*Lactuca sativa* L.), el inicio de formación de la cabeza o acogollamiento se da cuando la planta ha formado 13 a 20 hojas, cantidad bastante constante que se mantiene aún en condiciones diversas de crecimiento. El momento de inicio del acogollamiento es crítico en la determinación del tamaño final de la planta (Wurr *et al.*, 1987; Wien, 1997a), aunque no implique directamente el cambio de la fase vegetativa a reproductiva. La finalización de la fase juvenil es específica para cada cultivar, siendo generalmente más corta en cultivares más precoces (Wiebe, 1990).
- En periodos en los que no se observa predominantemente la manifestación de fases o en los que hay una fuerte implicancia del crecimiento (emergencia, crecimiento de frutos), cuantificar el tiempo que la planta requiere para completar estos periodos, pudiendo medirse la eficiencia como el valor recíproco de su duración, tasa a la que denomina “de desarrollo” y que se relaciona linealmente con la temperatura.

La diversidad de especies que componen a las hortalizas determina que sus órganos de consumo sean estructuras morfológicas muy distintas, debiendo favorecerse al crecimiento de raíces: batata (*Ipomea batatas* Lam.), zanahoria; tallos: espárrago (*Asparagus officinalis* L.); tubérculos: papa; bulbos: cebolla, ajo (*Allium sativum* L.); hojas: lechuga, acelga (*Beta vulgaris* L. var. *cicla* L.), espinaca; pecíolo: apio (*Apium graveolens* L.); inflorescencia: alcaucil (*Cynara scolymus* L.), coliflor (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*), brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*); frutos: tomate, berenjena, maíz dulce (*Zea mays* L.), pimiento o semillas: haba (*Vicia faba* L.), poroto (*Phaseolus vulgaris* L.), lenteja (*Lens culinaris* L.), garbanzo (*Cicer arietinum*) (Chiesa, 2018), circunstancia que obliga a considerar fases que pueden ser propias de cada especie, según el caso.

Un recurso útil para la identificación de fases fenológicas para especies cultivadas en forma objetiva es la Escala BBCH cuya versión electrónica fue elaborada por Enz y Dachler (1998). Comprende una escala general y escalas individuales por especie, incluyendo numerosas hor-

talizas organizadas por familia, hábito de crecimiento u órgano de consumo. La escala general subdivide el ciclo completo de la planta en 10 fases principales, identificándolos de 0 a 9, desde la germinación, brotación y desarrollo de la yema, hasta la senescencia y comienzo de dormancia. Estas fases principales se subdividen (utilizando también números del 0 al 9) en estadios secundarios que podrían utilizarse para definir momentos de fase (puntos, estados o situaciones representativos dentro de cada fase), fácilmente identificables y visibles.

Las observaciones periódicas de un cultivo no solo requieren conocer cualitativamente su fenología, sino que también cuantificar cambios que no siempre se manifiestan en forma visible, como por ejemplo el tamaño, peso o cantidad de órganos, la producción de materia seca o sólidos solubles. Estas determinaciones, en las que generalmente debe recurrirse a mediciones físicas o químicas constituyen la Fenología cuantitativa o Fenometría (Pascale y Damario, 2013b) y resultan indispensables si se desea profundizar en la interpretación de la respuesta de la planta al entorno o aplicar distintos métodos de análisis de crecimiento (Imagen 21).



Imagen 21. Registros fenométricos. Altura de planta (A). Índice de verdor (B). Peso de fruto (C)

Para una mejor comprensión de la forma en que se van sucediendo las fases y subperiodos fenológicos, es necesario conocer los requerimientos y tolerancias meteorológicas de los cultivos, por lo que se desarrollará a continuación la acción de la radiación solar, la temperatura del aire y del suelo como principales elementos biometeorológicos que actúan sobre el crecimiento y desarrollo de las hortalizas.

Radiación solar

El crecimiento se vincula directamente a la radiación solar, por ser la fuente energética para la fotosíntesis. La tasa fotosintética depende de la calidad, intensidad o irradiancia y duración de la luz que recibe un vegetal. El flujo de radiación solar que alcanza la superficie terrestre está comprendido entre los 300 y 2500 nm, recibándose a nivel del mar un máximo de 900

$W.m^{-2}$ ¹. De este total, se asume que aproximadamente un 45% ($400 W.m^{-2}$) corresponden a las longitudes de onda ubicadas entre 400 y 700 nm, que poseen la energía adecuada para activar el sistema fotosintético (Castilla, 1999; Both, 2002; Fischer y Pérez, 2012), por lo que se la denomina “radiación fotosintéticamente activa”, mencionada muchas veces por sus siglas en inglés PAR (photosynthetic active radiation). A modo de ejemplo, en la ciudad de La Plata, Buenos Aires ($34^{\circ}58'S$, $57^{\circ}54'W$), mediciones de radiación global realizadas para los meses de noviembre, diciembre y enero arrojaron valores mensuales de entre 1008,3 y 1191,5 $MJ.m^{-2}$, reduciéndose entre 53 y 58% la cantidad que alcanzaba el interior de un invernadero tipo parral orientado de este a oeste (Somoza *et al.*, 2005).

La tasa fotosintética se incrementa con aumentos de la irradiancia hasta el punto de saturación lumínica, a partir del cual comienza a disminuir. El nivel de intensidad lumínica con el que se produce esta respuesta es variable entre especies. La mayoría de las especies C3, grupo en el que están comprendida las principales especies hortícolas cultivadas en la Argentina (a excepción del maíz), se saturan con niveles de radiación de alrededor de $800 \mu m.m^{-2}.s^{-1}$ (Ramos y Rallo, 1992); aunque Castilla (1999) indica que el nivel de radiación adecuado para alcanzar el punto de saturación se ubica en $400 \mu m.m^{-2}.s^{-1}$ durante 16 horas al día para especies C3 y en $500 \mu m.m^{-2}.s^{-1}$ o mayores para plantas con metabolismo C4.

La intensidad de la radiación incide también en la calidad visual, organoléptica y nutracéutica de los productos cosechados, favoreciendo la síntesis de pigmentos rojos (antocianinas y licopeno), mejorando el contenido de sólidos solubles, materia seca y fitonutrientes (Fischer y Pérez, 2012).

La radiación posee también un efecto fotomorfogénico, a través de pigmentos como los fitocromos que regulan diversos procesos como la germinación, inhibición de la elongación del hipocótilo, regulación del momento de floración, entre otros. Los fitocromos se activan con longitudes de onda de 600 a 700 nm (rojo) y 700 a 800 nm (rojo lejano). Algunas especies responden a intensidades de radiación muy bajas, como la del nivel de la luna ($0,01 \mu m.m^{-2}.s^{-1}$), aunque la mayoría posee requerimientos más elevados ($0,1$ a $1,5 \mu m.m^{-2}.s^{-1}$) (Castilla, 1999). Un ejemplo de esta respuesta está dado en la germinación de las semillas, que en algunas especies es estimulada por la exposición a la luz roja e inhibida por el rojo lejano. La dependencia de la luz para la germinación es mayor en semillas más pequeñas, que requieren una mayor relación rojo:rojo lejano; condición que se satisface sembrándolas a menos de 5 mm de profundidad (Castilla, 1999; Davis y Burns, 2016). La manipulación del espectro lumínico puede resultar útil para ciertas actividades. Por ejemplo, existen fotorreceptores sensibles a la luz azul, que entre otras funciones estimula la apertura de estomas. Su remoción del espectro que se provea a la planta puede contribuir a reducir la deshidratación, condición necesaria cuando se practican injertos (Davis y Burns, 2016).

¹ Unidades de conversión para luz solar: $100 \mu mol.m^{-2}.s^{-1}$ PAR (400-700 nm) = 520 pie-candela (radiación visible: 380-770nm) = 5600 lux (radiación visible: 380-770nm) = 48,3 $W.m^{-2}$ (radiación solar). $1 MJ.m^{-2} = 2,08 mol.m^{-2}$ PAR (Both, 2002)

Las especies hortícolas también presentan diversa respuesta al fotoperiodo, encontrando especies de día largo que para florecer requieren un periodo de luz superior a 12,5 horas, plantas de día corto, que florecen cuando la duración del periodo con luz es inferior al periodo oscuro e indiferentes, que florecen indistintamente de la cantidad de horas de luz diaria (Castilla, 1999). Entre las especies de día largo pueden mencionarse a la remolacha (*Beta vulgaris* L.) y a la espinaca, como plantas de día corto a algunos cultivares de papa y chauchas y como indiferentes a las solanáceas y cucurbitáceas.

Temperatura

Temperatura del aire

La temperatura del aire es una medida indirecta de la disponibilidad calórica del ambiente atmosférico con efecto sobre la velocidad de las reacciones químicas, solubilidad de metabolitos, estructura física y funcionalidad de las membranas celulares, tasas de fotosíntesis, respiración y transpiración (Alpi y Tognoni, 1991). A través de su acción positiva promueve el crecimiento y desarrollo vegetal, por lo que puede tomarse como un índice para interpretar los cambios en la masa y estructura por los que van atravesando las plantas a lo largo de su ciclo de vida (Pascale y Damario, 2013a; Parra-Coronado *et al.*, 2015).

Pascale y Damario (2013a), al abordar las modalidades bioclimáticas de distintos tipos de cultivos, proponen la siguiente clasificación para las hortalizas:

- **Microtermófilas:** especies cuya temperatura óptima se ubica entre 15 y 18 °C, con tolerancia a heladas suaves y susceptibles a temperaturas medias mensuales superiores a 20-22 °C: repollo (*Brassica oleracea* L.), remolacha, espinaca, habas. Especies como acelga, alcaucil, apio, coliflor, lechuga, zanahoria, perejil (*Petroselinum crispum*) se incluyen también en este grupo, siendo susceptibles a heladas cerca de su madurez (Chiesa, 2018)
- **Mesotermófilas:** crecen entre 20 y 25 °C, no tolerando heladas ni periodos prolongados de frío, siendo ejemplos de este grupo el maíz dulce (*Zea mays* var. *saccharata*), tomate, pimiento, zapallos (*Cucurbita* spp.), melón (*Cucumis melo* L.), porotos. Pueden incluirse aquí al ajo, cebolla y puerro (*Allium porrum* L.) que presentan menor exigencia térmica (15 a 25 °C) y son tolerantes a heladas.
- **Megatemófilos:** crecen adecuadamente con temperaturas superiores a 25 °C: berenjena, sandía (*Citrullus vulgaris* Schrad.), batata.

Más allá de los requerimientos y tolerancias de las distintas especies, la temperatura puede utilizarse para predecir la fenología de las plantas a través del cómputo de los grados-días necesarios para finalizar un determinado proceso de desarrollo o fase fenológica (Parra-

Coronado *et al.*, 2015). Como señalan Pascale y Damario (2013a) este índice tiene su origen en la idea planteada por Réaumur de que el calor tiene una acción aditiva en el desarrollo de las plantas, calculando la acumulación energética mediante el “método directo de suma de temperaturas”. Con el paso de los años, esta metodología se fue ajustando, considerando que no todas las temperaturas son igualmente efectivas para las plantas, sino que cada especie presenta una temperatura inicial de crecimiento distinta (temperatura base). A partir de restar a la temperatura media diaria la temperatura base se obtienen las temperaturas efectivas o residuales, denominándose “tiempo térmico” a la sumatoria de las temperaturas residuales. El método tradicional para este cálculo considera que los grados-día acumulados para el periodo considerado (GD) es igual a la sumatoria de las temperaturas medias (siendo Tmax y T min las temperaturas máximas y mínimas diarias), a la que se le resta la temperatura base (Tb) (Perry *et al.*, 1997).

$$GD = \frac{\sum(T_{max} + T_{min})}{2} - T_b$$

Maynard y Hochmuth (2007) presentan ejemplos de temperaturas bases para diversas especies hortícolas, pudiendo agrupárselas del siguiente modo:

- Temperatura base de 2 a 4,4 °C: cebolla, zanahoria, espárrago, remolacha, brócoli, repollos, lechuga, arveja
- Temperatura base de 7 a 10 °C: algunas cucurbitáceas (calabazas, zucchini (*Cucurbita pepo* L.), maíz dulce, tomate
- Temperatura base de 13 a 15 °C: zapallos, pimiento, sandía, batata, berenjena

La acumulación de grados-día o tiempo térmico requerido para cumplir las distintas etapas de un cultivo es un valor bastante constante para la especie e independiente de la fecha de siembra, aunque puede variar según las características genéticas del material (Hoyos García *et al.*, 2012). A modo de ejemplo, Moreno Pérez *et al.* (2011) señalan que entre los distintos tipos de pimientos (*Capsicum* spp.) se observan diferencias en las unidades de calor requeridas para cumplir las distintas etapas fenológicas, acentuándose las mismas cuando se trata de materiales menos domesticados. Este índice se aplica en diversas especies hortícolas para predecir la duración de ciclos de cultivo, la madurez fisiológica, fecha de cosecha o planificación de siembras sucesivas (Francescangeli *et al.*, 2004; Hoyos García *et al.*, 2012).

En muchas especies bianuales o anuales de invierno la temperatura ejerce su acción positiva a través de la inducción a la floración por la exposición durante periodos prolongados a bajas temperaturas, requerimiento conocido como “vernalización” (Wiebe, 1990; Amasino, 2004). En algunas especies, este requerimiento es obligatorio o cualitativo, dado que la planta permanece en fase vegetativa si no lo satisface; encontrándose: apio, cebolla, remolacha, coliflor, repollo, repollitos de bruselas (*B. oleracea* L. var. *gemmifera*), kale (*B. oleracea* L. var. *sabellica*), alcaucil, zanahoria y perejil, entre las hortalizas con esta característica (Wiebe, 1990).

Otras especies, como brócoli, endivia (*Cichorium intybus* L.), lechuga y espinaca, se clasifican como vernalizantes facultativas, dado que la necesidad de exposición al frío no es una condición indispensable, pero acelera la floración, existiendo una relación directa entre la duración del periodo de frío y el inicio de la fase (Wiebe, 1990; Fernández y Johnston, 2006).

Las especies con un requerimiento obligatorio en vernalización deben haber superado la fase juvenil y encontrarse en una etapa sensible a las bajas temperaturas, la que muchas veces se indica por el número de hojas presentes. Wiebe (1990) detalla el número de hojas mayores a 2 cm requerido por distintas especies para iniciar la fase sensible, siendo más de 2 para el apio, más de 4 para el kale, más de 5 para el perejil; ubicándose las crucíferas con rangos de 4 a 12 ó 15 hojas. En algunas especies la vernalización puede producirse en la planta madre, durante la formación de la semilla, como puede ocurrir el lechuga, endivia, remolachas, así como durante la fase de imbibición de la semilla o emergencia de la radícula (Wiebe, 1990; Wiebe, 1994).

Para la vernalización existe según la especie (o cultivar) un rango óptimo de temperaturas que actúan como inductoras, ubicándose el límite inferior entre 5 y 8 °C y el superior entre 10 y 14 °C para la mayoría de las especies, con límites superiores que pueden ser más elevados en cultivares para invierno de algunas especies. Además, también es importante el tiempo de exposición que se requiere para que las bajas temperaturas cumplan su rol inductivo, encontrándose en las especies hortícolas mayoritariamente ubicadas en un rango aproximado de 2 a 4 semanas (Wiebe, 1990). Este mecanismo previene a las plantas cuyo cultivo se inicia en otoño de florecer antes de la llegada de la primavera, condición importante en ambientes variables donde a breves periodos de exposición al frío pueden seguir lapsos con elevación temporaria de la temperatura.

Luego de un periodo de vernalización, la respuesta al alargamiento de los días es otro mecanismo que regula la floración, actuando la vernalización como inductora y las horas de luz sobre la diferenciación y floración posterior, principalmente (Wiebe, 1990; Amasino, 2004). Especies o cultivares que presentan una fase juvenil breve o un requerimiento bajo de vernalización son más proclives a la ocurrencia de floración prematura o bolting, que se manifiesta por la rápida elongación del escapo floral, situación no deseada en la producción de hortalizas para el consumo de sus hojas o inflorescencias (Imagen 22). Además, la floración puede producirse con la formación de un menor número de hojas. En un cultivar de apio mantenido a 15 °C en invernadero, Ramin y Atherton (1991a) observaron que las plantas provenientes de semillas que habían sido vernalizadas durante su germinación a 5 °C durante 8 semanas presentaban mayor cantidad de plantas florecidas y menor número de hojas a floración (11 hojas) que las provenientes de semillas germinadas en iguales condiciones pero durante 6 semanas. Cuando las plantas se cultivaron a 20 °C, aún después de haber sido vernalizadas durante su imbibición, formaron hasta 48 hojas y permanecieron en fase vegetativa. Esta respuesta observada en apio se debe a la desvernalización que se logra cuando, luego de someter a la planta a condiciones vernalizantes, se la somete a temperaturas más elevadas promoviendo la producción de nuevas hojas y/o dilatando la elongación del escapo floral.



Imagen 22. Floración prematura en repollo (A) y elongación del tallo en lechuga (B)

La temperatura influye sobre los cultivos también mediante la variación de su valor entre el día y la noche (termoperiodo diario), con efectos termomorfogénicos como modificaciones en la elongación del tallo, de los peciolos, pedúnculos florales y tamaño de hoja; introduciéndose el concepto “DIF” para referirse a la diferencia entre la temperatura del día y la noche (Moe y Heins, 2000; Moe y Patil, 2008). DIF positivos (mayor temperatura diurna que nocturna) promueven la elongación de tallos, como fue observado en tomate por Went (1944). También en tomate, se observó que DIF negativos (temperatura diurna menor a la nocturna) reducían el peso fresco y seco de la planta y el número de hojas, con efectos también sobre el desarrollo, afectando el número de racimos (Heuvelink, 1989). Este tipo de respuesta se observó también en arveja, pepino (*Cucumis sativus* L.), pimiento, poroto y en numerosas especies ornamentales (Erwin *et al.*, 1989; Moe y Patil, 2008; Bergstrand, 2017).

Esta respuesta de las plantas al DIF se atribuye a la síntesis de giberelinas, más específicamente a la transformación de la forma activa GA_1 a la inactiva GA_8 (Bergstrand, 2017) y tiene una aplicación práctica importante como herramienta para regular el crecimiento en plantas ornamentales y plantines de hortalizas sin afectar la entrada en producción, aunque se cuestiona el costo energético que implica la reducción de la temperatura diurna (Moe y Patil, 2008; Bergstrand, 2017). DIF negativos se aplican comercialmente para controlar la altura en *Brassi-*

ca spp., *Cucurbita* spp., pepino, tomate, arveja y numerosas ornamentales (Begonia, Dahlia, Petunia, Viola) (Moe y Heins, 2000).

Una respuesta equivalente del crecimiento del tallo se observa cuando se aplica un descenso rápido de temperatura por un momento más o menos breve (aproximadamente 2 horas). La caída de la temperatura (temperature-drop o pulse DIF) es más efectiva si se aplica durante las primeras horas del día, cuando se asume que el crecimiento del tallo es mayor (Moe y Heins, 2000; Bergstrand, 2017). Esta práctica se utiliza con cierto éxito en tomate y pepino, aunque su uso generalizado se ve limitado porque en diversas especies se requieren periodos largos con temperaturas de 2 a 4 °C para que resulte efectiva (Moe y Heins, 2000).

El termoperiodo diario influye también en la fase reproductiva. En tomate, por ejemplo, las condiciones óptimas para la fecundación y cuajado de los frutos se da con temperaturas nocturnas de 14 a 17 °C y diurnas de 23 a 25 °C. Temperaturas más elevadas durante la noche (> 30 °C) promueven la utilización de carbohidratos para el crecimiento, limitando su disponibilidad para los órganos reproductivos, pudiendo producirse la caída de flores antes de la fecundación (Frezza, 2018); habiéndose observado también en tomate y otras especies que valores positivos de DIF favorecen la acumulación de carbohidratos al incrementarse la tasa fotosintética (Yuan y Yang, 2018). Los mismos autores reportaron que una reducción en la temperatura nocturna favoreció también el incremento en sólidos solubles y vitamina C en los frutos.

Temperatura del suelo

La temperatura del suelo tiene un efecto indirecto sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, al actuar sobre la regulación del intercambio de energía con el aire, la evaporación, la concentración de sales en la solución y la viscosidad del agua; incidiendo también sobre importantes procesos biológicos como la germinación, la absorción de nutrientes y la síntesis de reguladores del crecimiento (Garbi *et al.*, 2001).

Chermnih (1971) estableció que hortalizas como lechuga y repollo presentaron la máxima tasa de germinación con temperatura de suelo de 20 °C, disminuyendo a 30 °C. En lechuga, temperaturas elevadas (30 – 35 °C) producen una inhibición de la germinación que es mayor si esta condición se produce por un mínimo de 8 horas durante el inicio de la fase de imbibición (Wien, 1997a). En tomate, la temperatura óptima de germinación se ubica en 25 °C, mientras que en pimiento y berenjena se da entre 25 y 30 °C. En estas especies no se observa crecimiento de la raíz por debajo de 15 °C, mientras que el trasplante a un suelo a 25 °C acelera el crecimiento en largo, volumen, superficie de absorción y peso radical (Chermnih, 1971). Durante la germinación, las hortalizas pueden verse afectadas por bajas temperaturas del suelo en distintos momentos del proceso. Las solanáceas y cucurbitáceas pueden sufrir daños por bajas temperaturas fundamentalmente una vez que la radícula ha emergido, mientras que otras especies, como algunas leguminosas, son más sensibles en la etapa que sigue a la imbibición (Taylor, 1997).

En tomate, la temperatura del suelo afecta particularmente las etapas de formación de tallos y floración, existiendo una fuerte interacción con la temperatura del aire y la radiación solar. Shamshiri *et al.* (2018) exponen una recopilación de valores de temperatura del suelo y de la zona radicular para distintas fases del cultivo, indicando como recomendación general un valor de más de 14 °C cuando la humedad relativa se encuentra entre 70 y 90%. En lechuga, la proximidad del punto de crecimiento al suelo hace que su tasa de crecimiento presente una alta correlación con la temperatura edáfica, habiéndose observado una reducción en la duración del ciclo de lechuga mantecosa con temperaturas del suelo de 18 °C (Wien, 1997a).

Humedad edáfica

El agua es esencial para la germinación, iniciándose el proceso con la fase de imbibición que en la mayoría de las especies hortícolas se completa en un periodo de 4 a 8 horas, prolongándose la duración en semillas con coberturas más duras. Pasado el periodo de imbibición, la semilla es muy sensible a la falta de oxígeno que puede producirse bajo condiciones de encharcamiento, pudiendo mencionarse a la lechuga como una especie con cierta tolerancia a esta condición. Hacia el final del proceso, durante la fase de elongación y división celular, la sensibilidad al estrés hídrico es máxima (Taylor, 1997). Cuando el cultivo se inicia por trasplante, un suelo con buen contenido hídrico ayuda al rápido establecimiento de la planta, facilitando el crecimiento de las raíces.

Durante el cultivo, la falta de agua en etapas tempranas del crecimiento provoca demoras en la maduración y reducción del rendimiento, mientras que periodos de sequía en etapas más avanzadas afectan fundamentalmente la calidad. Debe considerarse que la mayoría de los cultivos hortícolas desarrollan la mayor proporción de su sistema radical en forma superficial (primeros 30 cm de suelo), lo que incrementa su sensibilidad a la falta de agua. Si bien para obtener productos de calidad y buenos rendimientos, prácticamente todas las especies hortícolas requieren un contenido hídrico uniforme durante todo el ciclo de cultivo, existen periodos críticos en los que el estrés hídrico puede producir mayores daños. En general, este periodo se corresponde con el momento en que la planta se encuentra en la fase de desarrollo y crecimiento de sus órganos cosechables. Sanders (1997) presenta valores de contenido mínimo de humedad, periodos críticos, grado de resistencia a la sequía y defectos producidos por estrés hídrico para un amplio número de especies hortícolas, información que se sintetiza a continuación. El contenido hídrico se da en porcentaje de humedad entre capacidad de campo (CC) (-0,1 bar) y punto de marchitez permanente (-15 bar):

- Hortalizas de fruto o semilla: en general, requieren suelos con un contenido disponible de humedad del 50% CC y el periodo crítico se presenta en floración y fructificación (desarrollo o expansión del fruto). El déficit hídrico produce problemas en el llenado de

vainas y tamaño de semilla en leguminosas, podredumbre apical o blossom end rot en tomate, pimiento y otras hortalizas de fruto, rajado de frutos.

- Hortalizas que forman cabeza: el periodo crítico se ubica durante la etapa de formación o crecimiento de la cabeza, requiriéndose suelos con entre el 60 y 70% CC. La falta de agua puede producir quemado del borde de la hoja (tip burn) o necrosis internas en los cogollos de lechugas y crucíferas, ruptura de peciolo de hojas externas en repollos (Messiaen *et al.*, 1995).
- Hortalizas con órganos de consumo subterráneos: en remolacha y batata el requerimiento hídrico se ubica en un 20% CC, mientras que en papa y cebolla el valor requerido asciende a 70%. En todos los casos el periodo crítico se ubica durante la etapa de expansión del órgano de consumo. Las deficiencias hídricas producen reducción en el tamaño de los órganos cosechados y agrietamiento.
- Hortalizas aprovechables por sus hojas: entre las que se encuentran el apio, puerro, kale, repollos chinos, presentan un requerimiento continuo de agua, con niveles en el orden del 70% CC. En apio la intermitencia en el aporte de agua promueve la ocurrencia de corazón negro, mientras que en puerro puede observarse desecación de la punta de las hojas (Messiaen *et al.*, 1995).

Habiendo desarrollado hasta aquí aspectos generales de la fenología y bioclimatología de las hortalizas, a continuación se abordarán algunos aspectos específicos y metodologías de estudio de las especies más representativas los cinturones verdes en general y, particularmente, el cinturón hortícola platense.

Fenología y bioclimatología de solanáceas

En estas especies el registro fenológico puede iniciarse con la emergencia, cuando se observa la presencia de plántulas con cotiledones desplegados. En la etapa de plantín, es importante contabilizar en número de hojas verdaderas y continuar registrando el número de hojas desplegadas sobre el tallo principal. Estas observaciones son de utilidad para definir el momento de trasplante en estas especies, valiéndose de la edad fisiológica de los plantines (4 a 5 hojas expandidas), y no de la edad cronológica computada en días desde la siembra. También puede usarse en fase vegetativa, para definir el pasaje a la fase reproductiva según el número de hojas formadas hasta la primera inflorescencia que oscilan entre 6 y 11 en tomate (Kinet y Peet, 1997) u 8 y 12 en pimiento y berenjena (Maroto, 1992) (Imagen 23).

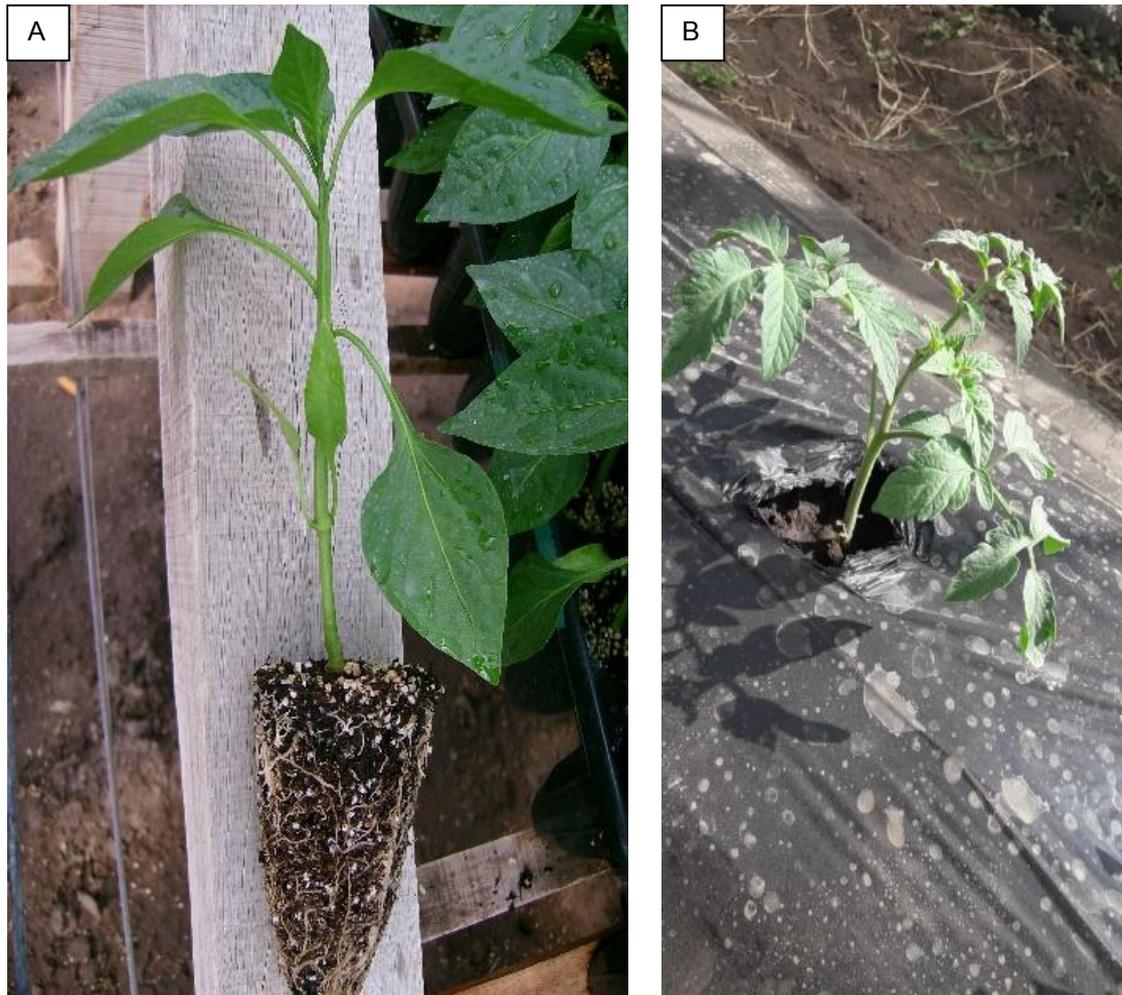


Imagen 23. Plantas de pimiento (A) y tomate (B) en fase vegetativa, hojas desplegadas sobre el tallo principal

En fase reproductiva, la fenología de estos cultivos va registrándose por racimos o estratos, considerándose como “primer racimo o estrato” al de aparición más temprana y más próximo al suelo. En una misma planta se van a registrar simultáneamente distintas fases para los diferentes racimos visibles. La aparición de órganos florales y la floración pueden definirse a partir de la visualización del primer botón o primera flor en cada inflorescencia, respectivamente. En berenjena las flores pueden ser solitarias (primera flor o flor basal), cuyos frutos son de mayor peso, junto a la que pueden insertarse una o más flores. En pimiento las flores aparecen solitarias en cada nudo (Maroto, 1992).

La fructificación puede registrarse a partir de que se visualiza el cuajado, siendo útil identificar tempranamente esta fase, si se desea implementar prácticas como el raleo de frutos (Imagen 24). En las Imágenes 25 y 26 se muestran ejemplos de las fases de floración y fructificación en berenjena y pimiento, respectivamente.

La maduración de frutos y semillas, puede definirse según el porcentaje creciente de frutos que muestran el color típico de madurez. La utilización de este criterio permite identificar objetivamente el momento de cosecha, a los fines de la realización de estudios fenológicos y fenométricos destinados a evaluar precocidad o calidad de frutos.

En tomate, existen cartas de colores para definir grados de madurez (INTA, 2013), y para el registro de variables fenométricas puede considerarse: peso, tamaño, acidez y sólidos solubles (Benito *et al.*, 2016). En pimiento puede considerarse la madurez fisiológica (color verde con tonalidad metálica) o la madurez en rojo, amarillo o el color propio del cultivar; mientras que en berenjena la madurez de cosecha la da la tonalidad brillante del fruto (Maroto, 1992).

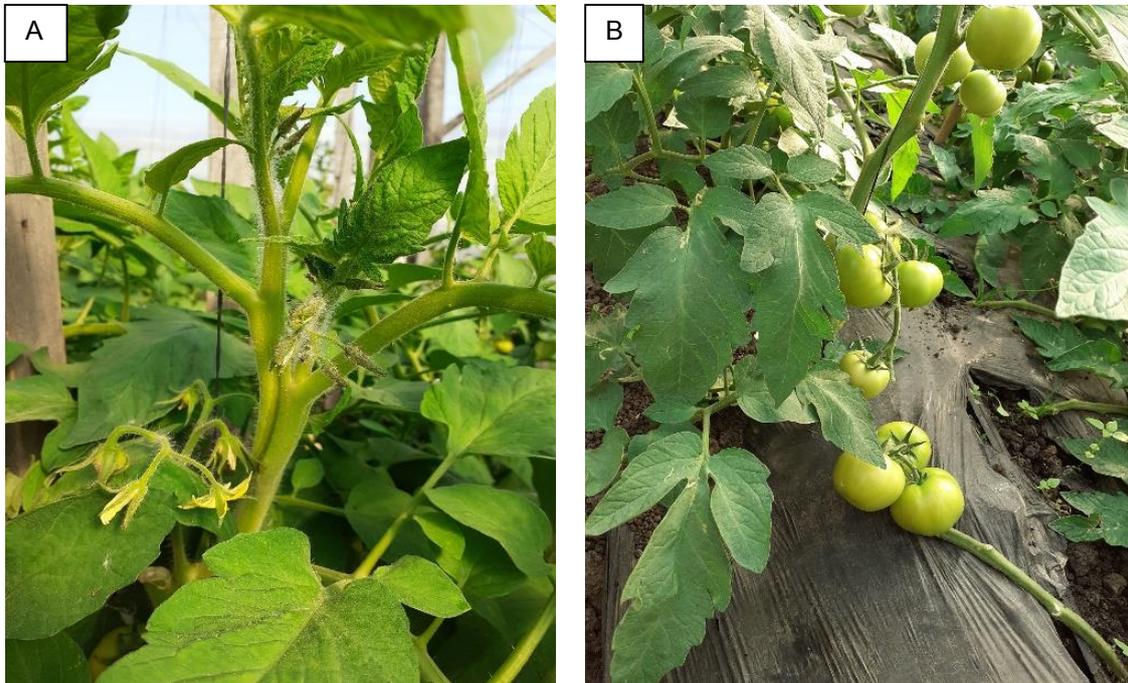


Imagen 24. Fase reproductiva en tomate. Frutos recién cuajados y pimpollos florales en racimo superior (A). Frutos en madurez fisiológica (B)

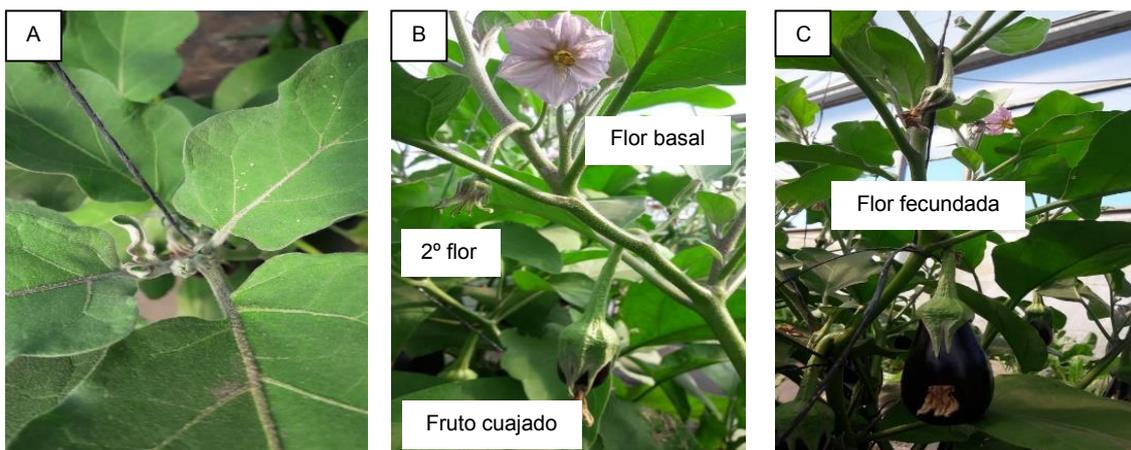


Imagen 25. Fase reproductiva en berenjena. Primeros botones florales (A). Flor abierta y flor fecundada (B). Fruto en crecimiento (C)

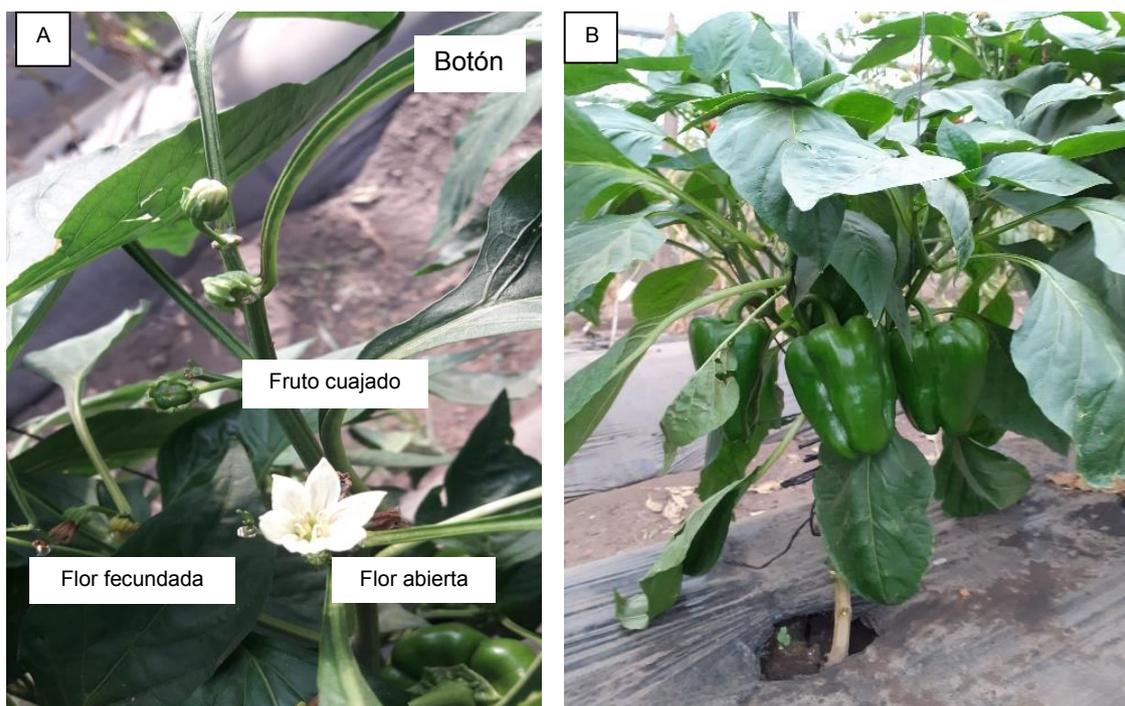


Imagen 26. Fase reproductiva en pimiento. Botón floral, flor abierta y fruto cuajado (A). Frutos en madurez fisiológica (B)

Desde el punto de vista bioclimático, las 3 especies tienen su origen en regiones tropicales o subtropicales. La berenjena, en la etapa de pleno crecimiento tiene una temperatura óptima diurna de 20 a 30 °C y nocturna de 15 a 20 °C, deteniéndose el crecimiento por debajo de los 10 a 13 °C, pudiendo considerarse un valor de 11 °C como temperatura base (Maroto, 1992; Rouphael *et al.*, 2010; Sadek *et al.*, 2013). En pimiento la temperatura óptima se ubica entre 20 y 25 °C para el día y 16 a 18 °C en la noche, con detención del crecimiento por debajo de los 10 °C, tomándose como temperatura base (Maroto, 1992;). El tomate presenta una temperatura óptima diurna de 18 a 27 °C y nocturna de 27 °C, habiéndose determinado temperaturas base con valores que oscilan desde 4,3 °C hasta 10 °C, según los sitios y estaciones de cultivo (Perry *et al.*, 1997).

El tiempo térmico es un índice adecuado y ampliamente utilizado para predecir la evolución fenológica y duración del ciclo a cosecha en las 3 especies. Sin embargo, se ha demostrado la necesidad de ajustar el método de cálculo a utilizar, según la localidad y estación de cultivo.

En tomate, se considera que el tiempo térmico requerido desde nacimiento a cosecha es de 3000 a 4000 grados-día (Castillo y Castelví Sentis, 1996), aunque determinados procesos del desarrollo, como por ejemplo, la floración dependen puntualmente de la temperatura que se registra en el momento de ocurrencia de la fase (de Koning, 1990). Diversos trabajos demuestran que este índice permite predecir la antesis y el momento de cosecha con mayor precisión que los días calendario. De la evaluación de diversos métodos surgió que el que brinda mayor confiabilidad contempla en el cálculo la duración del día, multiplicándola por el valor residual obtenido en el método tradicional; o considerando, además de la temperatura base, una temperatura umbral máxima (temperatura techo) (Perry *et al.* 1997; Bouzo y Favaro, 2014).

En berenjena se estimó que para completar el ciclo de cultivo se requieren 2600 a 2900 grados-día, recomendándose utilizar el método tradicional, con dos variantes: 1. Considerar una temperatura máxima de 30 °C (temperatura techo), cuando el valor ambiental supera ese límite, método más adecuado para cultivos de verano y 2. Además de la restricción anterior, cuando la temperatura mínima sea inferior a la base, utilizar el valor de la base; procedimiento recomendado para cultivos de otoño – invierno que culminan su ciclo en primavera – verano (Sadek *et al.*, 2013).

En pimiento, Perry *et al.* (1993), analizando 11 modelos para el cálculo de los grados-día acumulados, para distintas localidades y estaciones de cultivo, concluyeron que para este cultivo es necesario encontrar el modelo que mejor se ajuste a cada situación, no pudiendo recomendar uno de aplicación generalizada con una precisión adecuada.

Fenología y bioclimatología de hortalizas de hoja

Entre las hortalizas que se cultivan para el consumo de sus hojas se encuentran especies bianuales, algunas de las cuales no forman cabeza, como ciertas lechugas (*L. sativa* var. *longifolia* Lam. y var. *intybasea* Hort.), apio, espinaca y acelga; y otras cuyas hojas forman una cabeza o cogollo más o menos compacto, como los repollos o *L. sativa* var. *capitata*, que incluye a las lechugas mantecosas. Para ambos tipos, el primer registro fenológico a considerar es la emergencia, caracterizada por la aparición de los cotiledones por encima de la superficie del suelo (Imagen 27). El estadio principal siguiente se refiere al desarrollo de hojas en el tallo principal, pudiendo numerarse progresivamente la cantidad de hojas verdaderas desplegadas, fase que, al igual que en las hortalizas de fruto, es útil para definir objetivamente el momento de trasplante (Imagen 28).

A partir de este estadio, en las hortalizas que no forma cabeza, considerando las hortalizas normalmente cultivadas en los cinturones verdes de la Argentina, se registra la formación de la roseta de hoja (Imagen 29), pudiendo indicarse el diámetro de la roseta en relación al tamaño potencial del cultivar, continuando con el estadio de desarrollo de las partes vegetativas cosechables, en función del porcentaje de masa foliar alcanzado.

En las hortalizas que forman cabeza, luego del primer estadio, comienza a registrarse el desarrollo de las partes vegetativas cosechables (cabezas) en función del incremento porcentual de tamaño, respecto al esperado (por ejemplo, 10% del tamaño esperado para la cabeza) (Imagen 30). Finalizadas las fases vegetativas, para ambos tipo de hortalizas, se describen las fases reproductivas hasta la senescencia.

Entre las determinaciones fenométricas que pueden realizarse en este tipo de hortalizas se encuentra el diámetro de roseta, la altura del tallo por encima de las raíces hasta la inserción del primer par de hojas, número de hojas, peso fresco total y comercial (do Amaral y Neumann Silva, 2018), diámetro polar y ecuatorial de la cabeza, longitud de peciolo (apio, acelga, espinaca).

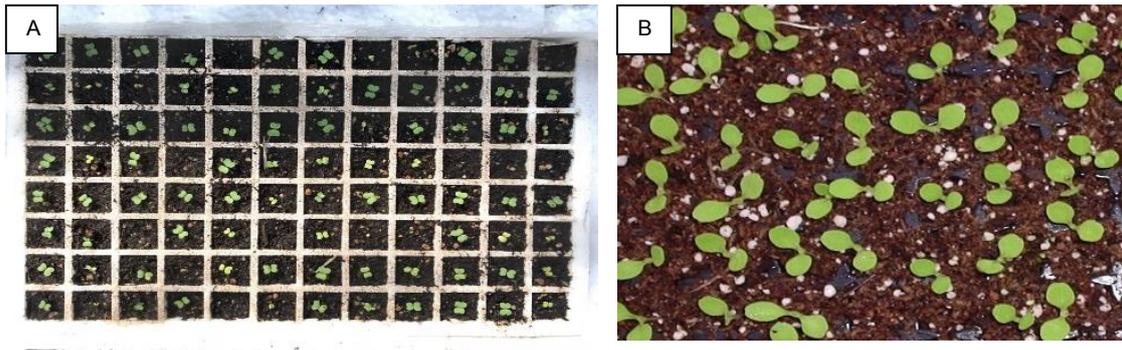


Imagen 27. Emergencia en repollo (A) y en lechuga (B)



Imagen 28. Hojas verdaderas expandidas. Repollo (A) y espinaca (B): 2 hojas verdaderas; C. Lechuga: 6 hojas verdaderas



Imagen 29. Roseta de hojas en pak choi



Imagen 30. Crecimiento de partes vegetativas cosechables. Lechugas que no forman cabezas (A y B). Lechuga que forma cabeza (C). Repollo (D)

En relación a los requerimientos bioclimáticos de estas especies, tanto en lechuga como en apio, la germinación puede verse seriamente afectada por las condiciones del ambiente. En ambas especies la germinación se ve inhibida con temperaturas superiores a 30 °C y se ha observado interacción entre las temperaturas y el requerimiento en luz para germinar. En apio, la germinación puede producirse en oscuridad si la temperatura se ubica entre 10 y 15° C, respondiendo a la inducción por luz roja cuando las temperaturas ascienden a 20 – 25 °C. (Pressman, 1997). En el caso de la lechuga, la mayoría de los cultivares pueden germinar en oscuridad a temperaturas de 20 a 25 °C, aunque en algunos más adaptados a crecer a bajas temperaturas, los límites pueden ser más bajos (15 °C). Bajo condiciones de estrés térmico u osmótico, la dependencia de la luz es mayor (Wien, 1997a). Luego de la emergencia, el crecimiento de las hojas es una etapa fundamental dado que va a determinar el rendimiento final del cultivo y puede comprender una etapa juvenil durante la cual no se manifiesta la sensibilidad al efecto vernalizante de las bajas temperaturas.

En apio, como se mencionó previamente, la vernalización puede ocurrir durante la fase de imbibición de la semilla o en estado de planta, con más de 2 hojas expandidas, condición que depende de las características genéticas del material. Ramin y Atherton (1991b) determinaron en dos cultivares que la fase juvenil finalizaba cuando las plantas presentaban entre 17 y 21 hojas, habiendo acumulado desde la emergencia de la radícula entre 714 y 840 grados-día con una temperatura base de 3,1 °C. Durante este periodo la tasa de formación de hojas se incrementó linealmente con la temperatura, en el rango de 3,1 a 22,8 °C, punto a partir del cual la pendiente de la recta se hizo negativa, deteniéndose la formación de hojas cuando se alcanzaron los 37,4 °C (temperaturas cardinales). Luego de la fase juvenil la tasa de producción de hojas se aceleró por la mayor capacidad de planta para proveer de nutrientes al ápice del tallo, permaneciendo en estado vegetativo cuando las temperaturas no descienden de 22 °C. Superada la fase juvenil, las plantas comienzan su etapa sensible a la vernalización, cuando se registran temperaturas en un rango de 5 a 8 °C durante 2 a 5 semanas, considerándose 14 °C

como el límite superior. La exposición inmediata a altas temperaturas promueve la desvernalización. La ocurrencia de días largos durante la vernalización inhibe el alargamiento del escapo floral y la floración, mientras que los dos procesos se producen si la ocurrencia de días largos se da luego de la vernalización (Wiebe, 1990; Pressman, 1997).

En lechuga, la luz y la temperatura influyen directamente sobre la tasa de crecimiento, obteniéndose un aumento en la cantidad de hojas formadas cuando la temperatura se encuentra entre 10 a 30 °C y el nivel de radiación se incrementa entre 1 y 26 MJ.m⁻².día⁻¹ (Wien, 1997a). Según exponen do Amaral y Neumann Silva (2018) el rango térmico óptimo para el crecimiento de la planta se ubica entre 15,5 y 18,3 °C; pudiendo tolerar temperaturas entre 26,6 y 29,4 °C con la condición de que haya amplitud térmica entre el día y la noche. En las lechugas que forman cabeza, previo al inicio de su formación, la planta produce 13 a 20 hojas, habiéndose observado que la alta irradiancia y temperaturas inferiores a 12 °C durante este periodo promueven la producción de cabezas de mayor peso final. El momento de inicio de la formación de la cabeza está determinado por una modificación morfológica en las hojas debido a que el ancho se incrementa mucho más rápido que la longitud (se produce un descenso pronunciado de la relación largo:ancho de la hoja), condición que se da con el incremento del nivel de radiación y la temperatura (Wien, 1997a). Temperaturas en el rango de 21,1 a 26,6 °C por periodos prolongados pueden favorecer la floración prematura y perjudicar la formación de la cabeza en los cultivares con esta característica, mientras que la respuesta al fotoperiodo y a la vernalización es muy variable entre cultivares (Wien, 1997a; do Amaral y Neumann Silva, 2018).

En repollo puede identificarse una primera fase caracterizada por la formación de hojas basales a las que prosigue el proceso de formación de la cabeza con cambios morfológicos en las hojas similares a los descriptos para lechuga. Las temperaturas óptimas para el crecimiento vegetativo se ubican entre 13 y 18 °C (Maroto, 1992). La planta comienza a ser sensible a la vernalización una vez que ha formado de 4 a 15 hojas, si se presentan temperaturas en el rango de 4 a 10 °C durante 10 a 50 días o más. Las plantas vernalizadas sufren el alargamiento del tallo floral en condiciones de día largo. La exposición posterior a temperaturas de 12 a 16 °C puede actuar como desvernalizantes (Wiebe, 1990; Wien, 1997a).

La espinaca se caracteriza por formar una roseta de hojas y crece adecuadamente en un rango de 15 a 18 °C, pudiendo soportar temperaturas de -6 a -9 °C cuando la planta ya ha adquirido cierto tamaño. Para la inducción floral requiere la exposición a temperaturas de 5 a 8 °C durante 1 a 3 semanas, pudiendo vernalizarse durante la imbibición de la semilla, la emergencia de la radícula o en estado de planta. La elevación de la temperatura por encima de los 15 °C y días de 12 a 14 horas promueven la floración prematura (Wiebe, 1990; González *et al.*, 2004).

Los requerimientos bioclimáticos descriptos para las hortalizas de hojas reflejan aspectos generales para las especies pudiendo observarse variadas respuestas y distintos umbrales de sensibilidad dependiendo de los cultivares. Esto hace que hortalizas naturalmente adaptadas para crecer en condiciones ambientales frescas puedan cultivarse práctica-

mente todo el año eligiendo los cultivares adecuados, logrados a través de trabajos de selección y mejoramiento genético.

Otras hortalizas

Brócoli y coliflor

Maroto (1992) describe para estas crucíferas las fases: juvenil, inducción floral, formación de cogollos, floración y polinización y fructificación. La fase juvenil se define por el número de hojas formadas entre la emergencia y la fase de inducción floral; definiéndose entre 5 y 30 hojas según el cultivar, correspondiendo el menor número de hojas a los materiales adaptados a temperaturas más elevadas.

Durante la fase de inducción floral, por acción de bajas temperaturas, la planta adquiere aptitud para reproducirse y formar una cabeza o pella de yemas hipertrofiadas. La planta se encuentra en un estado vegetativo adulto que se caracteriza por presentar el extremo del meristema apical más amplio que en la fase juvenil (Wien y Wurr, 1997). Finalizada esta fase, se detiene la formación y crecimiento de hojas y existe una relación directa entre el número de hojas presentes en la planta y la producción de la cabeza (Imagen 31). En coliflor, las hojas jóvenes envuelven al cogollo, protegiéndolo de la luz. Para el registro fenológico, la escala BBCH (Enz y Dachler, 1998) propone para ambas especies registrar el tamaño de la cabeza en porcentaje del tamaño final, hasta observar la formación de la cabeza firmemente cerrada, con su tamaño y forma típica. Durante la fase de floración, la pella pierde la firmeza observándose un crecimiento longitudinal de las ramificaciones, que finaliza con la apertura de las flores (Imagen 31).

Tanto en brócoli como en coliflor, la temperatura juega un rol fundamental en la formación de la cabeza, por su efecto vernalizante durante la fase de inducción floral. En coliflor, se observa un buen desarrollo vegetativo con temperaturas entre 15,5 y 18,5 °C (Maroto, 1992), pudiendo establecerse distintos grupos de maduración en función del requerimiento térmico de vernalización. En cultivares extra-tempranos las temperaturas vernalizantes se ubican entre 20 y 27 °C, mientras los tardíos requieren temperaturas de 10 a 16 °C (Ray y Mishra, 2017). La exposición de la planta a temperaturas por encima o debajo de los límites de vernalización retrasa en inicio de la formación de la cabeza, incrementándose la cantidad de hojas y reduciéndose el rendimiento final. Por otra parte, para el inicio de la formación de la pella, existen trabajos que indican una acumulación de 600 a 1600 grados-día desde el trasplante, considerando una temperatura base de 2,8 °C (Ray y Mishra, 2017). Temperaturas elevadas, así como la exposición a iluminación excesiva, van en desmedro de la calidad a cosecha, promoviendo la formación de pigmentación amarilla y pellas de menor tamaño.

El brócoli cumple adecuadamente su ciclo dentro un rango de temperaturas de 4 a 30 °C con valores óptimos entre 16 y 18 °C (Francescangeli *et al.*, 2004). Durante la fase de inducción floral presenta requerimientos similares al coliflor, aunque admite temperaturas vernalizantes más elevadas, indicándose límites máximos de 23,6 a 27 °C, por encima de los cuales las plantas prolongan su fase vegetativa (Wien y Wurr, 1997; Farnham y Bjorkman, 2011). Una vez iniciada la formación de la cabeza, la ocurrencia de temperaturas superiores a 30 °C reduce su calidad produciendo un desarrollo incompleto, rajaduras y un aspecto irregular en la superficie, efectos que en la evaluación de diversos cultivares se observó que se presentan cuando altos niveles térmicos se dan unas 3 semanas antes de la cosecha, cuando la inflorescencia inmadura tiene entre 5 y 10 mm de diámetro (Farnham y Bjorkman, 2011).

El espectro varietal para estas crucíferas posibilita, al igual que se mencionó para las hortalizas de hoja, disponer de cultivares que se adaptan a condiciones de cultivos con ambientes más cálidos y que presentan también mayor tolerancia a la floración prematura.



Imagen 31. Fases fenológicas en brócoli. Fase juvenil (A). Inicio de formación de cabeza (B). Crecimiento de la cabeza (C). Floración (D)

Cucurbitáceas

Las observaciones fenológicas pueden iniciarse con el registro de la emergencia. Los estadios principales sucesivos abarcan la fase vegetativa, en la que puede observarse la aparición de hojas en el tallo principal (Imagen 32). Luego, puede registrarse la aparición de brotes laterales, discriminando el número de brotes primarios, secundarios y terciarios. En fase reproductiva debe identificarse la aparición de órganos florales, floración y formación del fruto, pudiendo cuantificarse la cantidad de órganos presentes en el tallo principal y en las ramificaciones laterales (Imagen 33). La maduración se computa en función del porcentaje de frutos que presentan el color típico de la madurez. Por último, puede contemplarse también el registro de la senescencia de la planta y cosecha de las semillas.

Entre las determinaciones fenométricas que pueden realizarse en las especies de esta familia se encuentran: número de hojas con láminas desplegadas, número de botones florales, número de zarcillos, número, longitud de las ramificaciones (Hoyos García *et al.*, 2012) y dimensión de los frutos (largo, diámetro, peso)



Imagen 32. Fase vegetativa en zapallito: hojas expandidas en el tallo principal (Facht, 2014)



Imagen 33. Fase reproductiva en zapallito: flores en tallo principal (Facht, 2014)

Las cucurbitáceas requieren temperaturas cálidas para su germinación, pudiendo hacerlo en 3 ó 4 días a 25 – 30 °C. El proceso también puede llevarse a cabo a temperaturas inferiores, existiendo gran diferencia genética en lo que respecta a su capacidad de germinar a baja temperatura. En pepino el límite mínimo de germinación se ubica en 16 °C, mientras que en zapallos tipo zucchini el umbral inferior se ubica entre 5 y 10 °C, con temperaturas óptimas de 30 a 33 °C (Wien, 1997b). Zehtab-Salmasi (2006) reporta para calabaza que el requerimiento térmico para la germinación puede reducirse manteniendo las semillas durante 24 días a 25 °C previo a la siembra, habiendo calculado una temperatura base de 13,7 °C y un óptima de 25 a 27,5 °C; mientras que con un acondicionamiento pre-siembra a 20 °C los valores se ubicaron en 17,5 y 28 °C, respectivamente. En zapallos y zapallitos (*Cucurbita pepo* L.) la temperatura óptima de crecimiento se ubica entre 18 y 24 °C, aunque algunos autores indican temperaturas más elevadas (Maroto, 1992). Existen trabajos que han modelizado la tasa de aparición de hojas en relación al tiempo térmico. En zucchini, Rouphael *et al.* (2008) concluyeron que el número de hojas puede estimarse con bastante precisión a partir de modelos que incluyen el producto de la radiación fotosintéticamente activa y el tiempo térmico, tomando una temperatura base de 8 °C y un techo de 32 °C. La temperatura, la irradiancia y el fotoperiodo tiene influencia en la expresión sexual. Temperaturas bajas, alta intensidad lumínica y fotoperiodos cortos promueven la floración femenina, mientras que las noches cálidas favorecen a la formación de flores masculinas. Para la floración, *Cucurbita* spp. requieren un mínimo de 10 °C, mientras que en pepino y sandía la temperatura debe alcanzar los 15 °C (Wien, 1997b).

Referencias

- Alpi, A. y Tognoni, F. (1991). Crecimiento y desarrollo de las plantas en el invernadero. En: *Cultivo en invernadero* (pp. 79-127). Madrid: Mundi-Prensa.
- Amasino, R. (2004). Vernalization, competence and the epigenetic memory of winter. *The Plant Cell*, 16, 2553-2559.
- Benito-Bautista, P., Arellanes-Juárez, N. y Pérez-Flores, M. E. (2016). Color y estado de madurez del fruto de tomate cáscara. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 115-130.
- Bergstrand, K-J. I. (2017). Methods for growth regulation of greenhouse produced ornamental pot- and bedding plants – a current review. *Folia Horticulturae*, 29(1), 63-74.
- Both, A. J. (2002). Light conversions for plant growth. *Horticultural Engineering*, 17(3), 4-7.
- Bouzo, C. A. y Favaro, J. C. (2014). Comparación de métodos que utilizan unidades de calor para predecir la antesis de tomate. *Phyton*, 83, 167-170.
- Castilla, N. (1999). Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo. Madrid: Mundi-Prensa.
- Castillo, E. y Castellvi Sentis, F. (1996). Agrometeorología. Madrid: Mundi-Prensa.
- Chermnih, L. N. (1971). Effect of soil temperature on the growth and productivity of seedlings, grown in electric-heated hotbeds and plastic-growing structures. *Acta Horticulturae*, 17, 153-165.

- Chiesa, A. (2018). Clasificación de las hortalizas. En: A. Chiesa y D. Frezza (Eds.), *Hortalizas. Eco-fisiología, tecnología de producción y poscosecha* (pp. 47-53). Buenos Aires: Hemisferio Sur.
- Dambreville, A., Lauri, P-E., Normand, F. y Guédon, Y. (2015). Analysing growth and development of plants jointly using developmental growth stages. *Annals of Botany*, 115, 93-105.
- Davis, P. A. y Burns, C. (2016). Photobiology in protected horticulture. *Food and Energy Security*, 5(4), 223–238.
- de Koning, A. N. M. Long term temperature integration of tomato. Growth and development under alternating temperature regimes. *Scientia Horticulturae*, 45, 117-127.
- do Amaral, J. C. y Neumann Silva, V. (2018). Tolerance to bolting in lettuce: cultivars and growing seasons. *Idesia*, 36(4), 1-9.
- Enz, M. y Dachler, Ch. (1998). *Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono- y dicotiledóneas cultivadas. Escala BBCH extendida*. Recuperado de: https://www.agro.basf.es/Documents/es_files/pdf_1_files/services_files/descarga.pdf.
- Erwin, J. E., Heins, R. D. y Karlsson, M. G. (1989). Thermomorphogenesis in *Lilium longiflorum*. *American Journal of Botany*, 76(1), 47-52.
- Facht, N. (2014). Evaluación del efecto de la biofertilización con *Azospirillum brasilense* sobre el crecimiento y desarrollo de zapallito de tronco (*Cucurbita maxima*). Trabajo final de aplicación. Ingeniería Agrónoma. Universidad Nacional de Luján. 45 pp.
- Farnham, M. W. y Bjorkman, T. (2011). Breeding vegetables adapted to high temperatures: a case study with broccoli. *HortScience*, 46(8), 1093-1097.
- Fernández, G. y Johnston, M. (2006). Crecimiento y temperatura. En: F. A. Squeo y L. Cardemil (Eds), *Fisiología Vegetal*. La Serena: Ediciones Universidad de La Serena. Recuperado de: <http://www.biouls.cl/librofv/web/index03.php>.
- Fischer, G. y Pérez, C. P. (Noviembre de 2012). Efecto de la radiación solar en la calidad de los productos hortícolas. En: *Memorias Congreso Internacional de Hortalizas en el Trópico: La olericultura colombiana. Nuevos retos para enfrentar los tratados de libre comercio*. Bogotá: Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas.
- Flores Gallardo, H., Domínguez Martínez, P. A., Narváez Mendoza, M. P., Zavala Estrada, F., Santana Espinoza, S. y Vidal García Hernández, R. (2016). *Predicción fenológica en cultivos agrícolas bajo tiempo térmico*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/317170539_PREDICCION_FENOLOGICA_EN_CULTIVOS_AGRICOLAS_BAJO_TIEMPO_TERMICO.
- Francescangeli, N., Stoppani, M. I. y Martí, H. R. (2004). Aptitud de modelos de temperaturas y de tiempo térmico en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Agriscientia*, XXI(2), 51-57.
- Frezza, D. (2018). Tomate (*Solanum lycopersicum* L.). En: A. Chiesa y D. Frezza (Eds.), *Hortalizas. Eco-fisiología, tecnología de producción y poscosecha* (pp. 227-260). Buenos Aires: Hemisferio Sur.
- Garbi, M., Grimaldi, M. C. y Martínez, S. (ex aequo). (2001). Efectos de plásticos de color sobre la temperatura del suelo durante el periodo frío en La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista Argentina de Agrometeorología*, 1(1), 87-90.

- González, M. I., del Pozo, A., Cotroneo, D. y Pertierra, R. (2004). Días a floración en espinaca (*Spinacia oleracea* L.) en diversas épocas de siembra: respuesta a la temperatura y al foto-período. *Agricultura Técnica*,64(4), 331-337.
- Guaymasí, D., Garbi, M., Morelli, G. y Martínez, S. (2018). Días y tiempo térmico a floración y fructificación en solanáceas cultivadas en invernadero en La Plata. *Horticultura Argentina*,37(92), 34-41.
- Heuvelink, E. (1989). Influence of day and night temperature on the growth of Young tomato plants. *Scientia Horticulturae*,38,11-22.
- Hoyos García, D., Morales Osorio, J. G., Chavarría Ardila, H., Montoya Ríos, A. P., Correa Londoño, G. y Jaramillo Villegas. S. del C. (2012). Acumulación de grados-día en un cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en un modelo de producción aeropónico. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*,65(1), 6389-6398.
- INTA. (2013). Postcosecha de tomate. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-ficha_n_1_-_cosecha_3.pdf.
- Izarra Tito, W. J. y López Ríos, F. M. (2011). Manual de observaciones fenológicas. Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
- Kinet, J. M. y Peet, M. M. (1997). Tomato. En H. C. Wien (Ed.). *The Physiology of Vegetable Crops* (pp. 207-238). New York: CAB International.
- Krug, H. (1997). Environmental influences on development, growth and yield. En H. C. Wien (Ed.), *The Physiology of Vegetable Crops* (pp. 101-180). New York: CAB International.
- Maroto, J.V. (1992). Horticultura herbácea especial. Madrid: Mundi-Prensa.
- Maynard, D. N. y Hochmuth, G. J. (2007). *Knott's Handbook for Vegetable Growers*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Messiaen, C. M., Blancard, D., Rouxel, F. y Lafon, R. (1995). *Enfermedades de las hortalizas*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Moe, R. y Heins, R. D. (2000). Thermo- and photomorphogenesis in plants. En E. Stroemme (Ed.). *Advances in Floriculture Research*, Report N° 6/2000 (pp. 52-64). Norway: Agricultural University of Norway.
- Moe, R. y Patil, G. G. (2008). The impact of daily diurnal temperature alternation and light quality on growth and morphology in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Acta Horticulturae*,804, 145-152.
- Moreno Pérez, E. del C., Mora Aguilar, R., Sánchez del Castillo, F y García-Pérez, V. (2011). Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*,XVII(2), 5-18.
- Parra-Coronado, A., Fischer, G. y Chaves-Cordoba, B. (2015). Tiempo térmico para estados fenológicos reproductivos de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). *Acta Biológica Colombiana*,20(1), 163-173.
- Pascale, J. A. y Damario, E. A. (2013a). Fundamentos de Bio y Agroclimatología. En G. M. Murphy y R. H. Hurtado (Eds.), *Agrometeorología* (pp. 181-194). Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía.

- Pascale, J. A. y Damario, E. A. (2013b). Fenología. En G. M. Murphy y R. H. Hurtado (Eds.), *Agrometeorología* (pp. 195-206). Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía.
- Pascale, J. A. y Damario, E. A. (2013c). Observación fenológica. En G. M. Murphy y R. H. Hurtado (Eds.), *Agrometeorología* (pp. 207-223). Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía.
- Perry, K. B., Sanders, D. C., Granberry, D. M., Garrett, T., Decoteau, D. R., Nagata, R. T., Dufault, R. J., Batal, D. y Mclaurin, W. J. (1993). Heat units, solar radiation and daylength as pepper harvest predictors. *Agricultural and Forest Meteorology*, 65, 197-205.
- Perry, K. B., Wu, Y., Sanders, D. C., Garrett, T., Decoteau, D. R., Nagata, R. T., Dufault, R. J., Batal, D., Granberry, D. M. y Mclaurin, W. J. (1997). Heat units to predict tomato harvest in the southeast USA. *Agricultural and Forest Meteorology*, 84, 249-254.
- Pressman, E. (1997). Celery. En H. C. Wien (Ed.), *The Physiology of Vegetable Crops* (pp. 387-408). New York: CAB International.
- Ramin, A. A. y Atherton, G. J. (1991a). Manipulation of bolting and flowering in celery (*Apium graveolens* L. var. *dulce*). I. Effect of chilling during germination and seed development. *Journal of Horticultural Science*, 66(4), 435-441.
- Ramin, A. A. y Atherton, G. J. (1991b). Manipulation of bolting and flowering in celery (*Apium graveolens* L. var. *dulce*). II. Juvenility. *Journal of Horticultural Science*, 66(6), 709-717.
- Ramos, E. y Rallo, L. (1992). Bases fisiológicas de la producción hortícola. En: *Nueva Horticultura. Tecnología y economía de los sistemas hortícolas intensivos* (pp. 57-74). Madrid: Mundi-Prensa.
- Ray, M. y Mishca, N. (2017). Effect of weather parameters on the growth and yield of cauliflower. *Ecology, Environment and Conservation*, 18(3), 9-19.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Fallovo, C., Colla, G., Salerno, A., Rea, E. y Marucci, A. (2008). Predicting leaf number of greenhouse zucchini squash using degree days and photosynthetically active radiation. *Acta horticulturae*, 801, 1149-1154.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Ajouz, N., Marucci, A. y Colla, G. (2010). Estimation of eggplant leaf number using thermal time model. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8, 847-850.
- Sadek, I. I., Mostafa, D. M. y Yousry, M. M. (2013). Appropriate six equations to estimate reliable growing degree-days for eggplant. *American-Eurasian Journal Agricultural & Environment Sciences*, 13(9), 1187-1194.
- Sanders, D. C. (1997). Vegetable Crop Irrigation. 9/93-Author Reviewed 8/97 HIL-33E. North Carolina Cooperative Extension Service. North Carolina State University. Recuperado de: <https://aces.nmsu.edu/aes/irrigation/documents/vegetable-crop-irrigation.pdf>.
- Shamshiri, R. R., Jones, J. W., Thorp, K. R., Ahmad, D. Man, H. C. y Taheri, S. (2018). Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review. *International Agrophysics*, 32, 287-302.
- Somoza, J.; Garbi, M.; Martínez, S. (Julio de 2005). Radiación global en el interior de una cobertura plástica con cultivo de tomate en La Plata, Buenos Aires, Argentina. En: *XIV Congreso Brasileiro de Agrometeorologia*. Campinas: SBA

- Taylor, A. G. (1997). Seed storage, germination and quality. En H. C. Wien (Ed.), *The Physiology of Vegetable Crops* (pp. 1-37). New York: CAB International.
- Went, F. W. (1944). Plant growth under controlled conditions. II. Thermoperiodicity in growth and fruiting of the tomato. *American Journal of Botany*,31(3), 135-150.
- Wiebe, H. J. (1990). Vernalization of vegetables crops. A review. *Acta Horticulturae*,267, 323-328.
- Wiebe, H. J. (1994). Flower formation and timing field production for vegetables. *Acta Horticulturae*,371, 337-343.
- Wien, H. C. (1997a). *Lettuce*. En H. C. Wien (Ed.), *The Physiology of Vegetable Crops* (pp. 479-510). New York: CAB International.
- Wien, H. C. (1997b). *The cucurbits: cucumber, melón, squash and pumpkin*. En H. C. Wien (Ed.), *The Physiology of Vegetable Crops* (pp. 345-386). New York: CAB International.
- Wien, H. C. y Wurr, D. C. E. (1997). Cauliflower. Broccoli, cabbage and Brussels sprouts. En H. C. Wien (Ed.), *The Physiology of Vegetable Crops* (pp. 511-552). New York: CAB International.
- Wurr, D. C. E.; Fellows, J. R. y Pittman, A. J. (1987). The influence of plant raising conditions and transplant age on the growth and development of crisp lettuce. *The Journal of Agricultural Science*,109(3), 573-581.
- Yuan, X. K. y Yang, Z. Q. (2018). The effect of endogenous hormones on plant morphology and fruit quality of tomato under difference between day and night temperature. *Horticultural Science (Prague)*,45(3), 131-138.
- Zehtab-Salmasi, S. (2006). Study of cardinal temperaturas for pumpkin (*Cucurbita pepo*) seed germination. *Journal of Agronomy*,5(1), 95-97.

CAPÍTULO 5

Ecofisiología de cultivos protegidos y a campo

Alejandra Victoria Carbone

Factores determinantes del rendimiento

Los vegetales son los únicos individuos vivos capaces de convertir energía lumínica en energía química a través del proceso de fotosíntesis. La energía lumínica es provista por el sol y la generación de energía química está representada por la formación de moléculas orgánicas de diversa naturaleza como hidratos de carbono simples y complejos, lípidos, proteínas y metabolitos secundarios. Estos compuestos constituyen la biomasa que le permite a los vegetales crecer y llevar a cabo sus funciones vitales para completar el ciclo ontogénico formando las estructuras seminales o reproductivas que perpetúan la especie. A su vez, representa para el hombre la energía destinada para su alimentación, ya sea en forma directa, o a través de la conversión en proteína animal, en sistemas ganaderos, tanto de cría como de engorde.

Las plantas cultivadas confieren parte de su energía a la formación de los órganos de cosecha aprovechables por el hombre, y eso es lo que se conoce como rendimiento, que puede ser ejemplificado a través del siguiente modelo general, donde BT es la biomasa total y el IC constituye el índice de cosecha, que es la cantidad de biomasa que es aprovechable por el hombre, ya sea como granos, frutos, tubérculos, fibras, etc.:

$$\text{Rendimiento (kg. ha}^{-1}\text{)} = \text{BT (kg. ha}^{-1}\text{)} \times \text{IC} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{IC} = \frac{\text{Cantidad de biomasa aprovechable}}{\text{Cantidad de biomasa total}}$$

El rendimiento alcanzado tiene importancia clave para definir la eficiencia de un sistema productivo, y estará en función de numerosos factores que lo condicionan. En la Tabla 10 se presentan, a modo de ejemplo, valores de rendimiento de cultivos hortícolas, debiendo aclararse que los mismos pueden variar sustancialmente según las condiciones de cultivo.

La magnitud del IC es variable entre cultivos y dentro de un mismo cultivo va a depender en mayor medida del patrón de partición de la energía que posee la especie. Dicho patrón está afectado por numerosos factores, algunos de ellos intrínsecos y otros determinados por el ambiente. Esto es importante ya que pueden ser manipulados por el hombre a través del fitomejo-

ramiento y/o la implementación de diversas tecnologías del cultivo, como se han ido efectuando hasta la actualidad. Muchas estrategias contemplan, cómo se desarrollará más abajo, modificaciones en el periodo de duración del área foliar, la distribución de asimilados a los destinos, el número y tamaño potencial de los mismos y la duración de su período de llenado.

Tabla 10: Rendimiento (kg.m⁻²) de especies hortícolas

Cultivo	Rendimiento
Tomate en hidroponía, invernadero 4 plantas.m ⁻² (Zarandona, 2014)	25,9
Tomate en hidroponía, invernadero 5 plantas.m ⁻² (Zarandona, 2014)	30,9
Tomate redondo, cinturón hortícola Gran Buenos Aires (GBA) (Viteri <i>et al.</i> , 2013)	78
Tomate redondo, bajo invernadero, GBA (Viteri <i>et al.</i> , 2013)	144,45
Coliflor (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i>) (Maroto, 1992)	17 a 22
Brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) (Maroto, 1992)	20
Lechuga, Mar del Plata (Viteri <i>et al.</i> , 2013)	15
Lechuga mantecosa, La Plata (Viteri <i>et al.</i> , 2013)	12
Otras lechugas, La Plata (Viteri <i>et al.</i> , 2013)	10 a 11

Duración del área foliar (DAF)

Este índice asume valores dispares según el cultivo considerado y resulta importante a la hora de evaluar la capacidad del cultivo de interceptar la radiación a lo largo del tiempo, especialmente en el período crítico, que es donde se define el número de destinos y el momento en que éstos comienzan a ser llenados con los fotoasimilados que se generan en las hojas. A partir del momento en que se define el número de destinos, la duración del período de llenado de los mismos, guarda estrecha relación con la fuente de fotoasimilados y la duración de dicha área foliar. Se conoce que cerca del 50% de las variaciones del rendimiento potencial de un cultivo son debidas a los factores climáticos adversos, las prácticas culturales adoptadas y la selección de variedades, todas variables que actúan y determinan la DAF. La baja disponibilidad de nitrógeno en el suelo, el estrés hídrico y/o térmico, reducen el período de llenado de los destinos, afectando la fuente de fotoasimilados y en consecuencia la DAF.

Traslado de fotoasimilados hacia los destinos de almacenamiento

Puede haber situaciones en que ni la fuente de producción (hojas) ni el destino de los fotoasimilados limite la tasa de almacenamiento. Pero, en otras circunstancias, la capacidad del sistema de transporte de metabolitos puede aparecer como limitante en algún punto del recorrido ubicado entre la fuente y el destino (Azcón-Bieto y Talón, 2008). En numerosos cultivos la

tasa de exportación de fotoasimilados varía conjuntamente con la tasa fotosintética, como fue establecido en cereales como trigo (*Triticum aestivum*) y cebada (*Hordeum vulgare*), y cultivos hortícolas como tomate, pimiento y berenjena. En otras especies como la remolacha azucarera (*Beta vulgaris* subsp. *Vulgaris*), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y maíz (*Zea mays*), la proporción de compuestos exportables puede permanecer constante aún con variaciones de intensidades lumínicas y tasas fotosintéticas (Azcón-Bieto y Talón, 2008). La fuerza de atracción que ejerce el órgano destino (fruto, semilla, tubérculo) es un determinante importante en los patrones de translocación de los fotoasimilados, en la distribución de la materia seca (MS) y, por lo tanto, del rendimiento (Ramos y Rallo, 1992; Satorre *et al.*, 2012).

Número y tamaño potencial de los sitios de almacenamiento

La capacidad de un tejido u órgano vegetal de actuar como destino depende de su tamaño y de su actividad metabólica. En muchas especies cultivadas, el tallo puede constituir un órgano de almacenamiento importante y transitorio de fotoasimilados. Estas sustancias pueden, posteriormente, ser re-transportadas a otros órganos de reserva o a los frutos cuando éstos comienzan a definirse, madurar y desarrollarse, como ocurre en el tomate, berenjena y pimiento (Nuez, 1995; Ramos y Rallo, 1992). En el cultivo de papa un elevado porcentaje del peso final de los tubérculos proviene de los fotoasimilados acumulados en los tallos, quienes pierden peso rápidamente cuando comienza el envejecimiento o senescencia foliar, al término del ciclo del cultivo, pudiendo proveer un 20 a 25% del total de materia seca que se deposita en el tubérculo en esta etapa (Caldiz y Gáspari, 1997).

Duración del periodo de llenado de los destinos

Este período constituye un determinante fundamental del rendimiento. Asimismo, es importante considerar las condiciones ambientales imperantes en esta fase, fundamentalmente la temperatura, irradiancia y disponibilidad de agua. Altos registros de irradiancia y temperatura en la fase final de llenado de los destinos puede acortar esta fase, como ocurre en cultivos extensivos como el trigo (*Triticum aestivum*) y arroz (*Oryza sativa*). Es importante destacar que el incremento de biomasa en un cultivo y su rendimiento está determinado por la sumatoria de numerosas variables que interactúan entre sí de manera encadenada como un engranaje. Actualmente y por largo tiempo, la producción de alimentos es y será un proceso biológico que está regido por la Ley del Mínimo, establecida por Liebig en el año 1840, sólo para los nutrientes minerales, pero luego extendida al resto de los componentes del medio que hacen al proceso. Esta ley indica que el desarrollo de un sistema vivo está condicionado por el factor que se encuentra en menor disponibilidad, con relación a los requerimientos del sistema. Las limitaciones se pueden considerar a diferentes niveles, dado que en un extremo muy restringido

se encuentran aquellos inherentes a una región productiva en particular, y en el otro extremo, a nivel global, se encuentran los factores que afectan la producción de la tierra. Las influencias son numerosas teniendo que contemplar las de índole biológica, los factores ecológicos, la extensión de las áreas productivas, las técnicas y energías empleadas y por último, y no de importancia menor, están las políticas económicas imperantes. Cada una de ellas constituye, por sí misma, un factor determinante del proceso de crecimiento y productividad del sistema productivo (Sívori, 1975).

Crecimiento del cultivo

El crecimiento de un cultivo es el resultado de la división y alargamiento celular de los órganos constituyentes que se diferencian para formar el cuerpo del vegetal. Estos procesos son el resultado de la síntesis, transporte y acumulación de fotoasimilados y nutrientes. Los fotoasimilados provienen de la fijación del dióxido de carbono atmosférico (CO₂) mediante la fotosíntesis por el cual la energía solar o lumínica es convertida en energía química, teniendo lugar en las hojas fundamentalmente ya que son los órganos con mayor contenido de clorofila. Es entonces importante considerar que la eficiencia del proceso fotosintético depende de la incidencia y captación de la energía solar por parte del canopeo o superficie foliar que posee el cultivo.

Una hoja sometida a intensidades crecientes de luz presenta, en primera instancia, un aumento lineal en la fijación de CO₂. Posteriormente, en una segunda etapa, el incremento es menos proporcional y finalmente, hay una tercera etapa en la que se produce un efecto de saturación y no se registra respuesta al aumento de intensidad lumínica. Es entonces cuando la limitación para la producción está determinada por algún otro factor.

La tasa de crecimiento de un cultivo (TC) es la biomasa acumulada por unidad de tiempo. Este índice resulta del balance de dos procesos contrapuestos: la fotosíntesis (ganancia de CO₂) y la respiración (pérdida de CO₂). Debido a que la fracción del carbono fijado que se destina a respiración es relativamente constante, aumentos en la radiación interceptada por el cultivo se traduce en aumentos proporcionales en la TC.

Conociendo los factores abióticos que condicionan la TC de un cultivo, se puede definir la Productividad Primaria Neta (PPN) o Fotosíntesis Neta (FN) de un sistema, que está determinada por la Fotosíntesis Bruta (FB) menos los gastos ocasionados por la Respiración Oscura o Escotorespiración (RO) más la Fotorespiración (FR)

$$PPN \text{ o } FN = FB - (RO + FR) \quad \text{Ecuación 2}$$

Es lógico suponer que la magnitud de la PPN de una comunidad vegetal estará en función de un balance energético determinado por los procesos de producción o síntesis y los de consumo de energía, tal como se muestra en la ecuación anterior. Los factores que determinan la magnitud de la PPN son aquellos que afectan a los procesos involucrados, en mayor o menor

magnitud, pero determinando la eficiencia productiva del sistema. Los principales factores determinantes se irán mencionando a continuación y se desarrollará su importancia y rol clave en la determinación de la PPN.

Intercepción y absorción de fotones por la comunidad vegetal

La intercepción de la luz por parte de la comunidad vegetal está en función de las características propias de la radiación incidente, tanto en cantidad y calidad; así como de las propiedades intrínsecas de la comunidad, que estará determinada por la cobertura o canopeo de la misma, su arquitectura, su densidad (determinada por el índice de área foliar: IAF), la distribución y permanencia de ésta en el tiempo (constituída por la duración de área foliar: DAF).

Capacidad y eficiencia de captación de la energía lumínica

La radiación fotosintéticamente activa utilizada por las plantas se denomina PAR y comprende un pico de absorción entre los 400 a 700 nm, significando un 40% del total de la radiación incidente. De ese porcentaje, además se producen pérdidas por reflexión (5 a 15%), por calor (8%) y un 10% se transmite a través de las hojas que forman el canopeo. Del total de fotosíntesis bruta (FB) solamente es convertido en fotosíntesis neta (FN) el 5%, dado que un porcentaje de la radiación incidente fue convertida en fotoasimilados que la planta consumió para los procesos vitales de respiración (RO) y un sinnúmero de actividades metabólicas.

Cuando la radiación incide normalmente sobre la superficie de las hojas su penetración depende de las características que presenta la misma, siendo determinante la disposición y superficie foliar, la presencia de cutículas y ceras epicuticulares, como así también la disposición de los tejidos parenquimáticos especializados (clorénquima) en el proceso de absorción y transformación de la energía solar. Este proceso es dependiente de numerosos factores intrínsecos del vegetal que van a determinar la eficiencia del mismo en función de las condiciones ambientales o del medio en el cual se encuentre creciendo.

La radiación PAR que penetra la epidermis foliar llega a las células del tejido clorofiliano en empalizada y es absorbida por las moléculas de clorofila contenidas en sus células. La fracción de radiación no absorbida pasa al tejido parenquimático esponjoso, quien la refleja hacia el tejido en empalizada, o bien puede llegar a la epidermis inferior volviendo a recorrer el tejido parenquimático atravesándola o transmitiéndola fuera de la hoja. Estos fenómenos ópticos que ocurren dentro del mesófilo foliar crean una “turbulencia de fotones” que permite el aumento de su absorción maximizando su utilización.

Magnitud de la capacidad de absorción de energía lumínica

Ya se mencionó anteriormente que la biomasa es el producto de la fotosíntesis, en la cual están incluidos los elementos minerales incorporados por las raíces, quienes no superan el 10% del peso seco total. La cantidad de biomasa total producida por un cultivo estará en función de la cantidad de fotones que son interceptados por el canopeo. Esta capacidad de interceptación de fotones dependerá de la densidad o amplitud del canopeo, de su disposición en el espacio o arquitectura del mismo y de la duración que tenga el área foliar (DAF) a lo largo del tiempo. El canopeo de un cultivo se define como el espacio comprendido por la sumatoria de hojas y aire interpuesto entre ellas, limitado por el suelo hasta una línea imaginaria que una las hojas más externas del cultivo. La magnitud del canopeo puede ser expresada cuantitativamente a través de un índice de crecimiento denominado Índice de área foliar (IAF) que se define como la superficie fotosintetizante por unidad de superficie de suelo, a saber:

$$IAF = \sum \frac{\text{área foliar (m}^2\text{)}}{\text{área de suelo (m}^2\text{)}}$$

La magnitud del IAF en los cultivos oscila con valores de 0, a la siembra con suelo desnudo, hasta valores dispares, según la especie y condiciones de cultivo (Tabla 11).

Tabla 11: Valores corrientes y máximos de IAF para distintas especies cultivadas

Especie	IAF
Trigo	6 - 7
Girasol (<i>Helianthus annuus</i>)	5 - 6
Caña de Azúcar (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	8
Papa	5
Tomate conserva (a campo)	2,5
Tomate 20.000 plantas.ha ⁻¹	4,73
Tomate 25.000 plantas.ha ⁻¹	6,86
Tomate 33.000 plantas.ha ⁻¹	7,83
Tomate 50.000 plantas.ha ⁻¹	8,11
Pimiento var. Poblano conducido a 1 tallo	0,9
Pimiento var. Poblano conducido a 2 tallos	1,2
Pimiento var. Poblano conducido sin poda	2,7

Información obtenida de Barraza et al. (2004) y Mendoza-Pérez et al. (2017)

La evolución del IAF a lo largo del ciclo del cultivo varía según las características del mismo. La velocidad de emergencia de las primeras estructuras fotosintetizantes dependerá fundamentalmente del tamaño y vigor de la semilla. En este sentido, es importante señalar que semillas

más grandes presentan una tasa de emergencia más precoz o temprana que las semillas pequeñas. Luego de ocurrida la emergencia, el crecimiento inicial y acumulación de materia seca suele ser lento, resultando en una escasa intercepción de la radiación incidente. Numerosos autores mencionan este comportamiento inicial como el principal factor de ineficiencia en los sistemas productivos (Barraza *et al.*, 2004). Aquí resulta importante señalar la selección efectuada por los fitomejoradores respecto a la obtención de variedades con hojas de mayor área, de rápida expansión foliar, un incremento en el tamaño y disposición de las hojas sucesivas y una ramificación temprana para subsanar dicho retraso inicial en el incremento del IAF. Una práctica cultural muy utilizada es la siembra a menores distancias o el incremento de plantas por unidad de superficie como fue señalado por Barraza *et al.* (2004) en cultivo de tomate realizado a campo. Salisbury y Ross (1994) determinaron que la tasa fotosintética y la evolución del IAF juegan un rol determinante en el crecimiento, y en el caso particular del cultivo de tomate esto fue corroborado por Ramírez-Vargas y Nienhuis (2012), quienes señalaron que el crecimiento y rendimiento está condicionado por las variables mencionadas.

Luego del retraso inicial descrito, ocurre generalmente un incremento rápido en el IAF, seguido por una disminución, que también puede ser muy rápida. La intercepción de luz alcanza, generalmente, una proporción alta únicamente cuando el IAF es superior a 3 ó 4, situación que se da solamente a los tres meses desde la siembra para numerosos cultivos anuales, y no siempre en los momentos de mayor radiación o condiciones de crecimiento más favorables. En este sentido, el factor más importante a considerar es el ángulo de la inserción de las hojas. Por ejemplo, los cereales de invierno como trigo, arroz, cebada y avena (*Avena sativa*), tienen ángulos de inserción mayores a 90° con respecto a la horizontal conocidas como especies erectófilas que durante más de los primeros 60 días posteriores a la siembra el valor de IAF no alcanza a valores de 1. Los cultivos cuyas hojas tienen ángulos de inserción menores o iguales a 90° con respecto a la horizontal, conocidas como especies planófilas, a los 15 a 20 días desde la emergencia el valor de IAF supera a 1, como ocurre en el cultivo de la papa, poroto, habas, berenjena, tomate. En ambos tipos de especies va a ser variable la magnitud del índice de área foliar crítico (IAFc), entendiéndose como tal al IAF que es capaz de interceptar el 95% de la radiación incidente sobre el cultivo. De este modo el cultivo de papa, arveja, tomate alcanzarán valores de IAFc con anticipación respecto a un cultivo erectófilo, como cebolla (*Allium cepa* L.) o apio (*Apium graveolens*). Los valores de IAF están determinados por las características de cada especie y variedad, pero no obstante son variables fuertemente influenciadas por el ambiente y por las labores culturales ejercidas por el hombre. Merecen destacarse los efectos ejercidos por la disponibilidad del agua y nutrientes del suelo, los rangos de temperatura del aire y del suelo, la densidad de siembra, la presencia o ausencia de malezas, la acción de patógenos y/o plagas, entre otros, quienes incidirán fuertemente en la magnitud de estos índices en el cultivo. Si bien el IAF es una variable determinante en la cosecha de luz por parte de los cultivos, también la arquitectura del canopy de los vegetales tendrá gran relevancia. Es así, como distintas especies con el mismo valor de IAF interceptarán distintas cantidades de fotones en virtud de su diferente arquitectura. Monsi y Saeki (1953) evaluaron el comportamiento

de especies planófilas y erectófilas y la influencia de la arquitectura del canopeo en la captación de luz, a través de un índice que representa la variación de la irradiancia cuando la luz penetra dentro de un canopeo de un cultivo herbáceo. Dichos autores encontraron que el logaritmo natural del cociente entre la irradiancia que llega a un estrato determinado dentro del canopeo (I) sobre la irradiancia incidente en la cima del canopeo (I_0), es una función lineal del producto del IAF por una constante de proporcionalidad que denominaron coeficiente de extinción K , quedando expresado lo antedicho por la siguiente fórmula:

$$\ln \frac{I}{I_0} = (1 - K) \times \text{IAF}$$

El coeficiente K indica el grado con que la luz se extingue a medida que atraviesa los distintos estratos de hojas del canopeo de un cultivo. Cuanto mayor es la pendiente de K , mayor es la intercepción de la luz por las hojas y, por lo tanto, más abrupta es la disminución de la irradiancia a medida que se penetra en el canopeo. De este modo, si las hojas se disponen en un solo plano horizontal, el valor de K sería máximo y, si las mismas se disponen todas en posición vertical, sería mínimo el valor del coeficiente de extinción. En función de estos conceptos se puede inferir que ante valores de K pequeños, la irradiancia en el perfil del canopeo es más uniforme que cuando son altos. También se deduce que una menor intercepción de luz de alta irradiancia en las hojas superiores, resultará en un mejor y mayor aprovechamiento en todos los estratos. En definitiva, las especies con arquitectura erectófila presentan valores menores de K y las especies planófilas mayores registros de este coeficiente, evidencia que permite afirmar que en las especies erectófilas la penetración de la luz al interior del canopeo es mayor, estando en este caso casi todas las hojas saturadas de fotones, contribuyendo la luz que reflejan los estratos superiores a la saturación de las inferiores. Con valores de IAF elevado, las masas foliares que presentan hojas en posición más vertical poseen una tasa fotosintética más elevada que aquellas que adoptan una disposición horizontal, al menos en condiciones de cielo despejado con buena irradiancia, a causa que se produce una menor saturación de luz de las hojas superiores y una distribución más uniforme a través de la masa foliar. Por ende, la disposición erectófila puede representar una ventaja significativa en la captación eficiente del recurso lumínico.

Capacidad y eficiencia de conversión de la energía lumínica en energía química

No toda la energía contenida en los fotones es convertida en energía química, sino que dependerá de la eficiencia que posea el sistema fotosintético para transformarla. El grado de dicha transformación se denomina Eficiencia de Conversión (\square) y difiere mucho de la máxima eficiencia potencial. Para poder calcular \square es necesario conocer el número de fotones requeridos para reducir un mol de CO_2 , conocido como Requerimiento Cuántico (\hat{e}). La inversa de

este parámetro se denomina Rendimiento cuántico que es el número de moles de CO₂ reducidos por cada mol de fotones interceptados. Las fórmulas correspondientes son las que se presentan a continuación:

$$\epsilon = \frac{\text{moles de fotones requeridos}}{\text{mol de CO}_2 \text{ reducido}}$$

$$\epsilon = \frac{\text{moles de CO}_2 \text{ reducidos}}{\text{moles de fotones absorbidos}} \times 100$$

Se ha determinado experimentalmente que el requerimiento cuántico para una especie C3 (tomate, pimiento, lechuga, berenjena) es de 12 moles de fotones y en las especies C4 (maíz, caña de azúcar) de 15 moles de fotones, por cada mol de CO₂ reducido. Si se considera que para la síntesis de una molécula de glucosa se requieren 112.000 cal.mol⁻¹ y que la energía de los fotones en el rango de 400 a 700 nm de longitud de onda es de 70.000 cal.mol⁻¹ y de 40.000 cal.mol⁻¹ para fotones de la región del rojo (700 nm), se obtiene un valor promedio para los fotones del PAR de 51.900 cal.mol⁻¹ de fotones. Es así que se puede calcular la eficiencia como se presenta a continuación:

$$\epsilon = \frac{112.000 \text{ cal.mol}^{-1}}{51.000 \text{ cal.mol}^{-1}} \times \text{moles requeridos} \times 100$$

El resultado de esta fórmula arroja un valor de 18,3% para una especie con metabolismo C3 y de 14,3% para una especie con metabolismo C4. Como puede apreciarse no importa la energía contenida en cada fotón, sino el número de ellos que son absorbidos por los pigmentos fotosintéticos. Sin embargo, a los fines prácticos se estima la eficiencia para ambos tipos de especies en un valor del 12%, en virtud que la mayor eficiencia teórica calculada para una especie C3 es neutralizada por mayores pérdidas de carbono producidas, dado que la respiración oscura (RO) más la fotorrespiración (FR), adquieren valores de 33% en su conjunto. Por su parte, las especies con metabolismo C4, al no poseer fotorrespiración, presentan pérdidas del orden del 20% ocasionadas únicamente por la RO. En síntesis, la biomasa generada durante el ciclo del cultivo está determinada por la integral del número de fotones absorbidos por la comunidad y el valor de la eficiencia de conversión: Biomasa total = I × dt.

Otro concepto de uso común es el de Eficiencia del Uso de la Radiación (EUR) que se define como la cantidad de materia seca (MS) formada por cada megajoule (MJ) de energía interceptada. Su expresión matemática es:

$$\text{EUR (g. MJ}^{-1}) = \frac{\text{Materia seca (g. m}^{-2})}{\text{Energía interceptada (MJ. m}^{-2})}$$

En los cultivos hortícolas realizados bajo cubierta es frecuente el uso de mallas sombreadas negras y aluminadas como técnica de control de la luz y la temperatura (Valera *et al.*, 2001; Oren-Shamin *et al.*, 2001). Existen en el mercado mallas de colores con propiedades fotométricas.

cas especiales para mejorar el aprovechamiento de la radiación solar (Ganelevin, 2008). Numerosos trabajos han evaluado la fotoselectividad de mallas de diferentes colores y sus efectos sobre la radiación total incidente (RTI: 350 a 1050 nm), la fotosintéticamente activa (PAR: 400 a 700 nm), la luz azul (LA: 400 a 500 nm), luz roja (LR: 600 a 700 nm) y luz roja lejana (LRL: 700 a 800 nm) que transmiten dentro del invernadero, así como el efecto que ocasionaron en el crecimiento y producción de frutos en plantas de tomate cultivadas en invernadero. Los resultados indican que las mallas de colores alteran la cantidad y calidad de luz transmitida sobre las plantas de tomate siendo las de color perla las que constituyen una alternativa para mejorar el rendimiento del cultivo en un 28% comparado con los rindes obtenidos con mallas negras y aluminadas, habitualmente utilizadas (Both, 2002; Retamates *et al.*, 2008; Ayala-Tafoya *et al.*, 2011). Las mallas de sombreo transmiten diferentes cantidades de RT y PAR, según su color, lo que se debe a que en la malla negra sólo la radiación que pasa a través de los orificios es transmitida, ya que los hilos de plástico negro son esencialmente opacos. En las aluminadas, parte de la luz es reflejada y dispersada y en las mallas de colores, una mayor fracción de la RT pasa a través de los hilos plásticos y es filtrada selectivamente (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Shahak *et al.*, 2004; Shahak *et al.*, 2008).

Monitoreos realizados en invernaderos ubicados en la zona de La Plata (Buenos Aires, Argentina), permitieron comprobar la reducción de la transmitancia producida por el polietileno, que puede disminuir hasta el 77% en la radiación PAR recibida en el interior de la estructura, respecto al exterior, como fue informado por Morelli *et al.* (2011); Carbone *et al.* (2012); Martínez *et al.* (2016a). El uso de pantallas antitérmicas en el interior de invernaderos en el gran La Plata no resultó efectivo para reducir la temperatura media del aire, produciendo además una disminución importante de la radiación PAR transmitida al interior de la estructura (Martínez *et al.*, 2018).

Masa del consumo de energía a través de la respiración oscura (RO) y fotorrespiración (FR)

La tasa de crecimiento, medida como la acumulación de materia seca (MS) de un cultivo se puede expresar a través del Coeficiente de Productividad Neta (C) cuyas unidades son g de MS. m⁻² de suelo.día⁻¹. Este índice representa la ganancia neta diaria de MS y estará en función del balance entre la energía sintetizada por fotosíntesis y la consumida, en los procesos de escoto y fotorrespiración, como ya se señaló en la ecuación b. Dicho balance variará con la ontogenia del cultivo, la tasa de crecimiento, con la cantidad de biomasa, con la relación entre órganos fotosintéticos versus órganos no fotosintéticos y las condiciones del ambiente (Anglés, 2001).

En términos generales, un cultivo aumenta su tasa respiratoria cuanto mayor es su demanda energética, tal es así que cultivos jóvenes en pleno crecimiento poseen mayores registros de respiración específica, es decir, por unidad de biomasa producida. Este incremento es debido a la mayor demanda para la creación de nuevas estructuras, formación de esqueletos car-

bonados y alta demanda energética para sostener el crecimiento vegetal. A medida que el cultivo madura y envejece, esta demanda se reduce y consecuentemente disminuye la respiración. Un cultivo consume en los procesos respiratorios entre el 50 y 75% de los carbohidratos fotosintetizados. La mayor tasa respiratoria se da en las raíces, ya que estas consumen de un 20 a 40% del total de los fotoasimilados producidos por la planta durante el día.

La respiración de mantenimiento tiene como objetivo sustituir estructuras que sufrieron degradación o desmantelamiento como el recambio enzimático y proteico, la absorción y transporte de nutrientes minerales. La respiración de crecimiento por su lado, representa el costo metabólico de convertir los productos de la fotosíntesis transportados en compuestos estructurales o de reserva. A medida que aumenta el crecimiento de un cultivo también incrementa su tasa de respiración y la proporción de la respiración del crecimiento respecto a la de mantenimiento.

Una estrategia para aumentar la productividad de un cultivo se basa en la reducción de la respiración de mantenimiento con el objetivo de destinar más carbono a la respiración de crecimiento. Se sabe que, bajo condiciones limitantes de agua y nutrientes, las raíces llegan a consumir hasta el 70% de los fotoasimilados que le llegan durante el día por la parte aérea de la planta, con el fin de aumentar su crecimiento y poder explorar más regiones del suelo, para subsanar estos recursos limitantes. Se infiere, por lo tanto, que un buen estado hídrico y nutricional de la planta reduciría estas pérdidas de carbono (Amthor, 1989; Azcón-Bieto y Talón, 2008). Otra estrategia para mejorar la producción vegetal es la selección de variedades que tengan bajo costo de respiración de mantenimiento, ya sea por un aumento en la eficiencia de fotoasimilados y/o en la vida media de sus proteínas (Day y Copeland, 1993; Ribas-Carbó *et al.*, 2008).

Un ejemplo hortícola: crecimiento y desarrollo en el cultivo de tomate

Crecimiento Vegetativo

En el cultivo de tomate el inicio de la formación de las hojas se lleva a cabo a intervalos de tiempo que oscilan de 2 a 3 días cuando la irradiancia y la temperatura del aire son óptimas. Si estas variables se alejan del óptimo, el ritmo de crecimiento es constante y se aplanan (Kinet, 1977). Las hojas jóvenes, los primordios foliares y los meristemas apicales compiten por los fotoasimilados disponibles, dependiendo entonces su crecimiento de dicha disponibilidad. Las mayores irradiancias promueven tanto la producción de primordios apicales como foliares, pero las temperaturas más elevadas favorecen la diferenciación de éstos últimos (Hussey, 1963), aumentando el crecimiento vegetativo.

Ensayos realizados con numerosos genotipos de tomate con variada sensibilidad a elevadas temperaturas, manifestaron respuestas diferenciales al incremento térmico. Las variedades termosensibles respondieron al aumento de temperatura con un incremento en la apertura es-

tomática, mientras que aquellos genotipos con moderada y elevada tolerancia térmica respondieron con el cierre estomático (Camejo, 2005). Estos últimos manifestaron una reducción en la capacidad de fijación de CO₂ y en el transporte electrónico que se genera en el proceso fotosintético, provocando una reducción en la acumulación de biomasa. Es importante destacar que el análisis de la fluorescencia de la clorofila constituye un indicador sensible de cómo se ve afectada la cadena transportadora de electrones y los daños que se ocasionan en el aparato fotosintético. También está documentado que el incremento de temperaturas puede afectar los sistemas antioxidantes enzimáticos como por ejemplo la actividad de la superóxido dismutasa (Camejo, 2005). Otras enzimas relacionadas con la protección de los cloroplastos como la ascorbato peroxidasa y la catalasa mostraron mayor estabilidad ante el incremento de temperatura (Alpi y Tognoni, 1991).

Las plantas de tomate no pueden incrementar la tasa fotosintética porque se saturan a elevadas irradiancias y regímenes térmicos (Santiago *et al.*, 1998). Estas condiciones ambientales favorecen la fotorrespiración produciendo pérdidas de acumulación de materia seca (Bar-Tsur *et al.*, 1985). Bleyaert (1991) informó que temperaturas mayores a 30 °C en invernaderos produce un incremento en la transpiración de plantas de tomate disminuyendo el potencial agua de las hojas (Stanghellini *et al.*, 1992). En este sentido es importante destacar que la cantidad de agua que se utiliza para el proceso fotosintético es muy pequeña en comparación con el agua que se pierde por transpiración o la que se almacena, determinando el estado hídrico del vegetal, y por ende en el crecimiento y producción de biomasa, fundamentalmente en la expansión de las hojas y raíces (Beadle *et al.*, 1985). Por esta razón, el mantenimiento de la turgencia de las plantas y la transpiración del cultivo son cruciales para sostener la correcta absorción de agua y nutrientes en las raíces. Cuánto más extensa y profunda sea la exploración radicular mayor será la eficiencia en la captación de agua y nutrientes minerales (Santiago *et al.*, 1998). A medida que la disponibilidad de agua es limitada, se reduce el contacto entre las raíces y el suelo con la consecuente reducción de la tasa fotosintética, el cierre estomático y la disminución de la producción de biomasa (Santiago *et al.*, 1998; Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Floración

La diferenciación de las estructuras florales es un proceso sumamente complejo que está determinado por numerosos factores entre los que se destacan la variedad, la temperatura, la irradiancia, la provisión de nutrientes minerales y agua, la competencia con otros órganos de la planta, y la presencia de situaciones desfavorables, tanto bióticas como abióticas. El hábito de ramificación de la planta también juega un rol determinante sobre la floración, produciéndose ésta en forma continua en plantas con hábito de crecimiento indeterminado, mientras que en los determinados lo hace cuando las condiciones son las adecuadas.

En ciertas circunstancias, la flor se separa de la planta antes de su apertura, fenómeno conocido como aborto floral, mientras que en otros casos se produce después de la apertura de

los pétalos, lo que se conoce como caída de la flor. Es frecuente que la última yema de la inflorescencia aborte mientras todavía es muy pequeña y, en determinados casos, puede producirse también el aborto de la primera yema floral, dejando solamente a las flores del centro continuar el crecimiento y desarrollo. Es entonces frecuente que en una misma inflorescencia haya diferentes estadios de desarrollo floral incluyendo al mismo tiempo yemas florales cerradas, flores abiertas y pequeños frutos cuajados (Atherton y Harris, 1986).

La diferenciación de la inflorescencia suele comenzar luego de tres semanas siguientes a la expansión de los cotiledones u hojas embrionales. Este proceso es fuertemente influenciado por la temperatura dado que registros de 15 °C pueden adelantar la floración unos 14 días respecto a plantas cultivadas a 25 °C, al mismo tiempo que el número de hojas formadas antes de la primera inflorescencia se reduce de 14 a la mitad (Calvert, 1957). Cuando la irradiancia es deficiente, el tiempo transcurrido hasta la apertura de la primera flor en el primer racimo se extiende, dependiendo de la radiación incidente acumulada, (expresada en $\mu\text{moles de fotones}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$). En verano, cuando la radiación es elevada, la apertura de las flores se produce unos 40 días luego de la expansión de los cotiledones, independientemente de la radiación incidente acumulada (Calvert, 1964).

En la planta de tomate, el fotoperíodo tiene poca incidencia sobre la formación de la flor (Calvert, 1964). Luego de formada la primera inflorescencia comienza el inicio de diferenciación de la segunda corona, estando ésta determinada fundamentalmente por la temperatura incidente en el cultivo. Estos procesos de diferenciación floral se verán retrasados cuando se dan sucesos de deficiencias nutricionales, fundamentalmente en nitrógeno, fósforo y potasio, que ocasionan retrasos generales de crecimiento vegetativo cuando dichos estreses son severos y se prolongan en el tiempo.

Polinización y cuajado del fruto

La fecundación de los óvulos fértiles es un proceso crucial que determina la formación de los frutos, y es posible distinguir en este proceso tres fases que son: la formación de los granos de polen, la polinización y la fecundación propiamente dicha.

La formación de los granos de polen y su viabilidad dependen de la correcta nutrición mineral y temperaturas adecuadas, dado que rangos térmicos que estén fuera del intervalo de 10 a 35 °C afectan severamente este proceso. El número de granos de polen formados por flor está determinado genéticamente.

La polinización eficiente ocurre cuando los granos de polen viables son recepcionados por el estigma, siendo éste proceso de vital importancia para garantizar el cuajado y posterior crecimiento del fruto. Para que esto suceda de manera eficiente la longitud del estilo y la altura del estigma deben estar a nivel respecto al cono de anteras o por debajo de él. La longitud del estilo está determinada genéticamente (Rick, 1978) y está fuertemente afectada por las condiciones de cultivo. El estigma está receptivo 1 a 2 días antes de la apertura de las anteras y la

posterior liberación de los granos de polen. El éxito de éste proceso depende fundamentalmente de que los granos de polen se adhieran al estigma para lo cual es aconsejable que la humedad relativa sea superior al 70% y la temperatura del aire oscile entre 17 a 24 °C (Ravestjin, 1970). En las variedades modernas de tomate se produce la autopolinización generalmente en el momento de la antesis, estando el estigma receptivo desde 2 días antes hasta 2 días después de este proceso.

Luego de ocurrida la polinización, es necesario que el grano de polen germine, penetre y forme el tubo polínico en el estilo para poder llegar al óvulo y fecundar la gameta femenina u oófera ubicada en el saco embrionario. Este proceso depende fundamentalmente de la temperatura imperante, dado que a 25 °C la germinación se produce en 1 hora y si la temperatura es menor este proceso requiere mayor tiempo. Rangos de temperatura fuera de 5 a 37 °C reducen significativamente el porcentaje de germinación de los granos de polen y el crecimiento de los tubos polínicos (Dempsey, 1970). Cuando el grano de polen llega al estigma, el tubo polínico comienza a crecer en la primera hora y si la temperatura es de 25 °C alcanza la micrópila del óvulo en 18 horas y se produce la fecundación de uno o más óvulos antes de las 30 horas.

En condiciones de temperaturas muy elevadas y humedad relativa baja, que se dan frecuentemente en los invernaderos en verano, el estigma suele secarse y perder su receptividad, produciéndose el aborto de flores por falta de fecundación; siendo muy frecuente el fallado en el cuajado de los frutos cuando las condiciones ambientales no son las favorables, con la consecuente caída de las flores después de la antesis e incluso antes de la polinización. Por otra parte, en regiones donde la irradiancia es baja al inicio del crecimiento del cultivo, aumenta hasta un 80 ó 90 % la proporción de frutos huecos con menor peso seco. Esto indica que la velocidad de desarrollo de los frutos y sus características están determinados por la temperatura; ubicándose la temperatura nocturna óptima en el rango de 15 a 20 °C (Ho y Hewitt, 1986; Agustí, 2004; Benito-Bautista *et al.*, 2016). La ocurrencia de bajas temperaturas pueden producir la formación de frutos partenocárpicos. La partenocarpia es el cuajado y crecimiento de los frutos sin que se desarrolle el embrión. En el caso particular del tomate, puede producirse naturalmente por causas genéticas o bien puede ser dependiente de las condiciones ambientales (Ho y Hewitt, 1986). El crecimiento inicial de los frutos es debido a la elevada concentración de hormonas, fundamentalmente las giberelinas, las que serían responsables de evitar la fecundación (Mapelli *et al.*, 1979).

Una práctica muy habitual que resuelve ésta problemática es la aplicación exógena de un regulador hormonal como el ANA (ácido naftalen-acético), ampliamente utilizado en el cordón hortícola del Gran La Plata, donde las condiciones ambientales que producen las fallas en el cuajado de frutos son las bajas irradiancias lumínicas y temperaturas inferiores a 10 °C, que se dan habitualmente en invierno en invernaderos sin calefacción (Carbone *et al.*, 2011; Morelli *et al.*, 2012; Martínez *et al.*, 2016b). El cuajado de los frutos mediante la partenocarpia inducida por reguladores de naturaleza hormonal, genera frecuentemente algún tipo de malformación y deficiencias en la calidad (Rylski, 1979; Martínez *et al.*, 2016b). Es entonces cuando se torna imprescindible la estimulación artificial de la polinización para la obtención de frutos con semi-

llas, dado que la presencia de éstas, garantiza mayores concentraciones de auxinas y por ende, frutos de mayor tamaño y peso fresco (Mapelli *et al.*, 1978). Con este fin se ha probado aumentar la eficiencia de la polinización con la vibración de flores, propulsión mecánica de aire y a través de insectos como *Bombus* spp., con resultados favorables para la polinización de diversos cultivos en este último caso (Banda, 1990; van de Eijnde, 1990; Buchmann, 1992; Estay *et al.*, 2001). Por otra parte, la fuerte tendencia de los consumidores de países europeos y Estados Unidos a preferir alimentos sin aplicación de productos de síntesis química, ha instado a los productores y abastecedores de estos mercados, a implementar el uso de abejorros en reemplazo de los reguladores hormonales (van de Eijnde, 1990; López, 1997; Ruijter, 1997).

Fuentes de fotoasimilados para el crecimiento de la planta y los frutos

Una hoja madura exporta un 20 a 30% del carbono fijado en dos horas y hasta un 40 a 50% en dos días (Khan y Sagar, 1969), siendo la exportación posterior reducida y gradual. Los asimilados importados por el fruto son una mezcla de los metabolitos que se están asimilando en las hojas maduras y los movilizados a partir de sus reservas. El traslado de carbono se incrementa cuando el primer racimo está llenando sus frutos demandando asimilados de la hoja más próxima, pero pudiendo movilizar también reservas de tallos y raíces (Khan y Sagar, 1967). En la planta de tomate, el suministro de metabolitos de los frutos proviene fundamentalmente de las dos hojas situadas debajo del racimo, pero también hay aporte de la hoja inmediatamente superior (Bonnemain, 1965 y 1966). Puede existir competencia por metabolitos entre racimos cuando el suministro es limitante retrasando la floración por periodos prolongados cuando las condiciones son desfavorables (Hurd *et al.*, 1979).

De los procesos fisiológicos que determinan el suministro y la demanda de asimilados, es la actividad fotosintética la de mayor relevancia, y depende de la disponibilidad de luz y de CO₂ en la atmósfera. Cuando la luz es escasa en las producciones tempranas o primicias, se puede favorecer la tasa fotosintética enriqueciendo la atmósfera con CO₂ y, de esta manera se incrementa la velocidad de exportación de los fotoasimilados (Hand, 1984). Ya se mencionó que la temperatura es un factor ambiental condicionante del crecimiento y rendimiento, dado que a temperaturas menores a 12 °C se reduce de manera considerable la exportación de fotoasimilados y el crecimiento se reduce drásticamente (Calvert, 1972). Sin embargo, con temperaturas de día/noche de 30/24 °C, se movilizan más fotoasimilados a los racimos en fructificación a expensas de las raíces, mientras que regímenes térmicos de 17/12 °C favorece al sistema radicular en desmedro de los racimos llenando los frutos (Calvert, 1972).

La relación inversa que se establece entre el número de frutos y su tamaño se atribuye a la competencia, fundamentalmente de carbohidratos, entre los frutos cuajados (Agustí, 2004; Azcón-Bieto y Talón, 2008). El desarrollo de los frutos está determinado por la capacidad de acumulación de metabolitos, que puede estar limitada por la incapacidad del propio fruto para acumularlos o por la falta de disponibilidad de los mismos. Este último factor es relevante

cuando el número de frutos es muy elevado, pero puede ser modificado favorablemente si se reduce la competencia entre los frutos en desarrollo, mediante la práctica del raleo o aclareo de frutos. Esta consiste en la eliminación, manual o química, de una parte de los frutos cuajados (Agustí, 2004), disminuyendo la competencia entre los frutos y restituyendo el crecimiento vegetativo, asegurando la provisión de metabolitos necesarios para el llenado de los frutos (Monsele, 1986; Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Referencias

- Agustí, M. (2004). *Fruticultura*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Alpi, A. y Tognoni, F. (1991). Crecimiento y desarrollo de las plantas en el invernadero. En: *Cultivo en invernadero* (pp. 79-127). Madrid: Mundi-Prensa.
- Amthor, J. S. (1989). *Respiration and crop productivity*. New York: Springer-Verlag.
- Anglés, M. (2001). Control climático y ciclo de cultivo. *Horticultura*, 19, 28-34.
- Atherton, J. G. y Harris, G. P. (1986). Flowering. In: J. G. Atherton y J. Rudich (Eds), *The tomato crop* (pp. 167-200). Cambridge: University Press.
- Ayala-Tafuya, F., Zatarain-López, D. M., Valenzuela-López, M., Partida-Ruvalcaba, L., de Jesús Velázquez-Alcaraz, T., Díaz-Valdés, T. y Osuna-Sánchez, J. (2011). Crecimiento y rendimiento de tomate en respuesta a radiación solar transmitida por mallas sombra. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 403-410.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2008). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana.
- Banda, H. (1990). *Pollination of greenhouse tomatoes by honeybees and bumblebees*. (Tesis Ph.D). Recuperada de University of Wales of Cardiff, School of Pure and Applied Biology.
- Bar-Tsur, A., Rudich, J. y Bravdo, B. (1985). Photosynthesis, transpiration and stomatal resistance to gas exchange in tomato plants under high temperatures. *Hortscience*, 60(3), 405-410.
- Barraza, F., Fischer, G. y Cardona, C. (2004). Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Valle del Sinú medio, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 22(1), 81-90.
- Beadle, C., Long, S., Imbomba, S., Hall, D. y Olemba, R. (1985). *Photosynthesis in relation to plant production in terrestrial ecosystems*. Oxford: Tycool International.
- Benito-Bautista, P., Arellanes-Juárez, N. y Pérez-Flores, M. E. (2016). Color y estado de madurez del fruto de tomate cáscara. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 115-130.
- Bleyaert, P. (1991). A study of plant-water relations in tomato. A contribution to the optimization of irrigation. *Ghenti Belgio*, 333.
- Bonnemain, J. L. (1965). Sur le transport diurne des produits d'assimilation lors de la floraison chez la tomate. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 260, 2054-2057.
- Bonnemain, J. L. (1966). Sur les modalités de la distribution des assimilates chez la tomate et sur ses mécanismes. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 266, 1106-1109.

- Both, A. J. (2002). Light conversions for plant growth. *Horticultural Engineering*,17(3), 4-7.
- Buchmann, S. (1992). Buzzing is necessary for tomato flower pollination. *Bumblebee Quest*,2, 1-3.
- Caldiz, D. y Gáspari, M. F. (1997). Análisis de los factores determinantes del rendimiento en papa (*Solanum tuberosum* L.) con especial referencia a la situación Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*,102(2), 202-229.
- Calvert, A. (1957). Effect of the early environment on development of flowering in tomato. I. Temperature. *Journal of Horticultural Science*,32, 9-17.
- Calvert, A. (1964). Growth and flowering of the tomato in relation to natural light conditions. *Journal of Horticultural Science*,34, 154-162.
- Calvert, A. (1972). Effects of day and night temperatures and carbon dioxide enrichment on yield of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science*,47, 231-247.
- Camejo, D. (2005). *Efecto de las altas temperaturas en la actividad fotosintética, y procesos relacionados con ésta, en plantas de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.)*. (Tesis Doctoral). Recuperada de Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Universidad de La Habana.
- Carbone, A., Morelli, G., Garbi, M., Argerich, C. y Martínez, S. (2011). Influencia de la dosis de ácido α -Naftoixiacético sobre la calidad de frutos de tomate. *Horticultura Argentina*,30(73), 86.
- Carbone, A., Garbi, M., Morelli, G., Martínez, S., Grimaldi, M. C. y Somoza J. (2012). Influencia del grado de envejecimiento del polietileno sobre la transmisión de radiación fotosintéticamente activa (PAR) hacia el interior de un invernadero parabólico. *Horticultura Argentina*,31(76), 22.
- Day, D. y Copeland, L. (1993). *Respiración*. En: Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (Eds), *Fisiología y Bioquímica Vegetal* (pp. 173-191). Madrid: McGraw-Hill/Interamericana.
- Dempsey, W. H. (1970). Effects of temperature on pollen germination and tube growth. *Rep. Tomato Genetics Coop.*,20, 15-16.
- Estay, P., Wagner, A. y Escaff, M. (2001). Evaluación de *Bombus dahlbomii* (Guer.) como agente polinizador de flores de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica*,61(2), 113-119.
- Ganelevin, R. (2008). World-wide commercial applications of colored shade nets technology (Chromatinet®). *Acta Horticulturae*,770, 199-203.
- Hand, D. V. (1984). Crop responses to winter and summer CO₂ enrichment. *Acta Horticulturae*,162, 45-64.
- Ho, L.C. y Hewitt, J. D. (1986). Fruit development. In: J. G. Atherton y J. Rudich (Eds), *The tomato crop* (pp. 201-239). Cambridge: University Press.
- Hurd, R. G., Gay, A. P. y Mountifield, A. C. (1979). The effect of partial flower removal on the relation between root, shoot and fruit growth in the indeterminate tomato. *Annals of Applied Biology*,93, 77-89.
- Hussey, G. (1963). Growth and development in the young tomato. I. Effect of temperatura and ligh intensity on growth of the shoot apex and leaf primordia. *Journal of Experimental Botany*,14, 316-325.

- Khan, A. A. y Sagar, G. R. (1967). Translocation in tomato: the distribution of the products of photosynthesis of the leaves of a tomato plant during the phase of fruit production. *Horticultural Research*,7, 61-69.
- Khan, A. A. y Sagar, G. R. (1969). Changing patterns of the distribution of the products of photosynthesis in the tomato plant with respect to time and to age of a leaf. *Annals of Botany*,33, 763-779.
- Kinet, J. M. (1977). Effect of light conditions on the development of the inflorescence in tomato. *Scientia Horticulturae*,6, 15-26.
- López, E. (1997). Uso comercial de abejorros polinizadores (*Bombus*) en cultivos hortícolas. *Revista Empresa y Avance Agrícola*,4, 8-9.
- Mapelli, S., Frova, C., Torti, G. y Soressi, G. P. (1978). Relationship between set, development and activities of growth regulators in tomato fruits. *Plant Cell Physiology*,19, 1281-1288.
- Mapelli, S., Torti, G., Badino, M. y Soressi, G. P. (1979). Effects of GA, on flowering and fruit set in a mutant tomato. *HortScience*,14, 736-737.
- Maroto, J.V. (1992). *Horticultura herbácea especial*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Martínez, S., Carbone, A., Garbi, M., Somoza, J., Grimaldi, M. C. y Cerisola, C. (2016a). Influencia del envejecimiento del polietileno sobre la transmisión de radiación fotosintéticamente activa (PAR) hacia el interior de un invernadero parabólico. *Revista Argentina de Agrometeorología*,VII, 74 - 83.
- Martínez, S., Garbi, M., Carbone, A., Morelli, G., Argerich, C., Pacheco, R. y Puch, L. (2016b). Aplicación de reguladores auxínicos: efecto sobre el cuajado de fruto en tomate para consumo fresco. *Horticultura Argentina*,35(87), 30-40.
- Martínez, S., Carbone, A., Grimaldi, M. C., Somoza, J. y Garbi, M. (2018). Modificación ambiental producida por una malla antitérmica en un invernadero parabólico. En: M. G. Vinocur, A. Rivarola y A. Irigoyen (Eds.), *XVII Reunión Argentina de Agrometeorología*. Villa de Merlo: AADA.
- Mendoza-Pérez, C., Ramírez-Ayala, C., Ojeda-Bustamante, W. y Flores-Magdaleno, H. (2017). Estimation of leaf area index and yield of greenhouse-grown poblano pepper. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*,9(1), 37-50.
- Monselise, S. P. (1986). *Handbook of fruit set and development*. Boca Ratón: CRC Press.
- Monsi, M. y Saeki, T. (1953). Über der lichtfaktor in den pflanzengesellschaften und seine bedeutung für die stoffproduktion. *Japanese Botany*,14, 22-52.
- Morelli, G., Carbone, A., Grimaldi, M. C., Somoza, J. y Martínez, S. (2011). Efecto de la antigüedad del polietileno sobre la radiación fotosintéticamente activa (PAR) recibida en el interior de un invernadero parabólico en La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Horticultura Argentina*,30(73), 23.
- Morelli, G.; Cremaschi, G.; Carbone, A.; Garbi, M.; Argerich, C. y Martínez, S. (2012). Raleo de frutos y uso de ácido α -naftoxiacético sobre el peso de fruto de tomate Elpida (Enza Zaden®). *Horticultura Argentina*,31(76), 25.
- Nuez, F. 1995. *El cultivo del tomate*. Madrid: Mundi-Prensa.

- Oren-Shamir, M., Gussakovsky, E. E., Spiegel, E., Nissim-Levi, A., Ratner, K., Ovadia, R., Giller, Y. E. y Shahak, Y. (2001). Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*,76, 353-361.
- Ramírez-Vargas, C. y Nienhuis, J. (2012). Evaluación del crecimiento y productividad del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo cultivo protegido en tres localidades de Costa Rica. *Tecnología en marcha*,25(1), 3-15.
- Ramos, E. y Rallo, L. (1992). Bases fisiológicas de la producción hortícola. En: *Nueva Horticultura. Tecnología y economía de los sistemas hortícolas intensivos*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Ravestjin, W. van. (1970). Setting of fruit in tomatoes, peppers and strawberries. *Annual Report, Glasshouse Crops Research Institute*,1970, 57-62.
- Retamates, J. B., Montecino, J. M., Lobos, G. A. y Rojas, L. A. (2008). Colored shading nets increase yields and profitability of highbush blueberries. *Acta Horticulturae*,770, 193-197.
- Ribas-Carbó, M., Flórez-Sarasa, I. y González-Meler, M. (2008). La respiración de las plantas. En: J. Azcón-Bieto y M. Talón (Eds), *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (pp. 265-285). Madrid: McGraw-Hill /Interamericana.
- Rick, C. M. (1978). The tomato. *Scientific American*,239, 67-76.
- Ruijter, A. 1997. Commercial bumblebee rearing and its implications. *Acta Horticulturae*,437, 261-269.
- Rylski, I. (1979). Fruit set and development of seeded and seedless tomato fruits under diverse regimes of temperatura and pollination. *Journal of the American Society for Horticultural Science*,104, 835-838.
- Salisbury, F. y Ross, C. (1994). *Fisiología vegetal*. México D.F.: Editorial Iberoamérica.
- Santiago, J., Mendoza, S. y Borrego, F. (1998). Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana*,9(1), 59-65.
- Satorre, E. H., Benech Arnold, R., Slafer, G., de la Fuente, E., Miralles, D., Otegui, M. y Savin, R. (2012). *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía.
- Shahak, Y., Gussakovsky, E. E., Gal, E. y Ganelevin, R. (2004). Colornets: crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Horticulturae*,659, 143-151.
- Shahak, Y., Gal, E., Offir, Y. y Ben-Yakir, D. (2008). Photosensitive shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops. *Acta Horticulturae*,797, 75-80.
- Sívori, E. (1975). *Consideraciones acerca de la producción mundial de alimentos vegetales*. Discurso con motivo de su nombramiento como Académico de Número de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria.
- Stanghellini, C., Meurs, W. y Van, M. (1992). Environmental control of greenhouse crop transpiration. *Journal of Agriculture*,51(4), 297-311.

- Valera, D., Molina, F. y Gilm J. (2001). Las mallas como técnica de control climático en invernaderos. *Vida Rural*, 8, 50-52.
- Viteri, M. L., Ghezán, G. y Iglesias, D. (2013). *Estudios socioeconómico de los sistemas agroalimentarios y agroindustriales N° 14. Tomate y lechuga: producción, comercialización y consumo*. Balcarce: Ediciones INTA.
- Zarandona, O. (2014). *Disposición de plantas, cultivares y densidades de población en la producción hidropónica de jitomate*. (Tesis de Maestría). Recuperada de Universidad Autónoma de Chapingo.

CAPÍTULO 6

Herramientas para el estudio de la respuesta fisiológica en hortalizas

Santiago Javier Maiale y Lucrecia Puig

El cultivo de hortalizas se encuentra a menudo con limitaciones que conducen a la necesidad de realizar estudios fisiológicos que permitan entender los mecanismos y procesos de las plantas con el fin de diseñar estrategias para eliminar o mitigar esas limitaciones en aras de aumentar tanto el rendimiento como la calidad de los productos obtenidos.

Para lograr este objetivo, se dispone de diferentes herramientas que podrían sintetizarse como aquellas que son destructivas y aquellas no destructivas. Las primeras, como su nombre lo indica, requieren que el material o parte de este se consuma en el proceso, permitiendo una sola medida para la muestra. Los métodos que se encuadran dentro de estas características son los que permiten los análisis más completos y complejos como podrían ser la determinación de diferentes compuestos químicos de las plantas y en caso más avanzados directamente todo el proteoma, el metaboloma y el ionoma.

Normalmente, las medidas destructivas en estudios fisiológicos en condiciones de producción se limitan al contenido de clorofila y carotenoides, elementos, azúcares y carbohidratos, medidas de capacidad antioxidante o, en el caso de algunos frutos, sólidos solubles (grados Brix). Muchas de estas medidas son realizadas en la parte cosechable, por lo que no se sacrifican plantas. Dentro de los estudios destructivos más complejos que se realizan están las llamadas “ómicas”, dentro de ellas pueden citarse en orden, desde la información genética hasta la manifestación del fenotipo, a la genómica, la transcriptómica, la proteómica, la metabolómica y por último la fenómica (Imagen 34).

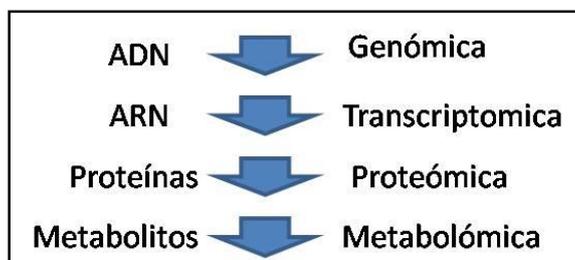


Imagen 34. Esquema de secuencia desde el ADN hasta los metabolitos y tipo de estudios que los comprenden

Hasta diciembre de 2018 se encontraban secuenciadas 42 plantas hortícolas (Chen *et al.*, 2019). Dentro de ellas, el tomate común (*Solanum lycopersicum* L.), tomate salvaje (*Solanum pimpinellifolium*), ají morrón (*Capsicum annuum* L.), ají amarillo o cristal (*Capsicum baccatum*), chile habanero (*Capsicum chinense*), berenjena (*Solanum melongena* L.), repollo (*Brassica oleracea*), repollo chino (*Brassica rapa*), papa (*Solanum tuberosum*), lechuga (*Lactuca sativa* L.), espinaca (*Spinacea oleracea*), rabano (*Raphanus sativus*), zanahoria (*Daucus carota*), pepino (*Cucumis sativus*), entre otras.

El conocimiento del genoma permite identificar secuencias codificadoras de genes y a partir de estos se pueden identificar cuales se sobre-expresan o reprimen cuando se realizan estudios de transcriptómica.

El primer método que permitió un secuenciamiento escalable y logro un avance importante en los estudios genómicos fue el método Sanger (Franca *et al.*, 2002). Este método implica la amplificación de las secuencias objetivo con una mezcla de nucleótidos normales y nucleótidos terminadores marcados, para luego separar los mismos mediante cromatografía capilar detectando los nucleótidos introducidos en orden. Esta técnica era muy útil para leer secuencias cortas pero muy lento para secuencias grandes. Posteriormente, las técnicas mejoraron y hoy en día puede secuenciarse un genoma en horas o solo días. Dentro de las tecnologías más usadas para el secuenciamiento se pueden nombrar al pirosecuenciamiento 454, secuenciación reversible por terminador (Illumina), secuenciamiento por ion conductor (Ion torrent), entre otros. Estas tecnologías disminuyeron los costos hasta 20 U\$S por cada mil millones de bases y se alcanzó en el 2014 el costo de secuenciar un genoma humano en 1000 U\$S (Bleidorn, 2017).

Otro tipo de estudio de mucha utilidad en evaluaciones de respuesta a diferentes estreses y aspectos fisiológicos son los estudios de transcriptómica, es decir, el estudio de la expresión de genes de las plantas. Estos estudios se realizaron en primer lugar mediante una técnica denominada Northernblot que consiste en hibridar el ARN extraído de las muestras a analizar con una secuencia del gen de interés marcado con un radionúcleo que permite detectar la presencia y abundancia mediante autoradiografía. Luego, se empezaron a usar técnicas de PCR (polymerasechainreaction) que eran llamadas semicuantitativas y se detectaban en un gel de electroforesis. Esta técnica era más segura de realizar pero menos precisa que el Northernblot. Posteriormente, se desarrollaron técnicas denominadas de *PCR en tiempo real* que utilizaban esta reacción pero con los nucleótidos marcados con fluoróforos que pueden ser detectados por el equipo en donde se realizan las mediciones. A grandes rasgos existen dos tipos de *PCR en tiempo real*, las que utilizan un gen como referencia, que por estudios previos se considera que no varía su expresión en las condiciones a las que fueron sometidas las plantas, este tipo de estudios son considerados semicuantitativos. Mientras que el otro tipo utiliza concentraciones diferentes de la secuencia del gen a analizar y funciona como una curva de calibración, este método es cuantitativo. No obstante, por costos y operatoria prácticamente solo se trabaja con el primero. Esta técnica de análisis de expresión de genes es omnipresente en laboratorios de fisiología vegetal que llevan a cabo estu-

dios moleculares. Estas técnicas descritas se utilizan para analizar los transcritos de un gen o grupo de genes en número limitado (Wang *et al.*, 2019).

Luego, con el avance de la tecnología, se ha llegado a evaluar no solo genes particulares sino todo el transcriptoma de las plantas y, para ello, se utilizan en forma genérica dos metodologías. La primera, consiste en la utilización de hibridación con el material genético marcado con fluoróforos sobre una placa que contiene secuencias de los genes de la especie en cuestión, estas placas son denominadas *microarrays*. La otra técnica, utilizada actualmente, es la denominada secuenciación de ARN, que consiste, como su nombre lo indica, en secuenciar todo el ARN mensajero extraído, permite clasificar por tipo y cantidad y así obtener un perfil completo de todos los genes expresados. Estas técnicas requieren largos procesamientos posteriores a la toma de datos para evaluar el comportamiento de los genes (Lowe *et al.*, 2017).

Posteriormente a la expresión de genes, otro tipo de estudios que se realizan son los análisis del proteoma, es decir, del conjunto de proteínas expresadas en un momento determinado y bajo una situación en particular. Estos estudios son de utilidad para identificar respuestas en un conjunto de proteínas relacionadas entre sí ante, por ejemplo, el ataque de un patógeno o el estrés provocado por factores abióticos. La utilidad de estudiar el proteoma es complementaria al transcriptoma, y permite tener una idea más acabada de la respuesta de la planta ante una situación particular.

La técnica proteómica tradicional incluía una separación de la muestra en un gel de electroforesis corrido en 2 dimensiones, por punto isoeléctrico y por peso molecular. Luego estas proteínas se cuantificaban e identificaban mediante espectrometría de masas.

Actualmente se utilizan otras técnicas que no implican el uso de separación en geles sino el marcado de las proteínas y la identificación mediante distintas variantes de espectrometría de masas. Una de las técnicas usadas es la llamada iTRAQ que consiste en digerir las muestras de tejido con una proteasa, como por ejemplo tripsina, y los péptidos resultantes son marcados por una reacción covalente en su N terminal. Iguales proteínas originan similares péptidos al ser tratados con la misma proteasa pero son marcados con diferentes compuestos, entonces las muestras se mezclan y se separan en HPLC para luego identificarse por espectrometría de masas en forma cualitativa y cuantitativa (Chandrasekhar *et al.*, 2014). Permitiendo detectar expresión o represión de proteínas en, por ejemplo, plantas tratadas con una hormona y su control o plantas bajo ataque de una plaga.

Por último, los estudios sobre metabolitos son abordados por la metabolómica, la cual puede separarse en técnicas de determinación de los compuestos orgánicos bioquímicos, (metabolómica propiamente dicha) y en las de detección de los elementos presentes en las plantas, también denominada ionómica. En el caso de los compuestos orgánicos estos suelen ser de bajo a medio peso molecular, como azúcares, aminoácidos, péptidos, lípidos, ácidos orgánicos, etc.

La determinación de los compuestos bioquímicos se realiza mediante cromatografías, que pueden ser gaseosas o líquida, generalmente asociada a espectrometría de masas para cuanti-

ficar e identificar los metabolitos. También, los compuestos orgánicos se pueden identificar con espectroscopia por Resonancia Magnética Nuclear (Zhang *et al.*, 2012).

En el caso de los elementos, para estudiar el ionoma, de gran aplicación en la nutrición vegetal, se utiliza el procesado de muestras mediante digestiones ácidas con detección por espectrometría de emisión o de absorción atómica, aunque en el caso del N se recurre a determinaciones por el tradicional método Kjeldahl o por combustión en los analizadores CN (carbono-nitrógeno).

Entonces, en resumen, hasta aquí se presentaron las diferentes “ómicas” que van desde el estudio del genoma hasta los metabolitos producidos como consecuencia de la actividad fisiológica de las células vegetales. Ahora se detallaran las técnicas que se utilizan para la determinación del fenotipo que se engloban en la denominada fenómica.

El estudio fenómico de una especie vegetal puede comprender determinaciones destructivas y no destructivas, pero en general se hace referencia a estudios no destructivos.

Es interesante destacar que los estudios fenómicos pueden ser realizados a nivel de hoja o planta con elementos manuales, a nivel de cultivo con el uso de drones o equipos montados en vehículos y también a nivel de predio o zona con el uso de satélites.

Algunas de las técnicas pueden usarse en todos los niveles como por ejemplo el NDVI (Índice diferencial de vegetación normalizada, por sus siglas en ingles), otros índices de reflectancia o la fluorescencia de la clorofila, mientras que métodos como la fijación de carbono en forma directa debe medirse en forma manual.

Se detallan a continuación algunas técnicas no destructivas para el estudio de la fisiología de las plantas.

Intercambio gaseoso

Es una de las mediciones más tradicionales de la fisiología vegetal. Con ello se pueden determinar la asimilación neta de carbono (P_n), medida generalmente en $\mu\text{molesCO}_2/\text{m}^2/\text{seg}$; la evaporación (Evap) medida en $\text{mmolH}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{seg}$; la conductancia estomática (G_s) medida en $\text{mmol}/\text{m}^2/\text{seg}$; la concentración de CO_2 en la cámara subestomática o intercelular medida en ppm (partes por millón) y también la temperatura foliar, medida o calculada. Los aparatos utilizados son analizadores de gases por infrarrojo de ahí la denominación de IRGAs (infrared gas analyzer). En los mismos se pueden diferenciar el cuerpo principal que contiene las baterías y la electrónica (a veces también los detectores) y la pinza que contiene la cubeta de detección en donde se aloja el material vegetal (Imagen 35). Estos equipos utilizan la detección de CO_2 en la longitud de onda de 4260 nm, que es en donde el CO_2 muestra una fuerte absorción, utilizando una lámpara de tungsteno para generarla. El modelo que actualmente se utiliza para el intercambio de gases y su interpretación bioquímica y biofísica es el de Farquhar (Farquhar *et al.*, 1980).

Existen 2 tipos de medidores de intercambio de gases, de ciclo cerrado y de ciclo abierto. Los primeros miden la concentración de CO_2 al inicio y al final y calculan el consumo en función del tiempo, del volumen y del área de las hojas o peso. Los de tipo abierto usan una cubeta en

donde es introducido un flujo de aire en forma continua y la concentración de CO₂ es medida en el aire de entrada y en el de salida. En estos sistemas que son los utilizados actualmente, el aire de salida de la cubeta de medición tendrá una menor concentración de CO₂ y una mayor humedad y será mayor la diferencia con los valores del aire atmosférico cuanto mayor sea la asimilación neta y la transpiración (Fernández y Gyenge, 2010).



Imagen 35. Equipo de nivel básico para medir intercambio gaseoso en plantas (ejemplo de medición en tomate)

Generalmente todos los equipos poseen regulaciones para el CO₂ y la humedad del aire que es dispensada a la cubeta y, de esta manera, controlar las condiciones de medición. Los equipos más sencillos poseen un solo sensor de CO₂ y utilizan una válvula para enviar en forma regular aire que proviene de la cubeta o aire de referencia para realizar los cálculos de intercambio de gases. Otros equipos más sofisticados poseen 2 detectores, uno que mide el aire de entrada y otro el de salida de la cubeta donde está la muestra a medir.

Las cubetas de medición pueden poseer, en el caso de los equipos más sofisticados, control de temperatura de la muestra, y todos los equipos permiten el agregado de un sistema de iluminación que permite tener la opción de controlar la irradiación y con ello realizar curvas de intensidad de luz vs. asimilación neta de carbono (P_n). Los datos obtenidos de estas curvas de intensidad de luz permiten conocer el punto de saturación de luz, el punto de compensación lumínica y el rendimiento cuántico de la fotosíntesis.

También, cuando se impide la llegada de luz a la cubeta de medición es posible medir la respiración ya que la fotosíntesis es nula.

Los equipos también tienen un sensor de radiación fotosintéticamente activa que permite medir la asimilación neta a la radiación actual o in-situ o, mediante el uso del complemento de luces, la radiación saturante que, dependiendo de la especie, puede ser de 800-1000 μmol.m⁻².s⁻¹ en plantas C3 o 1500-2000 μmol.m⁻².s⁻¹ en plantas C4.

Por otro lado, también pueden construirse curvas de Pn y concentración de CO₂ en el que se utiliza la concentración de CO₂ intercelular, llamadas curvas A/Ci. Con estas curvas pueden determinarse el punto de compensación de CO₂, tasa máxima de saturación de CO₂, la velocidad máxima de carboxilación de la rubisco y la tasa máxima de transporte de electrones (Imagen 36).

Las tasas de fotosíntesis neta en plántulas variaron según la especie siendo de 12 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en berenjena, 10 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en pepino, espinaca y hakusai, 15 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en repollo y 7 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en tomate, medidas a temperatura de entre 20 y 25 °C. En tomate, durante la floración se observa gran disparidad de valores de Pn dependiendo del cultivar y la posición de las hojas, encontrándose valores mayores en las partes media a altas de la planta en comparación con las inferiores. Estos valores rondaron de 10 a 17 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en las partes media y alta y de 2 a 8 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ en las partes bajas del canopeo. Así también, en berenjena durante la maduración se encontraron valores dispares dependiendo del cultivar y la posición de las hojas con valores desde 3 a 21 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Khan *et al.*, 2006; Acantrinei, 2010; Nemeskeri y Helyes, 2019).

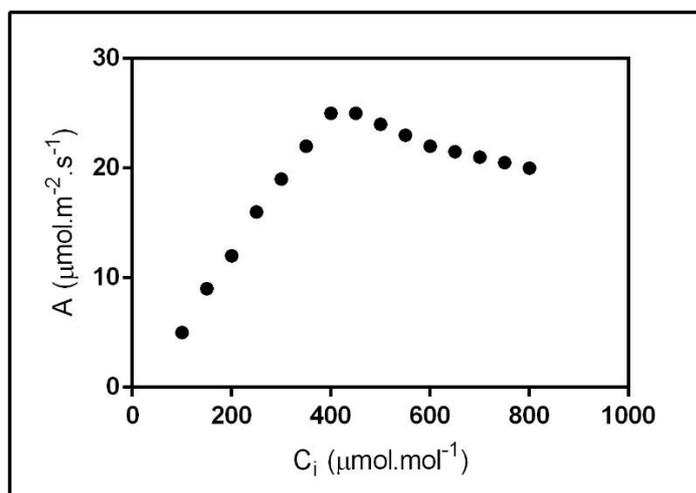


Imagen 36. Esquema de curva de asimilación neta (A) vs concentración de CO₂

Fluorescencia de la clorofila

Como complemento al intercambio gaseoso ha cobrado mucha importancia en los últimos tiempos el estudio de la salud y funcionalidad de los fotosistemas. Estos son estudiados principalmente con un tipo de equipos denominados fluorómetros, los cuales permiten investigar la fase lumínica de la fotosíntesis (Imagen 37).

Brevemente, puede decirse que cuando las hojas son iluminadas, las moléculas de clorofila son las encargadas de capturar luz e inician una serie de reacciones que producen poder reductor y ATP esenciales para la fijación de carbono. Las clorofilas se hallan empaquetadas en antenas en sendos fotosistemas denominados II y I por orden en la cascada de electrones (Imagen 38). En general, los estudios se realizan sobre el fotosistema II debido a la mayor anti-

güedad de las investigaciones y a que se dispone de modelos teóricos más desarrollados, además de que existe mayor asequibilidad de los equipos de medición.



Imagen 37. Mediciones con fluorómetro en tomate

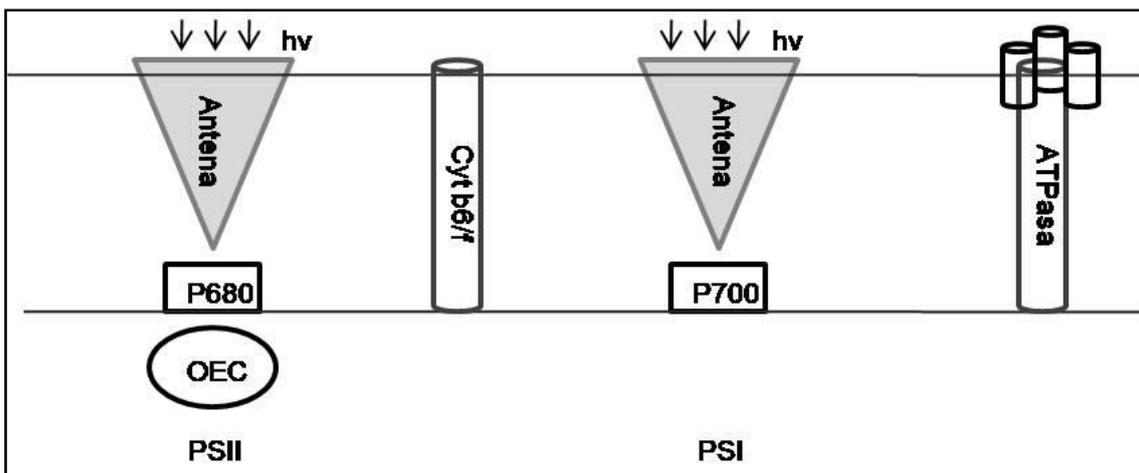


Imagen 38. Esquema de los fotosistemas II y I (PSII y I) con sus centros de reacción P680 y P700, respectivamente, OEC= complejo liberador de oxígeno, Cyt b6/f=Citocromo b6/f, hv= radiación fotosintéticamente activa

La energía que llega al fotosistema excita a las clorofilas, las cuales pueden des-excitar de 3 modos. El primero es a través de la liberación de electrones del agua en el OEC y su posterior cap-

tura por las quinonas a y b proceso que se llama disipación fotoquímica e inicia el transporte de electrones imprescindible para la fotosíntesis. Otros modos de disipar la excitación que tienen las clorofilas es a través del calor o la emisión de luz denominada fluorescencia de la clorofila.

Esta última puede detectarse y, de este modo, conocer a través de diversos parámetros el comportamiento de los fotosistemas a la influencia de diversos fenómenos como la alta irradiación, las bajas temperaturas y estreses bióticos (Gonzalez-Moreno *et al.*, 2008).

Existen varias metodologías utilizadas pero hay dos que destacan por la amplitud de uso, la fluorescencia modulada y la fluorescencia continua.

La fluorescencia modulada utiliza equipos que emiten 4 fuentes de luz distintas, luz roja de baja intensidad ($2 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), luz actínica de alta intensidad ($5\text{-}20 \text{ K } \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), luz actínica blanca de mediana intensidad ($200\text{-}600 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y también luz rojo lejano.

Un protocolo de trabajo típico con estos instrumentos consiste en mantener la muestra (una hoja de una planta, por ejemplo) en oscuridad durante 20 a 30 minutos para posteriormente comenzar a medir utilizando luz roja de baja intensidad, seguido de un flash de luz actínica de alta intensidad y corta duración (1 segundo), dependiendo del protocolo, continuar con luz actínica blanca durante algunos minutos para llevar al estado estacionario a los fotosistemas y luego volver a realizar flashes de alta intensidad (1 o varios dependiendo del protocolo), para o terminar con luz del rojo lejano (Fernández y Gyenge, 2010).

Estos protocolos permiten estimar el rendimiento cuántico máximo del fotosistema II, rendimiento cuántico actual, tasa de transporte de electrones, disipación no fotoquímica, etc.

La otra metodología se denomina fluorescencia continua y solo utiliza luz roja a 637 o 650 nm y las medidas duran una fracción del tiempo de la metodología anterior.

Un protocolo típico utiliza el oscurecimiento de la muestra durante 20 a 30 minutos y luego se realiza un flash con una duración de 1 a 3 segundos con luz roja de alta intensidad ($3\text{-}3,5 \text{ K } \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), con o sin un segundo flash de la misma intensidad con un intervalo de 0,1 a 0,5 segundos.

Lo que diferencia principalmente a estos equipos es la capacidad de registrar datos de fluorescencia a intervalos de tiempo tan cortos como 10 μ segundos, lo que posibilita la construcción de curvas que permiten evaluar las distintas etapas del flujo de energía desde la absorción por las clorofilas hasta el último aceptor del fotosistema I.

Los parámetros que pueden medirse son, entre otros, el rendimiento cuántico máximo del fotosistema II, la cantidad de aceptores de electrones en cada cadena transportadora de electrones activos, la disipación de energía por centro de reacción, la eficiencia del complejo liberador de oxígeno y la conectividad de los fotosistemas.

Termografía

Dentro de las principales funciones fisiológicas de las plantas se encuentran las relacionadas a la absorción y manejo del agua. Cuando las plantas abren los estomas para permitir la entrada de

CO₂, inevitablemente se produce una pérdida de H₂O en forma de vapor que es posible medir mediante un medidor de gases como se describió anteriormente. Esta pérdida de agua tiene una consecuencia termodinámica que consiste en enfriar el entorno donde se produce el pasaje de líquido a vapor mediado por la entalpia de vaporización. La tasa en la pérdida de agua de las hojas dependerá de la conductancia estomática, el espesor de la capa límite, el déficit de presión de vapor de la atmosfera, el contenido hídrico del suelo y las resistencias para conducir agua por los vasos, entre otros factores. Entonces, a mayor pérdida de agua en las plantas, menor temperatura del entorno, ya sea una hoja o el canopeo. Las diferencias de temperatura en las plantas pueden deberse, por ejemplo, a distinta resistencia a la sequía, mayor crecimiento de biomasa, cutículas dañadas por ataque de patógenos, daño en la raíz por nematodos u obstrucción de vasos por hongos.

La temperatura de las hojas puede medirse en forma directa con una sonda o en forma indirecta mediante el registro de la radiación infrarroja lejana del espectro electromagnético.

Según la ley de Planck, un cuerpo a determinada temperatura emite radiación de todas las longitudes de onda a una intensidad por unidad de área y ángulo sólido relacionado a la velocidad de la luz, la emisividad del objeto, la constante de Boltzmann, la constante de Planck, etc. Haciendo una aproximación a un cuerpo negro, en el que la emisividad es igual a diferentes temperaturas y longitudes de onda, la radiación emitida a temperatura ambiente es máxima a aproximadamente 10 μm . Luego de ser emitida, la radiación antes de llegar al detector atraviesa una porción de la atmosfera, que por su composición permite una ventana de máxima transmisión a longitudes de 8 a 13 μm .

Los cuerpos que emiten radiación térmica siguen los principios descritos en la ley de Stefan-Boltzmann, que describe la emisión de un cuerpo negro, el cual es considerado el emisor perfecto y, por lo tanto, tiene una emisividad de 1. Esta Ley relaciona la energía emitida en forma de radiación de un cuerpo negro con la temperatura del mismo elevada a la cuarta potencia. Entonces, si se cuantifica la radiación emitida por un objeto puede hallarse la temperatura del mismo (Ogando, 2009)

El tipo de instrumento que se utiliza para detectar la radiación se denomina bolómetro, que es un dispositivo que absorbe la radiación, varía su temperatura y esto provoca cambios en sus propiedades físicas que pueden ser medidas, siendo el ejemplo más común el termómetro de mercurio. Para detectar radiación infrarroja de tan baja intensidad se utilizan instrumentos denominados microbolómetros que pueden ser enfriados u operar a temperatura ambiente, estos junto a una lente de material especial transparente a infrarrojo y la electrónica correspondiente constituyen los elementos de un detector de temperatura por radiación infrarroja.

Dichos elementos pueden ser de dos tipos, de medida puntual o tipo cámara termográfica. El primero integra todas las temperaturas del área de medición, mientras que el segundo permite ver imágenes y obtener fotos o videos termográficos. En cualquiera de los dos equipos es necesario conocer una serie de parámetros para poder calcular la temperatura a partir de la radiación infrarroja receptada. Estos parámetros son:

- Emisividad: es el parámetro más importante. Relaciona la emisividad de un objeto cualquiera en relación a un cuerpo negro que posee el valor máximo para este parámetro.

tro, que por convención es igual a 1, teniendo el resto de los objetos emisividades menores. Por ejemplo, en vegetales se usan valores que van de 0,95 a 0,98; el agua tiene 0,96; la piel humana 0,98; mientras otros materiales como los metales pulidos tienen emisividades menores. También es de destacar que diferentes órganos de las plantas, como inflorescencias o tallo pueden tener pequeñas diferencias de emisividad.

- Temperatura reflejada aparente: usada para compensar la radiación reflejada por el objeto.
- Distancia entre el objeto y la cámara: importante, ya que parte de la radiación del objeto es absorbida por la atmosfera y la cámara también registra la radiación difusa de la atmosfera.
- Humedad relativa: indicativo del contenido de agua atmosférica y cómo las moléculas de agua influyen en la tramitancia de la radiación en la atmósfera. Este valor es importante para corregir la medición de temperatura del objeto.
- Temperatura del aire

Las cámaras termograficas más comúnmente utilizadas para plantas tienen sensibilidades de 0,1 °C y un número de pixeles que van de 19.400 a 324.000. El tamaño del pixel dependerá, al igual que en una cámara en la región del visible, del ángulo de la lente, la distancia al objeto y el número de pixeles de la cámara.

Muchas de las aplicaciones de la termografía están relacionadas a la predicción de enfermedades y estreses abióticos y es por eso es que se utilizan en detecciones a nivel cultivo, por lo que suelen usarse montadas en drones.

Radiación electromagnética absorbida y reflejada

La radiación electromagnética está compuesta de diversas longitudes de onda, entre las que se ubica la fotosintéticamente activa (400 a 700 nm), ocupando también el rango del espectro visible por los humanos. Existen numerosas técnicas que utilizan la reflexión, absorción y tramitancia de la radiación electromagnética en diferentes longitudes de onda para detectar propiedades de las hojas de las plantas o de los cultivos a nivel de predio.

Parte de esta radiación fue descrita en el apartado anterior donde se trato el uso de la misma para medir temperatura en forma remota. Ahora se describirán algunos métodos de uso común en fisiología vegetal que se utilizan para describir propiedades de los vegetales.

El más utilizado es el de la absorbancia para estimar el contenido de clorofila en las hojas, del cual el más común es el método SPAD. Este método se basa en la ley de Lambert-Beer, la cual relaciona la absorción de la luz por una sustancia con la concentración de ésta, su absorptividad molar y la longitud del cuerpo que atraviesa. De esta manera, la absorbancia $A = \epsilon \cdot c \cdot l$, donde ϵ es el coeficiente de extinción molar y l la longitud del cuerpo.

Como en este caso se quiere medir una misma sustancia (clorofila) el ϵ es constante en todas las mediciones entonces, midiendo la absorbancia y conociendo el espesor del cuerpo se puede estimar el contenido de clorofila. La clorofila tiene dos picos de absorción, en el azul y en

el rojo y por cuestiones prácticas se utiliza esta última para el diseño de los equipos de medición. Las longitudes utilizadas varían con el fabricante pero se usan entre 650 a 680 nm, con lo cual la absorbancia es proporcional al contenido de clorofila. Por otro lado, para realizar los cálculos es necesario conocer el espesor del objeto o longitud de la sección medida y para eso se utiliza la absorbancia del agua en el rango del infrarrojo cercano alrededor de 940 nm. Esto permite estimar el espesor de la hoja medida y completar la formula de Lambert-Beer.

Existen en el mercado diversos equipos que miden en unidades SPAD (Soil Plant Analysis Development) (Imagen 39), CCI (Chlorophyll Content Index) o en μmoles de clorofila. m^{-2} de hoja. Estas mediciones sirven tanto para conocer el contenido de clorofila que puede variar ante estreses bióticos o abióticos así como para estimar en forma indirecta el contenido de nitrógeno de las muestras. Esta última es la principal aplicación de estos equipos, siendo una importante herramienta de diagnostico en la nutrición nitrogenada.



Imagen 39. Medición de índice de verdor (unidades SPAD) en tomate

Por otro lado, para medir a nivel cultivo la radiación interceptada por el mismo, se utilizan técnicas que contemplan la absorción por el canopeo, con equipos registran la radiación incidente y la transmitida. Con este tipo de mediciones se puede estimar el grado de cobertura, la eficiencia de interceptación de radiación o el área foliar en forma indirecta. Los equipos más comunes que miden radiación se denominan ceptómetros. Se construyen como barras de 1 m o 50 cm y se utilizan midiendo la radiación incidente y la transmitida a nivel del suelo, permitiendo integrar todos los puntos en el largo de la barra (Imagen 40). Luego, si se conoce el coeficiente de extinción y el ángulo del sol puede calcularse el área foliar; aunque este índice presenta numerosos errores, por lo que este tipo de equipo se utiliza para calcular la radiación interceptada, principalmente. Los ceptómetros son de uso corriente en diversos cultivos, sobre todo en cereales y plantas de poco desarrollo vertical.



Imagen 40. Ceptómetro (A). Medición de radiación interceptada en tomate (B)

En plantas de gran desarrollo vertical como las frutales o forestales, para estimar radiación interceptada se utiliza la fotografía hemisférica que consiste en tomar fotografías a nivel del suelo hacia la copa de los árboles y luego, mediante el uso de software estimar la fracción correspondiente a las plantas y al cielo. Si bien puede hacerse en forma manual, existen equipos que permiten tomar las fotografías y calcular la fracción vegetal en forma automática, aunque presentan numerosos problemas metodológicos como la resolución de las fotografías, la capacidad de diferenciar el tejido vegetal del fondo y también presenta el inconveniente del movimiento de las ramas y las hojas por el viento al momento de tomar las fotos.

Por otro lado existe, una tercer técnica que podría considerarse una combinación de ambas y mide la interceptación de la radiación entre 320 y 490 nm mediante un dispositivo en diversos

ángulos al mismo tiempo, tanto sobre el canopeo como debajo de él y permite estimar la radiación interceptada y el área foliar en forma más precisa.

Otra metodología que se utiliza cada vez más es la detección de la radiación reflejada. Esta técnica tiene la ventaja, a diferencia de la anterior, que puede utilizarse a escala de cultivo e inclusive a nivel de grandes áreas mediante el uso de equipos montados en drones o satélites. Cuando un haz de luz de diferentes longitudes de onda impacta sobre un objeto, parte de esa radiación será absorbida, parte transmitida y parte reflejada. El tipo de longitudes de onda y la composición del material determinarán qué longitudes de onda y en qué cantidad de absorben, transmiten o reflejan.

Las plantas en crecimiento al tener clorofila presentan altas absorciones en el rango 400 a 700 nm con menor absorción en el verde y una gran reflexión en el rango del infrarrojo cercano (Imagen 41).

Entonces, los equipos de medición pueden dividirse en aquellos que escanean todo el espectro reflejado, denominados espectralradiómetros, y aquellos que poseen filtros para detectar algunas longitudes de onda. Estos equipos, a su vez, pueden usar la radiación reflejada natural como en el caso de equipos montados en drones o satélites, o utilizar emisores para las longitudes deseadas como algunos de los equipos manuales. Con los primeros pueden luego construirse numerosos índices relacionados con diferentes compuestos presentes en las plantas con una sola toma de datos, aunque el costo y la operatividad de estos equipos los hacen solo aptos para investigación. Mientras que los equipos que permiten conocer la radiación reflejada de un número restringido de longitudes de onda encuentra mucha aplicación en la fisiología vegetal.

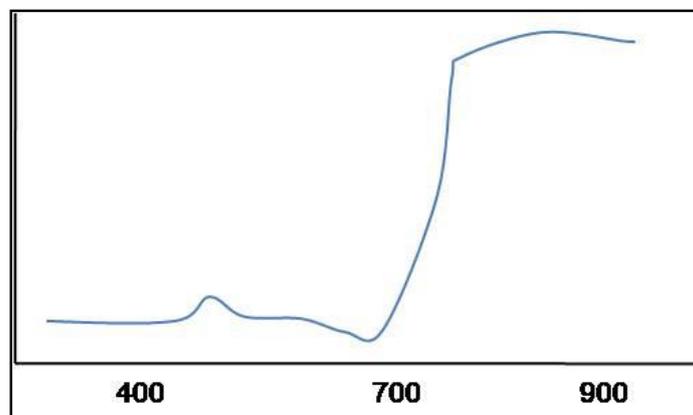


Imagen 41. Curva típica de luz reflejada por una hoja

El principal índice utilizado es el NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) que se emplea para detectar enfermedades, estimar biomasa y contenido de nitrógeno de las plantas. Este índice se usa en equipos manuales, drones y desde satélites, y usa la radiación roja (R) e infrarroja cercana (NIR) reflejada mediante un índice que adquiere la siguiente forma:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Los valores de las longitudes medidas pueden variar pero, por ejemplo, en el equipo portátil GreenSeeker Handheld se utilizan 660 y 780 nm con un ancho máximo de 25 nm. Este equipo, y varios de su mismo tipo, se utilizan principalmente para calcular la necesidad de nitrógeno de un cultivo para ajustar las dosis de fertilización.

El modo de trabajar es similar al utilizado con los medidores de clorofila como el método SPAD, en donde se preparan pequeñas áreas del cultivo sin limitaciones en la provisión de nitrógeno y luego se comparan mediciones en estas áreas con las del cultivo en general y mediante curvas de calibración se estima la necesidad de fertilizante de acuerdo al rendimiento esperado.

También existen otros índices que permiten estimar la eficiencia de uso de la radiación como el PRI (Photochemical Reflectance Index) que mide el cambio en la composición de los carotenoides relacionados con el proceso fotosintético y que, analizados en conjunto con el NDVI permite estimar la fijación de CO₂ en forma remota (Peñuelas *et al.*, 2011). El PRI utiliza el mismo formato que el NDVI pero se miden las radiaciones reflejadas a 531 y 570 nm.

Existen otros numerosos índices para estimar biomasa, vitalidad, contenido hídrico, antocianinas, carotenoides, etc.; pero por lo general se utilizan cuando se realizan mediciones simultáneas con equipos que capturan todo el espectro de radiación reflejada.

Referencias

- Acantrinei, L. (2010). Photosynthesis rate, transpiration and stomatal conductance of vegetable species in protected organic crops. *Lucrari Stiintifice seria Agronomie*,53(1), 32-35.
- Bleidorn, C. (2017). Sequencing techniques In: Bleidorn, C. (Edit.), *Phylogenomics. An introduction* (pp. 43-60). Springer International Publishing.
- Chandrasekhar, K., Dillep, A., Lebonah, E. y Kumari J. (2014). A short review on proteomics and its applications. *International Letters of Natural Science*,12(1), 77-84.
- Chen, F., Song, Y., Li, X., Chen, J., Mo, L., Zhang, X., Li, Z. y Zhang, L. (2019). Genome sequences of horticultural plants: past, present, and future. *Horticultural Research*,6(112), 1-23.
- Farquhar, G., von Caemmerer, S. y Berry, J. (1980). A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C3 species. *Planta*,149, 78-90.
- Fernández, M. y Gyenge, J. (2010). *Técnicas de medición en ecofisiología vegetal: conceptos y procedimientos*. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Franca, L., Carrilho, E. y Kist, T. (2002). A review of DNA sequencing techniques. *Quarterly Review of Biophysics*,35(2), 169-200.
- Gonzalez-Moreno, S., Perales Vela, H. y Salcedo Alvarez, M. (2008). La fluorescencia de la clorofila a como herramienta en la investigación de efectos tóxicos en el aparato fotosintético de plantas y algas. *Revista de Educación Bioquímica*,27(4), 119-129.
- Khan, S., Yoshida, Y. y Islam, S. (2006). Characteristics of photosynthetic and chlorophyll fluorescence in different vegetable species. *Asian Journal of Plant Science*,5(2), 266-270.

- Lowe, R., Shirley, N., Bleackley, M., Dolan, S. y Shafee, T. (2017). Transcriptomics technologies. *PLoS Computational Biology*,13(5), e1005457.
- Nemeskeri, E. y Helyes, L. (2019). Physiological responses of selected vegetable crop species to waters stress. *Agronomy*,9(447), 1-19.
- Ogando K. (2009). Microbolomtros para la deteccion de la radiacion infrarroja lejana. (Tesis Maestria). Recuperada de Instituto Balseiro.
- Peñuelas, J., Garbulsky, M. y Filella, I. (2011). Photochemical reflectance index (PRI) and remote sensing of plant CO₂ uptake. *New Phytologist*,191, 596-599.
- Wang, B., Kumar, V., Olson, A. y Ware, D. (2019). Reviving the transcriptome studies: an insight into the emergence of single-molecule transcriptome sequencing. *Frontiers in Genetics*,10, 384.
- Zhang, A., Sun, H., Wang, P., Han, Y. y Wang, X. (2012). Modern analytical techniques in metabolomics analysis. *Analyst*,137, 293-300.

CAPÍTULO 7

Manejo de cultivos en el contexto de producción actual

Susana Beatriz Martínez y Mariana Garbi

La producción de hortalizas en áreas urbanas y periurbanas comprende prácticas agrícolas que se desarrollan dentro y alrededor de las ciudades. En estas áreas existen problemas como el uso intensivo de insumos, la recurrente aparición de plagas y enfermedades y ciertas formas de producción que pueden resultar potencialmente riesgosas para la salud de los trabajadores (Mitidieri *et al.*, 2012). En la actualidad, la horticultura enfrenta el desafío de producir alimentos de calidad, manteniendo buenos niveles de rendimiento, pero garantizando también la inocuidad de los productos, la sustentabilidad ambiental y la seguridad de los trabajadores, objetivos que pueden lograrse mediante la aplicación de las Buenas Prácticas Agrícolas. A esta situación se le suma la prohibición del uso de bromuro de metilo como fumigante del suelo por su reconocido efecto negativo sobre la capa de ozono, ya que luego de su aplicación al suelo, entre un 50 y 95% puede pasar en forma de emisiones gaseosas a la atmósfera, liberando átomos de bromo que reaccionan con el ozono, disminuyendo su concentración en la atmósfera y incrementando la emisión de rayos ultravioleta hacia la superficie terrestre (FAO, 1998; Vilaseca *et al.*, 2008).

En los últimos años se ha trabajado intensamente en la evaluación y adaptación de prácticas compatibles con formas de producción más sustentables, sobre las que se desarrollarán a continuación aspectos vinculados a sus fundamentos, presentando resultados de las principales experiencias locales.

Solarización, biofumigación y biosolarización

La solarización consiste en el calentamiento del suelo a través de la radiación solar. Para su realización el suelo debe encontrarse húmedo y cubierto con una lámina de polietileno transparente durante los meses más cálidos, dependiendo su eficiencia para el control de adversidades de la cantidad de días de exposición y de las temperaturas alcanzadas (Parra *et al.*, 2015). Esta práctica resulta efectiva para el control de organismos termófilos, cuya viabilidad se afecta por la exposición acumulativa a temperaturas de 37 °C o más, aunque se ha observado poca efectividad para el control de hongos fitopatógenos o malezas que se ubican a cierta profundi-

dad (particularmente con rizomas o bulbos), así como para algunos endoparásitos como *Meoidogyne* spp. Una limitante de esta técnica es que puede aplicarse solo en zonas con alta disponibilidad de radiación solar y en las épocas de mayor temperatura, dado que se recomienda que el suelo alcance niveles térmicos de 30 a 50 °C en los primeros 30 cm de profundidad por al menos 30 a 60 días. Algunas experiencias de solarización reportan un efecto biocida en profundidad, independiente de la temperatura alcanzada en el suelo, lo que podría atribuirse a la liberación de sustancias volátiles a partir de la descomposición de la materia orgánica y a la acción de microorganismos; reforzándose así la acción desinfectante de la solarización (Vuelta Lorenzo, 2014).

La técnica que aprovecha la acción de sustancias volátiles producidas por la biodegradación de la materia orgánica en el control de los patógenos de las plantas se denomina biofumigación, y su eficacia se incrementa cuando se incluye en un sistema integrado de producción de cultivos (Bello *et al.*, 2000). Combinando la incorporación de materiales orgánicos al suelo con la solarización se aprovechan y potencian los efectos de ambos métodos. Para la realización de la biofumigación deben incorporarse al suelo materiales orgánicos (abonos verdes, estiércoles, restos de cultivos) y luego cubrirlos con polietileno transparente a la radiación solar e impermeable a la radiación térmica y sustancias volátiles. La biofumigación puede llevarse a cabo durante un periodo más breve que la solarización y su efecto es independiente de la temperatura que se alcance (Vuelta Lorenzo, 2014). La combinación de ambas técnicas se define como biosolarización y Vilaseca *et al.* (2008) establecen una diferencia en función de las temperaturas registradas en el suelo, refiriéndose a biofumigación cuando la temperatura alcanza niveles de 25 °C y a biosolarización cuando se registran valores de al menos 45 °C.

El material orgánico a incorporar debe estar preferentemente fresco y presentar una relación C/N de 8 a 20, utilizándose entre 50 y 100 t.ha⁻², requiriéndose las dosis mayores para suelos con problemas severos de nemátodos u hongos (Bello *et al.*, 2000). Existen evidencias de que cualquier tipo de materia orgánica puede generar efecto biofumigante, dependiendo de la dosis y método de incorporación; produciéndose en su degradación la liberación de gases, ácidos, amonio, nitratos, etanol, metano, isotiocianatos, entre otros compuestos, que actúan sobre el control o eliminación de patógenos (Gómez *et al.*, 2006). En este sentido, se observó que el abono verde de crucíferas presenta efecto supresor de organismos patógenos, relacionado a la presencia de compuestos como los glucosinolatos, que por hidrólisis producen isotiocianatos, considerados tóxicos. La eficacia del efecto biofumigante depende de la crucífera utilizada, las condiciones ambientales (siendo más eficaz con temperaturas del aire de 12 a 20 °C), el estado fenológico al momento de la incorporación (disminuyendo el contenido de glucosinolatos a partir de la floración en la mayoría de las especies) y otros factores como pérdidas por volatilización, percolación, absorción por las arcillas o acción microbiana (Bello *et al.*, 2000).

Los materiales orgánicos, además de su efecto biofumigante, generan modificaciones en las características físico-químicas del suelo al que se los incorpora, siendo importantes analizar sus características iniciales y las potenciales consecuencias (positivas o negativas) luego de su degradación (Cuellas *et al.*, 2019).

En la zona de La Plata, una limitante para la desinfección del suelo por métodos físicos se encuentra en la temperatura que puede alcanzarse en el mismo, aún cuando se utilicen distintos métodos para su elevación, por lo que la técnica adecuada sería la biofumigación. A modo de ejemplo, en la Tabla 12 se presentan los valores térmicos registrados a 5 cm de profundidad en el suelo desnudo de un invernadero tipo capilla con abertura cenital entre junio y septiembre de 2000. Este suelo, cubierto con polietileno verde casi translucido produjo incrementos significativos solo sobre las temperaturas medias máximas, alcanzándose valores de entre 17,9 y 18,6 °C (Garbi *et al.*, 2001). Avanzando hacia meses más cálidos, los valores se incrementan, según se registró también en La Plata, en el suelo de un invernadero parabólico entre los meses de octubre y noviembre (Tabla 13) (Martínez *et al.*, 1998). Mediciones realizadas en enero de 2017 en suelos sin cobertura de un invernadero parabólico, arrojaron valores de temperaturas medias de 26,5 °C a 28 °C, con máximas absolutas de 40 °C a 43,1 °C.

Tabla 12: Temperatura en suelo desnudo a 5 cm de profundidad bajo invernadero. La Plata (Buenos Aires), 2000

Tempertura	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Media (°C)	14,0	11,2	13,0	14,0
Máxima media (°C)	16,7	14,2	16,0	16,2
Mínima media (°C)	12,1	9,2	10,8	12,2

Tabla 13: Temperatura del suelo a 5 cm de profundidad bajo invernadero. La Plata (Buenos Aires), octubre – noviembre de 1997

Tratamiento	Temperatura (°C)		
	Máxima media	Mínima media	Media
Suelo desnudo	22,5	18,4	28,2
Polietileno negro	23,1	19,8	27,6
Polietileno naranja	25,8	22,0	30,8

En el mismo invernadero, en octubre de 2012, el suelo se sometió a un tratamiento de biofumigación durante 15 días. En un sector se incorporó brócoli finamente trozado y en otro cama de pollo (5 kg.m⁻² de cada material), cubriendo el suelo con polietileno transparente de 50 μm (Imagen 42A). La temperatura alcanzada a 5 cm de profundidad no fue significativamente modificada por el tipo de material incorporado para la biofumigación, ubicándose en el rango de 11,7 a 23,3 °C durante la mayor parte del tiempo, con una temperatura media de 22,3 °C en el suelo biofumigado con cama de pollo y 23,1 °C con brócoli. Ninguno de los dos tratamientos fue efectivo para lograr la eliminación completa de nemátodos, contabilizándose 1 y 2 nemátodos.cm⁻³ de suelo en la biofumigación con brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) y con cama de pollo, respectivamente.

En septiembre de 2018 se volvió a registrar la temperatura a 10 cm de profundidad en un sector del invernadero que se sometió a biofumigación con brócoli (5 kg.m⁻²) por 29 días y en otro sector que no se biofumigó, utilizándolo como testigo (Imagen 42B. En la Tabla 14 se presentan los valores alcanzados.



Imagen 42. Suelo cubierto con polietileno transparente durante la biofumigación (A). Ensayo de biofumigación con brócoli: parcelas a biofumigar y parcelas testigo (B)

Tabla 14: Temperatura del suelo a 10 cm de profundidad bajo invernadero durante el proceso de biofumigación con brócoli. La Plata (Buenos Aires), septiembre de 2018

Tratamiento	Temperatura (°C)		
	Máxima media	Mínima media	Media
Suelo sin biofumigación	27,1	10,4	19,2
Suelo en biofumigación	35,5	15,3	24,4

Puede concluirse que en las experiencias de biofumigación realizadas en La Plata, la práctica fue efectiva para reducir la cantidad de nemátodos del suelo, pero en ninguna de las situaciones se logró su erradicación. De esta manera, es necesario continuar ajustando la técnica en cuanto a periodos del año y duración del tratamiento para mejorar su efectividad, así como utilizarla integrada a programas de manejo que contemplen otras prácticas culturales y medidas que prevengan la acción negativa de adversidades edáficas sobre los cultivos.

Uso de plantas injertadas

El injerto consiste en la unión de dos plantas afines en la que se aprovechan las características deseables de la raíz de una ellas, utilizándola como pie, patrón o portainjerto, sobre la que se adosa la variedad (copa) cuyo producto se desea cosechar (de Miguel Gómez, 2011). La

práctica del injerto en plantas herbáceas otorga beneficios en los sistemas productivos que los implementan, especialmente cuando esta práctica se realiza dentro de un sistema de manejo integrado, utilizándose exitosamente en tomate, pimiento, berenjena y cucurbitáceas. Las características genéticas de los distintos pies disponibles aportan a la planta tolerancia o resistencia a estreses bióticos y abióticos, pudiendo incluso mejorar la productividad y la calidad nutracéutica de los productos obtenidos (Maurya *et al.*, 2019). Entre los aspectos negativos del uso de plantas injertadas pueden mencionarse el costo del plantín, la aparición de incompatibilidades entre el pie y la copa y modificaciones en la fenología que se manifiestan fundamentalmente como un retraso en la floración (Ozores-Hampton *et al.*, 2010).

En la Argentina, el uso más generalizado de plantas injertadas se da en el cultivo de tomate, especie en la que los materiales comerciales disponibles como pie son híbridos interespecíficos de *Solanum lycopersicum* L. x *Lycopersicon hirsutum* Dunal (Ozores-Hampton *et al.*, 2010; de Miguel Gómez, 2011). En general, estos pies brindan protección frente a: Virus del mosaico del tomate, Fusariosis (*Fusarium oxysporum lycopersici* Razas 0, 1, 2; *Fusarium oxysporum radicum*), Verticilosis, marchitamiento (*Verticillium albo-atrum*, *Verticillium dahliae*), Raíz corchosa (*Pyrenochaeta lycopersici*), Marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*), *Fulvia fulva*, *Pseudomonas syringae*, Nemátodos (*Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica*). Además, experiencias realizadas en La Plata, sobre suelos infestados naturalmente con el falso nemátodo del nudo de la raíz (*Nacobbus aberrans*) han demostrado que diversos pies pueden comportarse como tolerantes al mismo, habiéndose obtenido rendimientos adecuados en condiciones en que plantas sin injertar no pudieron prosperar satisfactoriamente (Garello, 2013; Ducasse, 2014).

En solanáceas, la técnica de injerto más utilizada es la de empalme o tubo, que consiste en cortar el pie y la copa en ángulos de 45°, ponerlos en contacto y sostenerlos con una pinza especial en forma de tubo, para que ambas partes se mantengan en contacto (Oda, 1995; Miguel y Camacho, 2017) (Imagen 43A). El trasplante puede realizarse unos 15 días después de la injertación, evitando cubrir con tierra la cicatriz del injerto para que la copa no emita raíces y se pierdan las propiedades que brinda el pie (Imagen 43B). También es importante eliminar los brotes que puedan generarse a partir del pie. En caso de realizar trasplantes a campo, se recomienda no hacerlo en días de viento que pueden acelerar la deshidratación o generar daños mecánicos en la zona de unión. También es muy importante no descuidar el riego (Johnson *et al.*, 2011).

En general, los pies de injerto transmiten a la parte aérea un crecimiento vigoroso que permite la conducción de la planta a más de una rama. La cantidad de tallos que la planta pueda soportar sin afectar su rendimiento ni el tamaño de los frutos dependerá de la combinación pie-copa y de las condiciones de manejo. Esta forma de conducción implica una reducción en la cantidad de plantas necesarias para igual superficie de cultivo, lo que hace más factible la utilización de plantas injertadas desde el punto de vista económico, considerando que su costo puede ser tres a cuatro veces superior que el de las plantas sin injertar. Experiencias realizadas en La Plata han demostrado que distintas combinaciones pie-copa pue-

den conducirse a 2 ó 3 ramas, con plantaciones a 50 ó 75 cm entre plantas, sin observar diferencias en la altura de la planta ni modificaciones en el rendimiento, respecto a plantas sin injertar conducidas a 1 rama, con distanciamientos de 25 cm (Morelli *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2014; Martínez *et al.*, 2016a).



Imagen 43. Plantines de tomate injertados (A). Trasplante de plantas injertadas (B)

En las condiciones productivas del Cinturón Hortícola platense, frente a la imposibilidad de garantizar la erradicación de nemátodos mediante la biofumigación del suelo y la falta de disponibilidad de pies de injertos con resistencia genética a *N. aberrans*, la combinación de prácticas aparece como una alternativa efectiva para el cultivo de tomate. Esta situación se verificó a partir de la implantación de plantas de tomate injertadas y sin injertar en un suelo naturalmente infestado con este nemátodo (40 nemátodos.cm⁻³ de suelo); observándose que en esas condiciones las plantas injertadas duplicaron en producción a las plantas sin injertar, en las que además de menores rendimientos se registró también alta mortalidad (Imagen 44). Una situación a destacar es que el pie de injerto alojaba al final del periodo de cultivo unos 708 nemátodos.g⁻¹ de raíz, mientras que en el suelo se contabilizaron 2 nemátodos.cm³ de suelo. Sobre ese suelo, una vez finalizado el periodo de cultivo, se inició un tratamiento de biofumigación incorporando brócoli, a razón de 5 kg por m² cortado en trozos pequeños. Luego de la incorporación del brócoli, el suelo se regó por goteo hasta capacidad de campo y se cubrió con un polietileno transparente de 50 µm, manteniéndose en esas condiciones por 90 días. Finalizado el proceso, sobre 14 muestras de suelo, se registró en promedio la presencia de 1 nemátodo

por cm^{-3} y se procedió a la implantación de tomate cv. Elpida injertado sobre el pie Efialto (Enza Zaden®), contrastando su comportamiento con plantas del mismo híbrido sin injertar.

Todos los tratamientos alcanzaron un rendimiento similar, con una producción total de entre 8,5 y 9 kg.m^{-2} , contabilizándose en promedio 3.200 nemátodos. g^{-1} de raíz en las plantas injertadas y 3 nemátodos. cm^{-3} de suelo al final de la cosecha (Garbi *et al.*, 2015). El área de cultivo volvió a someterse a biofumigación por 15 días en septiembre, planteando un ensayo en el que en determinados sectores se incorporó brócoli y en otros, cama de pollo. Luego, se trasplantaron plantines de tomate según 32 combinaciones pie-copa y 4 testigos sin injertar. Los materiales usados para la biofumigación no incidieron sobre el rendimiento de los distintos híbridos, alcanzándose una producción promedio de 5,5 kg.m^{-2} en suelo al que se incorporó brócoli y 6,9 kg.m^{-2} en el suelo tratado con cama de pollo, aunque se observaron algunas respuestas diferenciales según combinación estiónica (Bompadre y Vergagni Saralegui, 2018).

Es importante resaltar que los pies de injertos disponibles permiten mantener buenos niveles de producción aún en suelos con presencia de *N. aberrans*. Sin embargo, la permanencia del nemátodo en la raíz hace que deban preverse formas de eliminación y tratamiento de las mismas para prevenir la difusión de este patógeno.

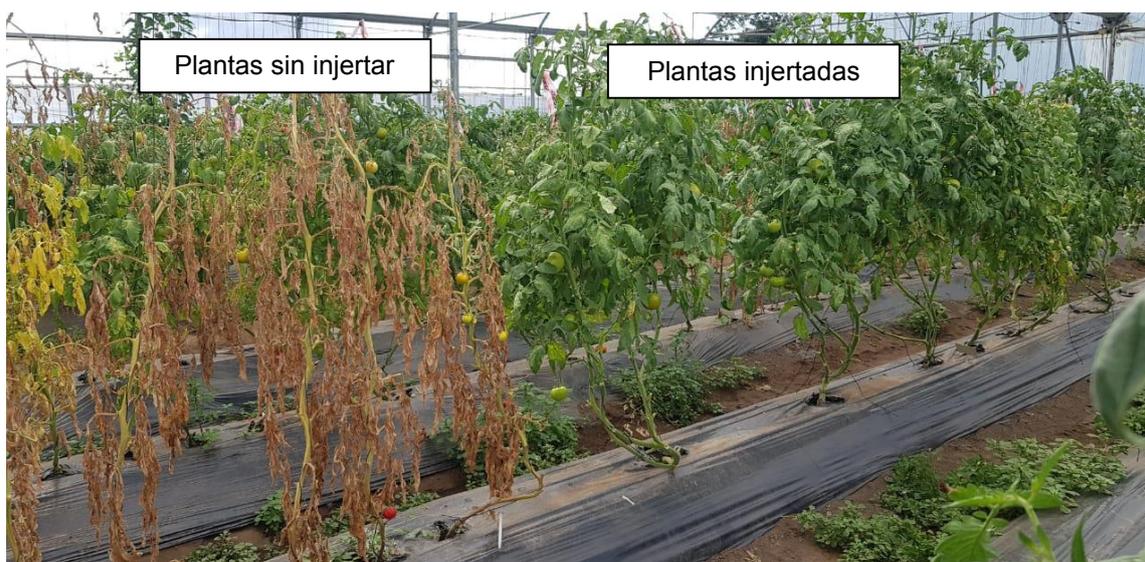


Imagen 44. Plantas de tomate injertadas y sin injertar implantadas en suelo naturalmente infestado con *N. aberrans*

Aplicación de reguladores auxínicos

Las auxinas inciden sobre el desarrollo de fruto, pero pueden utilizarse también para mejorar la polinización en tomate cuando la calidad del polen es insuficiente por la ocurrencia de bajas o altas temperaturas ($< 13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ó $> 32\text{ }^{\circ}\text{C}$) u otras condiciones que dificultan su liberación, como una humedad relativa superior al 85% (Frezza, 2018); evitando la caída de las flores y favoreciendo un rápido prendimiento del ovario. El tratamiento con reguladores auxínicos (ácido naftalenacético o indolacético) es una práctica frecuente en la producción hortícola, pero los

resultados que se obtienen dependen del genotipo, las condiciones ambientales, el tipo de regulador aplicado, las dosis, momentos y formas de aplicación.

La aplicación de este tipo de productos debe hacerse durante la mañana cuando las flores se encuentran abiertas y el polen maduro (flores de color amarillo intenso). Dado que las flores pueden permanecer abiertas en forma natural por 7 días, las aplicaciones deben repetirse semanalmente durante el periodo de floración, sin repetir aplicaciones sobre una misma flor. Un exceso en la dosificación (por aplicaciones reiteradas o cantidades excesivas del producto) puede producir el ahuecamiento de los frutos o malformaciones internas que deprecian su calidad.

Ensayos realizados en La Plata, aplicando distintas dosis de ácido β -naftoixacético en cultivos de tomate conducidos bajo invernadero demostraron que dosis de 2,5 a 3,5 cm^3 por litro de agua fueron adecuadas para aumentar el porcentaje de frutos cuajados, así como su tamaño y peso; mientras que con dosis superiores a 5 cm^3 por litro de agua, se incrementó el porcentaje de malformaciones y frutos ahuecados (Martínez *et al.*, 2016b; Forchino y Bocchino, 2017). En la Imagen 45 se observa el efecto de distintas dosis de ácido β -naftoixacético sobre la calidad de los frutos obtenidos.



Imagen 45. Tomate cv. Elpida sin aplicación de ácido β -naftoixacético (A), con aplicación de 3,5 $\text{cm}^3 \cdot \text{l}^{-1}$ de agua (B), con aplicación de 5 $\text{cm}^3 \cdot \text{l}^{-1}$ de agua (C)

Promoción del crecimiento e inducción de resistencia

En los últimos años se han incorporado a la oferta de productos para la horticultura, distintos inoculantes formulados en base a “bacterias promotoras del crecimiento” (PGPR, por su denominación en inglés: plant growth-promoting rhizobacteria), término que define a aquellas bacterias que pueden encontrarse en la rizosfera, en la superficie radical y en asociación con las raíces, generando efectos positivos sobre el crecimiento de las plantas, a través de mecanismos de acción directa (fijación biológica de nitrógeno, producción de sideróforos y fitohormonas, solubilización de fosfatos inorgánicos) e indirecta (producción de sustancias inhibitorias del crecimiento de patógenos y metabolitos con acción antibiótica, competencia con otros microorganismos por el espacio en la rizosfera). Dentro de este grupo se incluyen diversos géneros, como *Pseudomonas* spp., *Azospirillum* spp., *Azotobacter* spp., *Klebsiella* spp., *Enterobacter* spp., *Burkholderia* spp. y *Bacillus* spp. (Ahmad *et al.*, 2008). Entre los microorganismos benéfi-

cos también se encuentra *Trichoderma* spp., hongo con propiedades bioestimulantes y antagonista de patógenos vegetales, presente en todos los suelos agrícolas y que coloniza rápidamente las raíces. En su función bioestimulante, mejora el crecimiento de las raíces y la captación de agua y nutrientes, repercutiendo favorablemente sobre el rendimiento; mientras que como antagonista compite eficazmente por el espacio y nutrientes, además de poseer un sistema enzimático capaz de atacar a distintos fitopatógenos (Martínez *et al.*, 2018).

Algunos de estos microorganismos benéficos pueden actuar también generando sustancias que actúan como elicitores, potenciando la resistencia en las plantas, mediante la expresión de genes que participan en la cascada de señalización de hormonas, como el ácido salicílico, que ejerce un rol central en la resistencia sistémica adquirida y el ácido jasmónico y el etileno, involucradas en la resistencia sistémica inducida (Samaniego-Gómez *et al.*, 2017). Los elicitores son sustancias de origen orgánico o inorgánico que pueden inducir efectos fisiológicos y activar respuestas defensivas en las plantas. Existen evidencias experimentales de que la aspersión foliar o la aplicación a la raíz de este tipo de sustancias estimulan la respuesta de la planta a estreses bióticos o abióticos, mejorando la acumulación de compuestos fitoquímicos como glucosinolatos, alcaloides, polifenoles, flavonoides, saponinas, terpenos, fitoalexinas, etc. (Singh, 2014).

En la producción hortícola, la aplicación de estos productos puede realizarse al momento de la siembra, regando las bandejas o mezclando la formulación con el sustrato, o por riego al cuello de la planta (drench) o riego por goteo al momento de trasplante u otro momento del ciclo. En lechuga, la inoculación a la siembra con una formulación que contenía *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Gluconacetobacter diazotrophicus* y *Pseudomonas fluorescens* produjo aumento significativo de biomasa en los plantines, promoviéndose también el aumento del peso fresco de las plantas al momento de cosecha (Vio *et al.*, 2019). Tanto en lechuga como en tomate, se observó una respuesta favorable a la inoculación individual con 12 cepas de *A. brasilense*, con efectos diferenciales según cepa, fundamentalmente sobre el sistema radical (peso fresco y seco radical, longitud de la raíz más larga y longitud total de la raíz, área de absorción radical) (Garbi *et al.*, 2013; Garbi *et al.*, 2016). La inoculación con *A. brasilense* produjo también aumentos en el peso de la planta en lechuga, según se comprobó utilizando distintos tipos de formulaciones y momentos de aplicación, con un efecto significativo sobre la precocidad, que se traduce en la posibilidad de un adelantamiento en el momento de la cosecha; mientras que en tomate se observaron aumentos significativos del peso medio de fruto (Garbi *et al.*, 2013). En plantas de tomate injertadas, la inoculación al trasplante con *Trichoderma* sp., aplicada sola o en combinación con *Pseudomonas* sp., promovió la precocidad, reduciéndose significativamente la cantidad de días a floración desde el 4° hasta el 7° racimo, respecto a plantas sin inocular o inoculadas con *Azospirillum* sp. (Martínez *et al.*, 2018).

Hormonas vegetales como el ácido salicílico, el ácido jasmónico y el etileno también pueden utilizarse mediante aplicación directa a las plantas. En tomate injertado y conducido a 2 y 4 ramas en un suelo naturalmente infestado con *N. aberrans*, la inoculación con 100 μ M de ácido salicílico redujo la cantidad de hojas hasta la aparición del primer racimo, indicando un compor-

tamiento más precoz que en las plantas sin tratar (Martínez *et al.*, 2018). Camarena-Gutiérrez y de la Torre-Almaráz (2007) señalan que la aspersion o inyección de plantas con ácido salicílico (entre otros compuestos) pueden liberar la resistencia sistémica adquirida, induciendo en las plantas la expresión de iguales respuestas de resistencia y conjunto de genes que cuando son inducidos por un patógeno. Trabajos realizados en diversas especies hortícolas han demostrado también el efecto favorable de este ácido sobre el crecimiento de la planta y tolerancia a condiciones de bajas temperaturas, estrés hídrico o salino (Benavidez Mendoza, 2002). Por otra parte, la aplicación exógena de ácido jasmónico en plantas de lechuga, tomate, papa, entre otras especies, estimuló la resistencia directa a insectos, provocando reducción en su fecundidad, crecimiento y supervivencia (Laredo Alcalá *et al.*, 2017).

Conclusión

El desafío que implica producir en sistemas intensivos haciendo un uso más racional de productos de síntesis química viene acompañado por la posibilidad de implementar prácticas que resultan eficientes para el control de diversas adversidades y la promoción del crecimiento vegetal a través de insumos biológicos; aún cuando muchas de estas estrategias requieran aún mayor experimentación y desarrollo. Sin embargo, también es importante resaltar que no existe una práctica que en forma individual garantice los resultados buscados, debiendo evaluarse las mejores combinaciones para cada contexto productivo y situación.

Referencias

- Ahmad, F., Ahmad, I, y Khan, M. S. (2008). Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*, 163, 173-181.
- Bello, A., López-Pérez, J. A. y Díaz-Viruliche, L. (2000). Biofumigación y solarización como alternativas al bromuro de metilo. En: J. Castellanos R. y F. Guerra O'Hart (Eds.), *Memorias del Simposium Internacional de la Fresa, Zamora 2000*. Michoacán: Gobierno del Estado de Michoacán.
- Benavidez Mendoza, A. (2002). Estrategias para el uso de los mecanismos naturales de tolerancia al estrés en plantas. En: R. Foroughbakhch Pournavab, T.E. Torres Cepeda y M.A. Alvarado Vázquez (Eds.), *Tópicos Selectos de Botánica* (pp 161-172). Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Bompadre, E. N. y Vergagni Saralegui, D. L. (2018). *Evaluación de tratamientos de biofumigación combinados con plantas injertadas para el control de *Nacobbus aberrans* en tomate bajo cubierta*. (Tesis de grado). Recuperado de: SEDICI.
- Camarena-Gutiérrez, G. y de la Torre-Almaráz, R. (2007). Resistencia sistémica adquirida en plantas: estado actual. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(2), 157-162.

- Cuellas, M., Amoia, P. y Delmazzo, P. (2019). Efecto de diferentes tratamientos de desinfección del suelo sobre las propiedades edáficas. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences (ex Agro-Ciencia)*,35(1), 26-37.
- de Miguel Gómez, A. (2011). El injerto de plantas de tomate. Serie Documentos. Recuperado de: <http://publicaciones.poscosecha.com/es/cultivo/26-el-injerto-de-plantas-de-tomate.html>.
- Ducasse, A. (2014). *Comportamiento de tres híbridos de tomate injertados y cultivados en suelo con nemátodos*. (Tesis de grado). Inédita.
- FAO. (1998). Informe de la Reunión Regional sobre alternativas para la sustitución del uso de bromuro de metilo en la agricultura. 26 al 29 de mayo de 1998. Caracas, Venezuela. Recuperado de: http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Methyl_Bromide/bromrepo.pdf.
- Forchino, M. y Bocchino, M. (2017). *Aplicación de reguladores auxínicos en tomate: efectos sobre el rendimiento y características de los frutos*. (Tesis de grado) Recuperada de: SEDICI.
- Frezza, D. (2018). Tomate (*Solanum lycopersicum* L.). En: A. Chiesa y D. Frezza (Eds.), *Hortalizas. Ecofisiología, tecnología de producción y poscosecha* (pp. 227-260). Buenos Aires: Hemisferio Sur.
- Garbi, M., Grimaldi, M. C. y Martínez, S. (ex aequo). (2001). Efecto de plásticos de color sobre la temperatura del suelo durante el periodo frío en La Plata (Buenos Aires, Argentina). Nota técnica. *Revista Argentina de Agrometeorología*,1(1), 87-90.
- Garbi, M., Vita, F., Rodríguez Cáceres, E. y Carletti, S. (2013). Aplicación de biofertilizantes formulados con *Azospirillum* sp. en especies hortícolas. En: A. S. Albanesi (Ed.), *Microbiología Agrícola. Un aporte a la investigación en Argentina* (pp. 383-400). San Miguel de Tucumán: Ediciones Magna.
- Garbi, M., Martínez, S., Cap, G., Morelli, G., Grimaldi, M., Somoza, J. y Carbone, A. (2015). Tomate injertado: Evolución de la población de *Nacobbus aberrans* en suelo infestado naturalmente y sometido a prácticas de manejo sustentables. *Horticultura Argentina*,34(85), 29.
- Garbi, M., Carletti, S., Sillon, C. y Vita, F. (2016). Respuesta de plántulas de lechuga mantecosa (*Lactuca sativa* L.) a la inoculación con una formulación compuesta por tres cepas de *Azospirillum brasilense*. *Horticultura Argentina*,35(86), 19-28.
- Garello, F. (2013). *Comportamiento del híbrido de tomate Elpida injertado sobre distintos portainjertos en suelo con nemátodos y en suelo desinfectado*. (Tesis de grado). Inédita.
- Gómez, L., Rodríguez, M. G., Díaz-Viruliche, L., González, E. y Wagner, F. (2006). Evaluación de materiales orgánicos para la biofumigación en instalaciones de cultivos protegidos para el manejo de *Meloidogyne incognita*. *Revista de Protección Vegetal*,21(3), 1-8.
- Johnson, S., Miles, C., Kreider, P. y Roozen, J. (2011). Injerto de Verduras: berenjena y tomate. Publicación de la Extension de la Universidad Estatal de Washington FS052E.
- Laredo Alcalá, E. I., Martínez Hernández, J. L., Iliná, A., Guillen Cisneros, L. y Hernández Castillo, F. D. (2017). Aplicación de ácido jasmónico como inductor de resistencia vegetal frente a patógenos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*,8(3), 673-683.

- Martínez, S., Garbi, M., Etchevers, P. y Asborn, M. (1998). Efecto del color de la cobertura plástica sobre el régimen térmico del suelo par el cultivo de tomate en invernaderos plásticos. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*,6(2), 147-150.
- Martínez, S., Garbi, M., Grimaldi, M. C., Somoza, J., Morelli, G. y Cerisola, C. (2014). Evaluación de la respuesta agronómica de plantas de tomate injertadas en cultivo bajo invernadero. *Revista de la Facultad de Agronomía*,113(2), 218-223.
- Martínez, S., Garbi, M., Morelli, G., Somoza, J.; Grimaldi, M. C., Cerisola, C. y Perelló. L. (2016a). Conducción a dos, tres y cuatro ramas de tomate Yígido injertado en diferentes porta injertos. *Horticultura Argentina*,35(88), 82.
- Martínez, S., Garbi, M., Carbone, A., Morelli, G., Argerich, C., Pacheco, R. y Puch, L. (2016b). Aplicación de reguladores auxínicos: efecto sobre el cuajado de frutos en tomate para consumo fresco. *Horticultura Argentina*,35(87), 30-40.
- Martínez, S., Garbi, M., Masi, A., Morelli, G., Cerisola, M., Carbone, A. y Grimaldi, M. C. (2018). Evaluación de técnicas combinadas en la producción de tomate protegido sobre suelos con nemátodos: utilización de portainjertos, biofumigación, aplicación de hormonas vegetales y biocontroladores. En: M. Garbi y M. A. Sangiacomo (Coords.), *Buenas prácticas en producciones horti-florícolas en áreas periurbanas* (pp. 99-114). Luján: EdUNLu.
- Maurya, D., Kumar Pandey, A., Kumar, V., Dubey, S. y Prakash, V. (2019). Grafting techniques in vegetable crops: A review. *International Journal of Chemical Studies*,7(2), 1664-1672.
- Miguel, A. y Camacho, F. (2017). *Injerto del melón. Serie Documento Melones*. Valencia: Grupo THM.
- Mitidieri, M., Constantino, A. y Corbino, G. (2012). Introducción. En: M. Mitidieri y G. Corbino (Eds.), *Manual de horticultura periurbana* (pp. 15-16). San Pedro: Ediciones INTA.
- Morelli, G., Martínez, S., Zeoli, F., Garbi, M. y Andreau, R. (ex aequo). (2009). Efecto del tipo de conducción en una, dos y tres ramas por planta sobre el rendimiento en tomate cv. Elpida injertado sobre pie Maxifort en cultivo bajo cubierta en La Plata, Buenos Aires. *Horticultura Argentina*,28(67), 153.
- Oda, M. (1995). New grafting methods for fruits bearing vegetables in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly*,29, 187-194.
- Ozores-Hampton, M., Zhao, X. y Ortez, O., (2010). *Introducción a la tecnología de injertos a la industria de tomate en la Florida: Beneficios potenciales y retos*. La Florida: Departamento de Horticultural Sciences, Universidad de la Florida.
- Parra, M. V., Sobrero, M. T. y Pece, M. G. (2015). Solarización: una alternativa de control de malezas para viveristas. *Foresta Veracruzana*,17(1), 9-16.
- Samaniego-Gámez, B. Y., Reyes-Ramírez, A., Moreno-Valenzuela, O. A., y Tun-Suárez, J. M. (2017). Resistencia sistémica inducida contra virus fitopatógenos mediada por la inoculación con la rizobacteria *Bacillus* spp. *Revista de Protección Vegetal*,32(1), 10-22.
- Singh, S. (2014). A review on possible elicitor molecules of cyanobacteria: their role in improving plant growth and providing tolerance against biotic or abiotic stress. *Journal of Applied Microbiology*,117, 1221-1244.

- Vilaseca, J. C., Font, M. E. y Jord, C. (2008). Biofumigación y biosolarización en el control de ToMV: una buena alternativa al bromuro de metilo. *Agroecología*,1, 105-115.
- Vio, S. A., García, S. S., Galar, M. L., Bernabeu, P., Garbi, M., Balatti P., Lodeiro, A. y Luna, M. F. (2019). Bacterial-multispecies bioinput: growth-promotion effect in plants of letucce var. Sagess. En: *1st ISME-Latin America Congress*. Valparaíso: ISME.
- Vuelta Lorenzo, D. R. (2014). La biofumigación y la solarización como alternativas al manejo de plagas del suelo. *Ciencia en su PC*,1, 15-26.

CAPÍTULO 8

Manejo de cultivos en el contexto de producción orgánica

Mariana del Pino

Introducción: qué es la agricultura orgánica y su surgimiento

Desde tiempos remotos, el hombre hizo uso de los bienes comunes para obtener sus alimentos, y así algunas civilizaciones conservaron sus prácticas agrícolas durante años. En la década del 60 se llevó a cabo la difusión masiva de un sistema de producción conocido como Revolución Verde, basada en el uso de gran cantidad de insumos industriales, como semillas mejoradas, fertilizantes sintéticos, pesticidas de alto impacto y toxicidad, y así rápidamente comenzaron los problemas causados por la intensificación de la agricultura y malas prácticas de manejo. Se observó en forma drástica la degradación del suelo por erosión, graves enfermedades y plagas en cultivos, se evidenció contaminación del agua, alimentos y personas, y se comenzó a registrar pérdida de especies silvestres. La dependencia creciente de ciertos insecticidas y fungicidas crearon resistencias, y las comunidades rurales comenzaron así a perder autonomía.

Por todas estas consecuencias de las prácticas nocivas en la agricultura, surgieron sistemas de procesos agrícolas alternativos a la agricultura dominante. Desde la década del 70 se conformó lo que hoy se conoce con las denominaciones agricultura orgánica, ecológica o biológica, y se instaló como la alternativa más difundida en el mundo, al modelo hegemónico de producción agropecuaria, que llamamos convencional.

La agricultura orgánica, ecológica o biológica, hoy se puede definir como una agricultura cuyo objetivo es crear sistemas de producción agrícolas integrados, humanos, ambiental y económicamente sustentables. En vez de depender de insumos externos, la agricultura orgánica se basa en el uso de los recursos locales o derivados de las propias fincas, el uso de recursos renovables y el manejo de la autorregulación de los procesos ecológicos y biológicos, y su interacción, a fin de obtener niveles aceptables de cultivos, ganado y nutrición humana, protección de insectos y enfermedades, y un retorno apropiado para los hombres y los recursos empleados (Lampkin *et al.*, 2017).

La agricultura orgánica es un sistema de producción que mantiene y mejora la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas. Se trata de un sistema de producción sostenible que promueve el cuidado ambiental, mediante el fortalecimiento de la biodiversidad y la actividad

biótica del suelo. Los alimentos derivados de la agricultura orgánica, son alimentos trazables, producto de un sistema de normas y fiscalización reconocido local e internacionalmente. La producción orgánica “combina tradición, innovación y ciencia para beneficio del ambiente común, promueve relaciones justas y una buena calidad de vida para todos aquellos que intervienen” (IFOAM, 2008). Los agroquímicos de síntesis están totalmente prohibidos, y así también el uso de hormonas y organismos genéticamente modificados.

Según el Codex Alimentarius (2007), la agricultura orgánica es un sistema holístico de gestión de la producción que fomenta y mejora la salud del agroecosistema, y en particular la biodiversidad, los ciclos biológicos, y la actividad biológica del suelo. Hace hincapié en el empleo de prácticas de gestión prefiriéndolas respecto al empleo de insumos externos a la finca, teniendo en cuenta que las condiciones regionales requerirán sistemas adaptados localmente. Esto se consigue empleando, siempre que sea posible, métodos culturales, biológicos y mecánicos, en contraposición al uso de materiales sintéticos, para cumplir cada función específica dentro del sistema.

Si bien la agricultura orgánica hace uso de la agroecología como ciencia, desde hace unos 15 o 20 años, se ha originado cierta diferenciación entre la agricultura llamada “orgánica o ecológica” y el “movimiento agroecológico” en sí mismo, en algunos lugares del mundo. Las prácticas de manejo del suelo, de la biodiversidad, y el diseño de los sistemas agrícolas pueden ser los mismos, pero la agroecología se diferencia de la agricultura orgánica, en que la agroecología no tiene normativas ni protocolos, no siempre ofrece sistemas de garantías, no adhiere al no uso de organismos genéticamente modificados y no se identifican los ingresos de insumos, que pueden o no ser de origen sintético. Es también la construcción de un campo interdisciplinario muy relacionado con el desarrollo rural, y con objetivos de una transformación del medio rural más radical, relacionado con el rediseño de la relación entre naturaleza, ciencia y sociedad, que tenga más en cuenta el trabajo por pequeños agricultores y el acceso a la tierra, entre algunas de las problemáticas rurales (Bellon, 2016; Miglionini y Wezel, 2017).

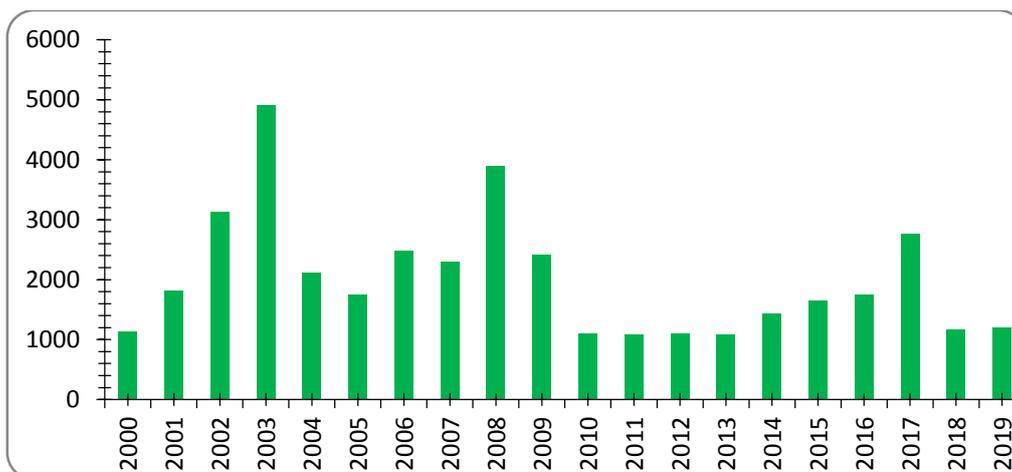
En casi todos los países del mundo se practica la agricultura ecológica, con distinto grado de difusión, según el país que se trate. Según Willer y Lernoud (2019) cerca de 69,8 millones de hectáreas están manejadas en forma orgánica, por 2,9 millones de productores. El mercado mundial de alimentos y bebidas orgánicas alcanzó, en el año 2017, a 97 millones de dólares vendidos. Los países donde mayor difusión tiene la agricultura orgánica son Estados Unidos, Alemania, Francia y España. Aunque la mayor superficie bajo producción orgánica está ubicada en Australia, seguida por Argentina e Italia, algunos de los mayores porcentajes relativos a la agricultura convencional se encuentran en países de Europa: Lichtenstein (37,9%), Austria (24 %), Estonia (20,5%), Suecia (18,8%) e Italia (15,4%). La Unión Europea en mayo del año 2020, en medio de la pandemia del COVID-19, firmó un acuerdo con varios objetivos de mejora para la sustentabilidad de la agricultura, y uno de ellos es lograr que la superficie ocupada por agricultura orgánica sobre la convencional, sea de un 25 % para el año 2030 (EU Green Deal, 2020).

En América Latina hay un desarrollo muy importante de la producción orgánica, y el crecimiento y motivación es cada vez más importante, tanto de la producción para exportación como del mercado interno.

Situación de la producción orgánica y la horticultura en la Argentina

La producción orgánica en Argentina cuenta con una superficie ocupada muy importante, que actualmente constituyen 3,7 millones de hectáreas, lo que lo posiciona como 2º país con la mayor superficie bajo producción orgánica del mundo después de Australia, y son trabajadas por 1269 productores. Del total del área, 3,4 millones de hectáreas son dedicadas a la ganadería, y 238.100 ha dedicadas a la agricultura. La actividad hortícola no es la más destacada, se dedican pocas hectáreas y se ha mantenido reducida a lo largo de los años (Gráfico 8). Los cultivos hortícolas principales de exportación son ajo, zapallos, garbanzo y cebolla (SENASA, 2020).

Gráfico 8: Superficie hortícola bajo producción orgánica desde el año 2000



Elaboración propia según datos de SENASA, 2000 a 2020.

La superficie hortícola orgánica argentina, la ocupan cultivos de la horticultura extensiva y especializada. Principalmente, legumbres, zapallos, cebolla, ajo, espárrago. Igualmente, se destaca la importancia de la diversidad y volumen de venta en el mercado interno, y por ser un motor del desarrollo para la actividad orgánica, ya que son productos de gran demanda.

No se ha innovado mucho aún en productos industrializados derivados de la horticultura orgánica, como sí lo hacen en otros países, como enlatados, o comidas elaboradas. Pero sí desde hace unos años, se realizan jugos con hortalizas, se exportan purés de zapallos, se han realizado chips de kale, entre otras pocas elaboraciones. El mercado interno ha crecido exponencialmente en estos últimos diez años, y se prevé un gran aumento de la superficie hortícola por la gran demanda que tienen los canales de comercialización orgánicos y el consumidor.

Pautas de manejo de la producción orgánica

Las prácticas de manejo de la agricultura orgánica consisten en una variedad de opciones técnicas, utilizadas con el objetivo de reducir costos, obtener altos rendimientos, intensificar las acciones biológicas y benéficas de procesos naturales del suelo y la biodiversidad; y, asimismo, proteger la salud de las personas y el medio ambiente. Dependen en gran medida de los recursos renovables locales o generados en el propio establecimiento, y menos de insumos externos. Están impulsadas por procesos ecológicos y biológicos para proporcionar nutrición de los cultivos y prevención de aparición de plagas y enfermedades.

Los elementos principales de un sistema orgánico son:

- Buen manejo del suelo que conduce a su buena salud, manteniéndolo con alta materia orgánica, altos niveles de actividad microbiana y buena estructura;
- Rotaciones de cultivos lo mejor diseñados posibles para equilibrar la fertilidad, controlar las malezas y minimizar los problemas de plagas y enfermedades;
- Enfoques preventivos y curativos para la aparición de problemas de malezas, plagas y enfermedades (Restrepo, 1996; Little y Forst, 2008).

En la agricultura orgánica, primeramente, se realizan prácticas de tipo “preventivas”, con el objetivo de que los cultivos sean lo más vigorosos posibles para resistir el ataque de insectos y enfermedades, y luego, si aparecen artrópodos plagas y/o enfermedades, que puedan ocasionar daños, se realizan prácticas o acciones de tipo “curativas”.

Manejo ecológico del suelo

En la agricultura orgánica, se considera al suelo como un medio vivo, donde, se debe resguardar su “salud” para que pueda ofrecer todas las funciones en forma óptima.

Como concepto de salud del suelo, se puede resumir como la capacidad continua del suelo para funcionar como un sistema vital para sostener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover la salud de las plantas, animales y humanos. Este concepto generalmente se refiere a aspectos más amplios y a las múltiples funciones del suelo y hace especial hincapié en el suelo como un sistema integrado, dinámico, un sistema vivo, que se centra en su biología. Hay varias funciones críticas en las que los suelos están involucrados, como las funciones ecológicas de la producción de biomasa (para alimentos, fibra y energía), ciclo de nutrientes, filtrado y amortiguación, y almacenamiento y disponibilidad de agua. Pero el suelo también es hábitat biológico y fuente de biodiversidad (Larkin, 2015).

Los métodos básicos para el manejo de suelo en la producción ecológica son:

- Labranzas mínimas y/o verticales
- Incorporación de la mayor cantidad posible de materia orgánica y diversa
- Reciclaje de nutrientes
- Máximo aprovechamiento de la materia orgánica del propio establecimiento

El cambio climático es otro factor de impulso para los sistemas que pretenden enriquecer con materia orgánica el suelo. Debido a estas innovaciones, la agricultura orgánica tiene la oportunidad de mejorar la productividad de la agricultura cultivable mediante el uso de procesos biológicos, así como para combatir el cambio climático gracias al secuestro de carbono en el suelo (Mäder, 2016).

Compost, abono compuesto y abonos fermentados

El “Compost” es el producto de una descomposición aeróbica de distintos materiales orgánicos entremezclados, por lo tanto se trata de materia orgánica estabilizada. Se produce durante este proceso una reorganización biológica de la fracción carbonada de la materia orgánica involucrada. Los materiales para lograr este tipo de abono sólido, pueden ser estiércoles, guanos, pastos, restos de verduras, restos de poda, o restos de cosecha. Mientras que un compost realizado con estiércol aporta un buen efecto nitrogenado, uno verde tiene un efecto menor. Con estos materiales mezclados, se forma una pila que se deja un par de meses, y se realizan procesos de mezclados durante ese tiempo, para lograr la estabilización del material. Respecto a aspectos prácticos, las pilas de compost no se deben mojar demasiado, tienen que estar tapadas para evitar que se laven los nutrientes y que no se genere anaerobiosis, pero tampoco deben secarse mucho, se deben mantener a capacidad de campo, si se secan hay que humedecerlas, y también se puede agregar un 10% de suelo, que promueve componentes más estables de materia orgánica. También se puede agregar un facilitador (starter) para acelerar o mejorar el proceso de descomposición, como bacterias, levaduras, u otro compost ya maduro. Se debe controlar durante este proceso, la humedad y la temperatura, esta debe alcanzar por lo menos 50 °C (hasta 77 °C), durante 3 a 15 días según sea el tamaño de la pila, a fin de promover la higiene en cuanto a patógenos como asimismo lograr controlar malezas (Berner, 2016; SENASA, 2016). Un compost joven, sin una total descomposición, puede tener un efecto bloqueante a la disponibilidad del nitrógeno en el suelo, en forma temporaria, especialmente en primavera. Los compost más maduros tienen el nitrógeno más disponible (Berner y Fuchs, 2016). No existen en Argentina fácil disponibilidad de este material en forma comercial, por lo cual debe realizarse en el propio establecimiento.

Existen otros tipos de compost, como el llamado “bocashi” (palabra que proviene del japonés “abono orgánico fermentado”), que consiste en una mezcla muy aireada de diferentes materiales orgánicos, entre los cuales se sugiere que estén presentes levadura, melaza, carbón, cascarilla de arroz, estiércol, tierra, afrecho, carbonato de calcio. Se trata de un abono mucho más rápido que el compost, y que requiere constante atención para su aireación (Restrepo, 1996; FAO, 2011). Este abono se ha usado en Centroamérica desde hace décadas, y en Argentina se encuentra aún en proceso de validación, pero está muy difundido entre la comunidad agroecológica.

Lombricompuesto o vermicompost

Se trata de un material derivado de la ingestión de materia orgánica por parte de lombrices específicas de alimentación de materia orgánica pura, *Eisenia foetida* o lombriz roja californiana, que se utilizan para la elaboración de este material. Estas lombrices están adaptadas a condiciones de alta concentración de material nitrogenado, y tienen alta tasa de producción y reproducción. El sustrato de partida proviene de materia orgánica de diferentes orígenes, preferiblemente con altos porcentajes de celulosa. Después de una fase de maduración del material se incorpora la masa de lombrices, las que, con el grado de humedad necesaria, ingerirán el material disponible, y formarán luego de un tiempo determinado por la época del año, el “lombricompuesto o vermicompost”. Este material desmenuzado, desodorizado y con buen grado de agregación, queda así enriquecido con microorganismos y hormonas. Existe vermicompost comercial en Argentina.

Estiércol o guano

Son las deyecciones sólidas y líquidas de distintos animales que, junto con la cama o algún otro material desecante, se acumula en los corrales de diferentes animales de cría. La composición del estiércol o guano, estará determinada por una serie de factores, como el tipo de animal, la raza, la edad, el tipo de producción, la alimentación y el manejo del estiércol.

Es el material más usado como insumo para la elaboración del compost. Como característica importante a resaltar, podemos citar que la relación de nutrientes que aporta es de baja concentración y en forma no equilibrada, pero como su aporte en cantidades agregadas es grande, termina siendo significativo. Además, hay que tener en cuenta que, al ser un material orgánico, dispone de elementos menores que se van liberando. Suele incluir la “cama” de los animales, como aserrín, cáscara de arroz o girasol, lo cual agrega más materia orgánica lignificada, que mejora la calidad. Como posee una alta carga de patógenos, debe ser estrictamente compostada para su uso. En los cinturones verdes, hay gran disponibilidad de estiércoles de caballo y guano de aves, pollos o ponedoras.

Coberturas

Coberturas se le llama a determinado material que cubre el suelo ente los cultivos, de diferente composición. Las ventajas de las coberturas orgánicas (usadas principalmente para el manejo de plantas espontáneas) es que también son un aporte de nutrientes y materia orgánica al suelo, además de conservar la humedad, la temperatura, la inhibición de la germinación de semillas de plantas espontáneas y la promoción de la actividad microbiana. Las coberturas pueden ser vivas o muertas, si se trata de una cobertura viva, se debe tener cuidado de que no compita por recursos con el cultivo, y que el ciclo de cada especie no interfiera entre sí o con los momentos de recolección o finalización del cultivo. Se pueden implantar avena o tréboles, intercalados entre cultivos largos, como las brassicáceas, o puerros, pero también, si la vegetación espontánea es de buena calidad, diversa y abundante, se la puede dejar crecer en las últimas etapas del ciclo anterior a la cosecha, y se obtendrán similares resultados.

Abonos verdes

Son cultivos de leguminosas, gramíneas o crucíferas especialmente implantadas para su destino como abono al suelo, ya sea como aporte de nutrientes, o como mejorador de la estructura física, corrector de impedancias o recomponedor de la actividad biológica del suelo.

En horticultura y en esta región, las variedades más usadas son la vicia y la avena, o algunos sorgos, por sus ciclos cortos, y la disponibilidad de semilla en la zona. Se pueden destinar lotes enteros para abonos verdes, pero también se pueden agregar en mezclas a otros cultivos, como en brasicáceas. También se usa la rúcula, pero es más usada cuando se realiza una biosolarización. Existen aún muchas especies y técnicas por investigar, ya que se trata de una práctica costosa, ya que se inmoviliza el lote por un tiempo largo.

Biofertilizantes y abonos foliares

Los biofertilizantes y otros abonos foliares son productos presentados en formulaciones líquidas, constituidos por diferentes compuestos desde sales minerales, aminoácidos libres, quelatos orgánicos naturales, lignosulfonatos, ácidos húmicos/fúlvicos, hormonas, e inclusive microorganismos. Proviene de fermentaciones aeróbicas o anaeróbicas de diferentes especies vegetales, estiércoles, algas, o también se pueden presentar estos mismos extractos fermentados enriquecidos con elementos minerales. Pueden ser de preparación casera, pero también hay una amplia oferta de formulaciones comerciales. Se aplican sobre el cultivo en forma de pulverización foliar, fertirriego o drench. Algunos trabajos han documentado su acción positiva sobre la fisiología de las plantas, acelerando el desarrollo e incrementando la productividad y calidad, como así también la resistencia propia de la planta frente a condiciones adversas y patógenos (Vessey, 2003; Quilty y Cattle, 2011). Los extractos derivados de estiércoles estabilizados, estiércoles compostados o lombricompostos, son los fertilizantes foliares más usados por su alto contenido en aminoácidos libres, o ácidos húmicos y fúlvicos (Merrill *et al.*, 1998; Quilty y Cattle, 2011). Asimismo, se utilizan fertilizantes en base a algas, como fuente de sustancias con efectos bioestimulantes sobre los cultivos hortícolas. Estos productos bioestimulantes también demostraron capacidad de control de enfermedades, ya sea debido a la presencia de metabolitos producidos por los microorganismos presentes, por su acción directa sobre los patógenos, o debido al aumento de los mecanismos de resistencia propia de la planta frente al patógeno (Van Loon, 1997; Durrant y Dong, 2004).

Existen muchas formulaciones caseras promovidas por el movimiento orgánico latinoamericano, donde se dejan fermentar estiércoles con minerales y algunos agentes quelantes, conocidos como “Biol” o “Supermagro”. También fermentaciones o purines de diferentes plantas conocidas desde hace años como beneficiosas para los cultivos, como son el purín de ortiga, o la consuelda, o el equisetum. En el Anexo II de las Normas Argentinas de Producción Orgánica (Res. 374/16, SENASA, 2016), hay un listado de productos permitidos como fertilizantes, acondicionadores de suelo y nutrientes permitidos en la agricultura orgánica.

Rotaciones

Una rotación de cultivos es la implantación sucesiva de diferentes cultivos en el mismo terreno. Esta es una de las estrategias de la agricultura ecológica para mantener y aumentar los rendimientos de los cultivos, manteniendo la fertilidad del suelo, sin el uso de insumos externos. Uno de los perjuicios que ocasionan los monocultivos (entendiendo monocultivo como la sucesión del mismo cultivo a lo largo del tiempo), es la disminución progresiva de los rendimientos, debido a varias causas: factores fitopatológicos, factores nutricionales y de mal manejo del suelo y factores alelopáticos. Los primeros son quizás los más estudiados, ya que, como consecuencias de la reiteración del mismo cultivo, los patógenos intensifican la infección, y aunque lo hacen en forma más intensa los nematodos y hongos de suelo, también algunos artrópodos plaga van incrementado las poblaciones cuando se sucede el mismo cultivo en el mismo lote. Los factores alelopáticos son los derivados de la excreción al terreno de determinadas toxinas por parte de las plantas, y pueden acumularse en el suelo perjudicando a cultivos que los sucedan.

Entre las recomendaciones generales para la elección de las especies que se sucedan unas a otras, son:

- Evitar la sucesión de especies de una misma familia botánica
- Aprovechar la aplicación de abonos, sucediendo cultivos de requerimientos cada vez menores
- Alternar plantas de sistema radicular profundo con plantas de sistema radicular superficial
- Continuar en la rotación, un cultivo esquilante de nutrientes con plantas mejoradoras
- Continuar en la rotación de plantas exigentes en un laboreo profundo de suelo, con especies que requieren un laboreo más superficial
- Continuar en la rotación de plantas de baja competencia con plantas espontáneas, con plantas de mayor habilidad para la competencia

Las solanáceas, que son muchas veces los cultivos económicamente más rentables, y de altos requerimientos de nutrientes, pueden comenzar la rotación con un muy buen abonado de fondo y con varios abonos complementarios, y le pueden seguir en la rotación Leguminosas o Quenopodiáceas, que requieren un abono más descompuesto que puede ser inclusive la mitad del abono aplicado en la familia anterior, y asimismo aprovechan el abono aplicado anteriormente. Las Cucurbitáceas y las Brasicáceas necesitan mucha fertilidad, aprovechan el nitrógeno fijado por las leguminosas, pero también se tiene que volver a aplicar un abonado de fondo. Las Liliáceas y las Apiáceas, como las raíces o bulbos se desarrollan mejor en suelos con compost ya maduro. Por eso se incorporan más tarde en la rotación, usando el abono madurado de aplicaciones anteriores, según la especie. Algunas Asteráceas o Brasicáceas no demandan tanta fertilidad, por lo que se colocan en esta última etapa de la rotación también, pero otras que sí lo requieren o bien se abonan durante el cultivo o se intercalan entre otras rotaciones.

Biodiversidad: agrobiodiversidad funcional

La agricultura y la naturaleza están intrínsecamente vinculadas, y en la agricultura orgánica, es una prioridad manejar las interacciones de los diferentes aspectos de producción agrícola, protegiendo y mejorando la biodiversidad presente en el ecosistema. La agricultura orgánica conserva y promueve la Biodiversidad porque es un objetivo de este tipo de agricultura; para su resguardo para generaciones futuras, y además por las funciones ecosistémicas que la biodiversidad ejerce en el predio, y con la consecuencia de poder así, disminuir los aportes externos para la producción orgánica.

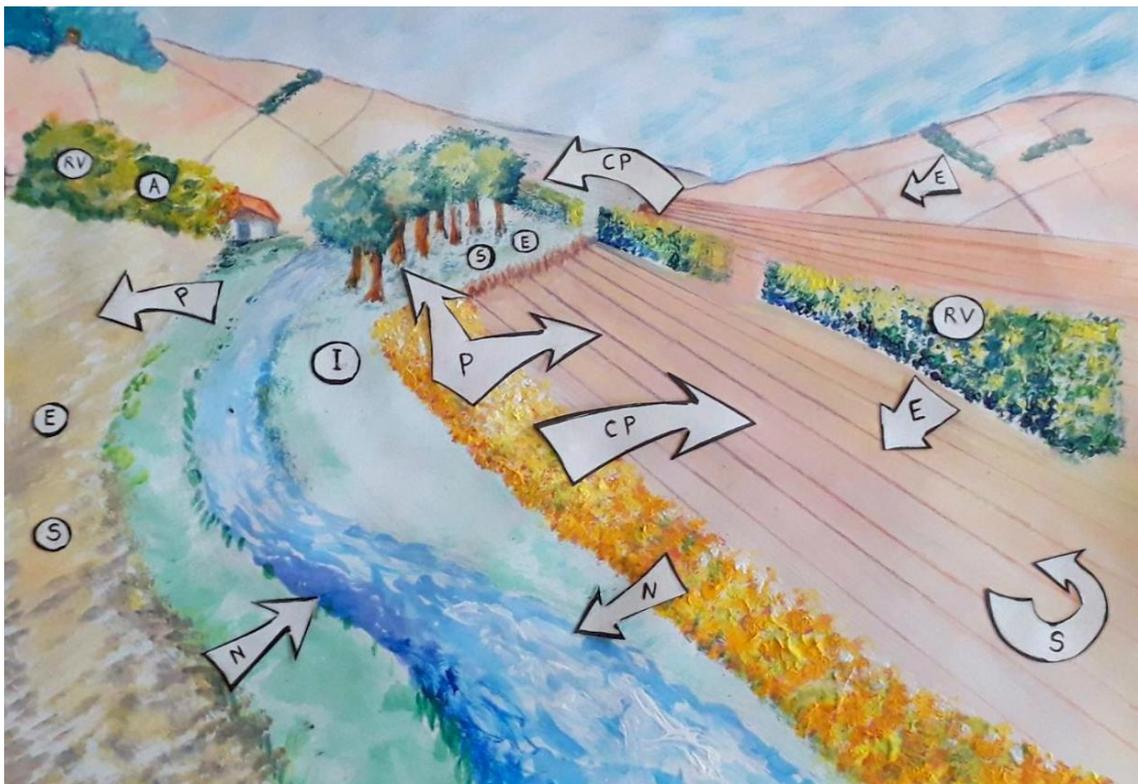
Cuando se habla de “Biodiversidad”, se refiere a diversidad dentro de las especies, entre especies y biodiversidad de los ecosistemas. Y cuando se habla de “Agrobiodiversidad”, se refiere a la variabilidad entre organismos vivos asociados con la producción de cultivos y la cría de ganado, y los complejos ecológicos de los cuales estas especies son parte; esta definición incluye la diversidad dentro y entre especies y de los agroecosistemas (Van Uden, 2012).

Las interacciones son complejas y frágiles, y a veces puede significar que se produzcan compensaciones y compromisos, dando como resultado una reducción de la productividad agrícola o de la biodiversidad. Por lo tanto, en la agricultura orgánica, se debe tener en cuenta cómo proteger y aprovechar al máximo la diversidad, para no dañarla ni desaprovechar sus servicios ecosistémicos. Así se pueden mantener o construir sistemas agrícolas sostenibles, robustos y resistentes. El manejo del paisaje y las prácticas alternativas agrícolas pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad en diferentes formas.

La biodiversidad brinda servicios ecológicos claves para la estabilidad del ecosistema, por eso se la denomina “Agrobiodiversidad Funcional”: contribuye con el aporte de alimento (polen y néctar) y abrigo de insectos parasitoides, predadores, y fauna silvestre (aves, anfibios y mamíferos), y diversos polinizadores, estabiliza la materia orgánica y libera nutrientes al medio, preserva la actividad biológica del suelo, controla el microclima, aumenta la cobertura de suelos para la prevención de las pérdidas de los recursos edáficos, detoxifica el ambiente, mantiene el ciclo del agua, preserva la biodiversidad genética, aumenta el secuestro de carbono (mitiga de esta forma las consecuencias negativas del cambio climático) y mejora el valor paisajístico. Por eso, se identifican ciertos elementos de la Biodiversidad (Imagen 46) a nivel de los establecimientos o lotes agrícolas, que proveen de los servicios ecosistémicos que apoyan las producciones agrícolas para que sean sostenibles y puedan proveer estos beneficios al ambiente y a la población a escala local, regional y global. Así pueden sostenerse las funciones ecológicas que aseguren una buena productividad agrícola y un uso sostenible de los bienes comunes (Van Uden, 2012).

El diseño espacial del agroecosistema también es importante: un ambiente con estructura vertical más compleja, alberga en general más especies que uno con estructura más simple (Altieri, 1994). Por eso, en la producción orgánica se mantienen o incorporan diversos elementos para mantener la biodiversidad, no sólo para mantener y aumentar enemigos naturales, sino también aves, anfibios, mamíferos y otros animales silvestres: entre estos elementos se encuentran montes con vegetación, árboles y arbustos, corredores silvestres, flores, diversidad silvestre y de cultivos entre

predios e intrapredial, plantas acompañantes, bordes enmalezados, zanjas empastadas y con agua, márgenes de los lotes de cultivo empastados, cercos vivos y cortinas forestales rompevientos y siembras especiales con flores útiles. Entre estas, se denominan como “plantas acompañantes” a aquellas que promueven algunas de estas funciones útiles para la horticultura: indicadora, repelentes, alimento con polen o néctar a enemigos naturales, polinizadoras (Parolin *et al.*, 2012; Wackers y Van Rijn, 2012). En la horticultura, se trata de conocer qué especies promueven las funciones que más necesitamos para abrigar insectos benéficos y/o polinizadores, e incorporarlas, ya sea dentro del predio y alrededor del mismo (Imágenes 47 y 48).



- A:** Retención de agua. Tierra con vegetación, a lo largo de ríos y pequeños bosques, retienen el agua durante niveles altos de lluvia, que luego se libera gradualmente
- E:** Prevención de la erosión. Cubierta vegetal herbácea en huertas, evitan que el suelo se erosione por el viento o las fuertes lluvias. Dejar restos del cultivo en tierra cultivable tiene un similar efecto
- S:** Estructura y función del suelo. Labranza reducida, con coberturas de rastrojos, evitan perturbaciones del suelo y aumentan su biodiversidad, y mejoran la estructura, aireación, y retención de nutrientes
- P:** Polinización. Bordes con flores, vegetación en orillas de ríos y bosques, proporcionan hábitat natural para muchas especies de insectos que actúan como polinizadores esenciales para los cultivos
- I:** Prevención de inundaciones y escorrentías. Bordes del río empastados, proporcionan espacios para el exceso de agua y disminuir su velocidad, previniendo las inundaciones
- N:** Reducción de pérdidas de nutrientes. Dejando franjas de tierra alrededor de los lotes, se puede evitar la pérdida de nutrientes que se lavan por excesos de agua, y se lixiviarían por zanjas y ríos
- RV:** Cortinas forestales rompevientos, lotes para madera o hileras de frutales, reducen la velocidad local del viento, y la erosión eólica, y daños por viento en los cultivos. Esto aumenta también la producción
- CP:** Control biológico de plagas. Márgenes de campo ricos en flores y otras semi-naturales, ofrecen un hábitat natural para los enemigos naturales. Arbustos, pequeños bosques y otros elementos, también proporcionan hábitat para depredadores y rapaces que también mantienen en equilibrio a roedores

Imagen 46. Elementos de la agrobiodiversidad funcional que brindan múltiples servicios ecosistémicos en un paisaje hortícola (tomado de ELM-FAB, 2012; dibujo: Sandra Franzl).



Imagen 47. Plantas de tabaco, cerca de cultivos de tomat, hospederas del predador generalista *Tupiocoris cucurbitaceus*



Imagen 48. Lote de lechuga en invernadero con bordes de plantas de cilantro en flor, para atraer moscas sírfidas y otros enemigos naturales, controladores de pulgones

Manejo y control de plantas espontánea en la horticultura orgánica

Las plantas espontáneas ejercen múltiples funciones en el ecosistema. Sin embargo, muchos cultivos durante alguna etapa de su ciclo necesitan del espacio, la luz y los nutrientes sin competencia de plantas espontáneas. Para eso, en la horticultura bajo producción orgánica, se practican varios métodos para evitar competencia por parte de las plantas espontáneas con los cultivos hortícolas. Es una labor que, en la horticultura orgánica intensiva, insume muchas horas de trabajo, mucha investigación, y también, pérdidas de cultivos, ya que no siempre existe la oportunidad de realizar el control, como por ejemplo al aire libre, cuando llueve mucho. Es quizás el problema más complicado de resolver en la horticultura orgánica en todo el mundo, a pesar de que en algunos lugares existen líneas de investigación e institutos dedicados exclusivamente a este fin.

Técnicas de control de plantas espontáneas:

- Control por medios mecánicos
- Control por métodos térmicos
- Coberturas del terreno

Control por medios mecánicos

El control mecánico se realiza con herramientas con tractor y herramientas de tipo manual. Es una labor muy engorrosa. Si bien existen algunas herramientas que facilitan mucho la tarea, muchas veces esta actividad es un cuello de botella para la producción orgánica. Todas se basan en la extracción de la maleza cuando es lo más pequeña posible, con herramientas desmalezadoras (púas, pinches, azadones).

Control por métodos térmicos

Consiste en la creación de un shock térmico en la proximidad del follaje de las malezas por medio de una llama libre producida por la combustión de gas propano (o butano, según el clima), que produce una temperatura cercana a los 80 °C capaz de provocar la desnaturalización de las proteínas de las plantas, con la pérdida de la función celular, ruptura de membranas, y final desecación de la planta, instantáneamente o en unos días (Ascard, 1999). El efecto sobre los microorganismos es insignificante (sólo hay aumento considerable de la temperatura del suelo unos pocos grados en los 5 cm superficiales). Se debe realizar la técnica con mucha insolación y el suelo bien seco. Se puede realizar para tratamiento de plántulas en preemergencia del cultivo como en postemergencia del mismo, te-

niendo en cuenta la piro sensibilidad del cultivo. Las especies que resisten el calor del flameado son la zanahoria, la remolacha, la cebolla, y el maíz. Los equipos son diversos según el grado de capitalización y desarrollo del sistema en cada país. Existen desde garrafas de 5 kg que se acoplan a una estructura de mochila o carro, y otros que se acoplan a tractores con levante hidráulico.

Coberturas del terreno

Para evitar la emergencia de plantas espontáneas, y que luego compitan o interfieran con el cultivo, se pueden realizar coberturas: pueden ser de tipo inorgánicas y orgánicas. Las primeras, se tratan de materiales plásticos, que debería ser evitados si no existen vías seguras de su reciclado, pero se usan por el momento porque otorgan algunas ventajas. Muchos de estos materiales, al quemarse expiden dioxinas gravemente tóxicas, por eso se deben enviar a reciclar y nunca quemarlos en la propia quinta. Se espera que lleguen a la Argentina materiales biodegradables como ya hay en otros países. Algunos cultivos, como por ejemplo la frutilla, se ven favorecidos por la cobertura sobre el lomo de una lámina de polietileno negro, que conserva la humedad del suelo, protege al fruto de la humedad directa, y evita a la vez la invasión de plantas espontáneas. Asimismo, también las solanáceas se ven favorecidas, ya que en suelos arcillosos como los de La Plata, se pueden crear lomos mejorados con compost y mantener una buena cama de plantación mejorada por varios meses con una cobertura plástica, que retiene la humedad, no deja crecer plantas espontáneas, y mantiene seca la superficie donde se apoyan las plantas.

Las coberturas orgánicas, pueden ser de naturaleza muerta o viva. Las muertas se realizan con materiales orgánicos de desechos, como aserrín, cáscaras de cereales, pastos secos u hojas secas. Además de cumplir con la función de evitar que crezcan las plantas espontáneas entre surcos, aportan materia orgánica al suelo, entre otras funciones ya citadas. También pueden cubrirse los entresurcos de cultivos que fueron cubiertos los surcos o lomos con coberturas plásticas, ya que estos estarán durante varios meses al descubierto, serán sobre pisados, y es beneficioso cubrirlos con un material orgánico que se va a ir incorporando a lo largo de los meses del ciclo del cultivo, para ir mejorando o manteniendo la materia orgánica y la microbiología del suelo (que constituye un gran porcentaje de la superficie ocupada) (Imagen 49). Las coberturas vivas, se realizan implantando un segundo cultivo entre el principal, generalmente del tipo de leguminosas, o gramíneas de bajo porte.



Imagen 49. Cultivo de berenjena con mulching plástico y cobertura de paja entre los surcos

Pautas de manejo de insectos y enfermedades

Sobre el manejo de artrópodos plaga y enfermedades, primeramente, se trata de hacer siempre un trabajo preventivo, mejorando al máximo posible las condiciones de suelo, el mejor manejo del cultivo mediante la climatización, las correctas labores culturales (a tiempo), el riego y su nutrición. También se usan fortalecedores foliares y en drench para mejorar la resistencia. Además, siempre se hacen monitoreos exhaustivos, no solo para detectar la primera aparición de las poblaciones de artrópodos plaga, sino para compararlas con la población del complejo de enemigos naturales de cada cultivo. Asimismo, para diagnosticar la aparición incipiente de enfermedades, y su evolución. Si esto no fuese suficiente, o se trate de plagas que sepamos que no serán controladas en forma natural, existen algunas medidas curativas a adoptar.

La utilización del control biológico por conservación o clásico, es una herramienta poderosa de control de insectos fitófagos.

El control biológico por conservación, se puede establecer naturalmente mediante la inclusión de algunos elementos de la agrobiodiversidad funcional, con diseños del predio adecuados para favorecerla. El primero, es el que se fomenta en la horticultura con el manejo de las plantas espontáneas y evitando o reduciendo el uso de insecticidas no selectivos y persistentes, y así algunos insectos benéficos se instalan en forma espontánea ante la presencia de presa. En los alrededores de la zona hortícola de La Plata, existen aún muchos espacios con vegetación silvestre (autóctona y adventicia) que abriga a una cantidad de insectos benéficos muy importante, muchos de ellos que ya han sido estudiados por investigadores zonales (Cuadro 1). A este control biológico “natural” o control biológico por conservación, también se le puede sumar, si este no fuese lo suficientemente eficaz, el control biológico “clásico”. En los países donde existe cría artificial de insectos predadores, los insectos benéficos o enemigos naturales, se usan como insumo para el control biológico de plagas “clásico”. En la Argentina han comenzado a criarse en criaderos artificiales desde ya hace décadas, algunos insectos benéficos como *Orius insidiosus*, *Aphidius colemani*, *Tupiocoris cucurbitaceus* y *Amyseius swirskii*. En otros países están muy difundidos, así como también están difundidas las diversas feromonas sexuales que atraen machos, para evitar que las hembras ovipongan, como por ejemplo las que acá ya están difundidas comercialmente para *Tuta absoluta* (para el método de monitoreo por trapeo y control por trapeo masivo) y pronto estarán a la venta hormonas de atracción sexual para trips.

Existen además insecticidas botánicos con cierto grado de eficacia, como extractos de piretro, quassia, azadirachtina, cebolla, ajo, ajíes, eucaliptus, y otras especies botánicas con efecto antifúngico, repelente, preventivo o insecticida. También minerales como el cobre y el azufre.

También existen insecticidas biológicos para distintos insectos y enfermedades: en Argentina aún ya algunos disponibles comercialmente: *Bacillus thuringiensis*, *Beauveria bassiana*,

Bacillus subtilis, *Trichoderma* sp., con distintas cepas comerciales con distintas marcas y formulaciones. En el Anexo III de las Normas Argentinas de Producción Orgánica (Res. 374/2016), se listan los productos permitidos para control de plagas, enfermedades y para el manejo fisiológico de los productos.

Sobre las marcas comerciales, actualmente es SENASA quien publica y actualiza un listado de productos (formulaciones comerciales) que ellos analizan y aprueban el uso, sobre la base del Anexo II y III de la Res. 374/16. Para el control de enfermedades, además de las pautas citadas al principio, existen minerales eficaces usados también en la agricultura convencional, que son el cobre y el azufre, y sus derivados, además de algunos derivados botánicos y los bicarbonatos de potasio y calcio. Hay que resaltar que el control de artrópodos plaga y enfermedades, generalmente en los establecimientos orgánicos, se realizan en base a únicamente 4 ó 5 productos.

Tabla 15: Plagas fitófagas y complejo de enemigos naturales más importantes asociados a cultivos de solanáceas en el Cinturón Hortícola de La Plata

Cultivo	Artrópodos plaga	Complejo de enemigos naturales más importantes
Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	Pulgones varios, moscas blancas <i>Trialeurodes vaporariorum</i> W. y <i>Bemisia tabaci</i> G., polilla del tomate <i>Tuta absoluta</i> M., trips, ácaro del bronceado <i>Aculops lycopersici</i> M., araña roja común <i>Tetranychus urticae</i> K.	Parasitoides de mosca blanca <i>Eretmocerus</i> sp., <i>Encarsia formosa</i> G., parasitoides de pulgones <i>Aphidius colemani</i> V., <i>Praon volucre</i> H., parasitoides de Tuta: <i>Pseudoapanteles dignus</i> M., <i>Dineulophus phtorimaeae</i> de Santis; predadores generalistas: <i>Tupiocoris cucurbitaceus</i> S., entre otros
Pimiento (<i>Capsicum annum</i> L.)	Pulgones <i>Myzus persicae</i> , mosca blanca <i>Bemisia tabaci</i> G., trips <i>Frankliniella occidentalis</i> P., <i>Frankliniella schultzei</i> T., ácaro blanco, <i>Polyphagotarsonemus latus</i> B. araña roja común <i>Tetranychus urticae</i> K.	Parasitoides de mosca blanca <i>Eretmocerus</i> spp., <i>Encarsia formosa</i> G., parasitoides de pulgones <i>Aphidius colemani</i> V., <i>Praon volucre</i> H., ácaros predadores <i>Amblyseius swirskii</i> A-H. y <i>Euseius</i> spp. <i>Orius insidiosus</i> S..
Berenjena (<i>Solanum melongena</i> L.)	Pulgones, moscas blancas <i>Trialeurodes vaporariorum</i> W. y <i>Bemisia tabaci</i> G., trips, ácaro blanco, <i>Polyphagotarsonemus latus</i> B., gorgojo del tomate <i>Phyrdenus muriceus</i> G., araña roja común <i>Tetranychus urticae</i> K.	Parasitoides de mosca blanca <i>Eretmocerus</i> spp., <i>Encarsia Formosa</i> G., parasitoides de pulgones <i>Aphidius colemani</i> V., <i>Praon volucre</i> H., <i>Tupiocoris cucurbitaceus</i> S.

Biofumigación y biosolarización

La biofumigación es la acción de las sustancias volátiles producidas por la biodegradación de la materia orgánica con el fin de controlar agentes patógenos de suelo (Njoroge y Riley, 2008; Mitidieri, 2013). Para que la biofumigación sea efectiva, se recomienda que la materia orgánica tenga una relación C/N entre 8 y 20 (Rojo y Pérez, 2010). Esta práctica, además de controlar los patógenos de suelo, aportaría el beneficio adicional de aumentar el contenido de materia orgánica del mismo, mejorar la estructura y la infiltración del agua, y reducir el encos-tramiento y la erosión (Pereyra y Avila, 2008; Mitidieri, 2009).

Dentro de las especies más utilizadas para la biofumigación, se encuentran las pertene-cientes a la familia de las brasicáceas, por la alta concentración de glucosinolatos que po-seen (Njoroge y Riley, 2008; Mitidieri, 2009). Los glucosinolatos son metabolitos secunda-rios, que varían de una especie a otra y del tipo de tejido vegetal, identificándose más de 100 diferentes tipos. La concentración de estos varía con el estado de desarrollo con una tendencia a la declinación hacia la madurez, el órgano vegetal y significativamente con el ambiente en valores de 3 a 10 veces (Bodnaryk, 1996; Njoroge y Riley, 2008; Mitidieri, 2013). Es conveniente agregarle a esta incorporación también una solarización, que con-sista en darle más temperatura a la descomposición de la materia orgánica agregada, que se logra con una cobertura plástica sobre el suelo, en meses de verano, y en este caso a este método se lo llama biosolarización. La cobertura plástica debe cubrir el suelo recién preparado y húmedo por espacio de 30 a 60 días. El método es muy efectivo si se realiza con la máxima radiación solar y si se puede inhabilitar un terreno o invernadero por un es-pacio de 1 o 2 meses, para dedicarle a la solarización.

Aseguramiento de la calidad orgánica: certificación orgánica. Reglamentación vigente

En sus comienzos, la comercialización de productos orgánicos o ecológicos, se realiza-ba en base a la confianza. La normalización (elaboración de normas y protocolos, sistemas de certificación, cumplimiento, conformidad y control) de este proceso productivo nació en 1977, el seno de una federación internacional privada (no gubernamental), IFOAM (Inter-national Federation of Organic Agriculture Movements), para armonizar este tipo de pro-ducción. La Unión Europea creó su propia Regulación (Nº 2092/91) sobre la agricultura orgánica y Estados Unidos la ley federal orgánica en el año 1990, aunque los estándares recién se promulgaron en diciembre del año 2000. Así existen lineamientos de la produc-ción, procesamiento, etiquetado y elaboración de alimentos ecológicos en el contexto del Codex Alimentarius de las Naciones Unidas, desde 1999.

En la Argentina, la Normativa Argentina se reglamentó en 1992, con la Resolución 423/92 de IASCAV (actual SENASA) y se aprobó también una ley sobre la producción orgánica en el

año 1999. Actualmente la resolución que rige para la producción orgánica es la Resolución 374 del año 2016, de SENASA. La ley orgánica que la ampara es la N° 25127 del año 1999. Dicha resolución además de pautar todo lo referido a la producción agrícola y la industria, reglamenta la forma y los métodos de la implementación de la certificación en Argentina para todo lo que se denomine orgánico, biológico o ecológico. Y establece que todo producto que dice ser orgánico, ecológico o biológico tiene que cumplir con dicha reglamentación y estar certificado por las empresas autorizadas a tal fin.

El proceso de certificación

Es un sistema por el cual se determina la conformidad de un producto o sistema de producción, y se certifica de acuerdo a la norma o estándar de cada empresa certificadora o a la norma que rige en el país. En Argentina existen varias certificadoras privadas que tienen sus propias normas, pero que no puede ser menos exigente que las Normas Argentinas de Producción Orgánica (Res. 374/16) (SENASA, 2016). Estas empresas están registradas en SENASA y son controladas periódicamente por esta dirección. La certificación de alimentos orgánicos, trabaja básicamente con los siguientes instrumentos: Estándares, normas o protocolos (en la Argentina se denominan “Normas”, están las Normas Argentinas de Producción Orgánica, y las Normas propias de las certificadoras), inspecciones, registros, declaraciones juradas, certificados, avales, y etiquetado. Los requisitos para iniciar el proceso de certificación son muy simples: primero y principal conocer la reglamentación vigente en referencia a la producción orgánica, luego contar con registros de antecedentes de 3 años anteriores (cultivos, labores, insumos), elaborar un plan de producción a cinco años (rotaciones, uso de insumos permitidos, plan de manejo), contar con claros planos de acceso al establecimiento y del establecimiento, registrar todas las actividades y ventas, y finalmente, pero como consecuencia de todas las acciones anteriores, aseguramiento de la trazabilidad. En Argentina los productos orgánicos certificados deben llevar el logo argentino de “Orgánico Argentina” (Res. N° 1291/2012) y el logo de la empresa que certifica al producto (Imagen 50).



Imagen 50. Logos que incluyen los productos orgánicos certificados en sus etiquetas. El primero: Logo Orgánico Argentino, los siguientes, según empresa certificadora, Food Safety, Letis, Organización Internacional Agropecuaria y Ecocert –Argencert

Referencias

- Altieri, M. A. (1994). *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. New York: Harworth Press.
- Ascard, J. (1999). Flame weeding: effects of burner angle on weed control and temperature patterns. *Acta Agriculturae. Scandinavica. Section. B Soil and Plant Science*, 48, 248–254
- Bellon, S. (2016). De la agricultura ecológica a la transición agroecológica. *AE Revista Agroecológica de Divulgación*, 26, 12-15.
- Berner, A. y Fuchs, J. (2016). *The Basics of Soil Fertility. Shaping our relationship to the soils*. Research Institute of Organic Agriculture FiBL. Recuperado de: https://www.organicresearchcentre.com/manage/authincluds/article_uploads/4002-soil-fertility.pdf.
- Bodnaryk, R. P. (1996). Will low-glucosinolate cultivars of the mustards *Brassica juncea* and *Sinapis alba* be vulnerable to insect pests? *Canadian Journal of Plant Science*, 283-287.
- Codex Alimentarius. (2007). *Alimentos producidos orgánicamente*. Roma: FAO.
- Comisión Europea. (2020). Un pacto verde europeo. Recuperado de: <https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal>.
- Durrant, W. y Dong, X. (2004). Systemic Acquired Resistance. *Annual Review Phytopathology*, 42, 185-209.
- ELN-FAB. (2012). *Functional agrobiodiversity: Nature serving Europe's farmers*. Tilburg: ECNC-European Centre for Nature Conservation.
- FAO. (2011). *Elaboración y uso de bocashi*. El Salvador: FAO – PESA.
- Honorable Congreso de la Nación Argentina (1999). Ley 25127 Producción ecológica, biología u orgánica. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25127-59885>.
- Ifoam. (2008) *Definition of Organic Agriculture*. Recuperado de: <https://www.ifoam.bio/why-organic/organic-landmarks/definition-organic>.
- Kirkegaard, J. (1998). Biofumigation potential of brassicas. *Plant and soil* 201,71-89.
- Lampkin, N., Measures, M. y Padel, S. (Eds.). (2017). *Organic Farm Management Handbook*. Gloucestershire: Organic Reaserch Centre Elm Farm.
- Larkin, R. P. (2015). Soil Health Paradigms and Implications for Disease Management. *Annual Review of. Phytopathology*, 53, 199-221.
- Ley 25127. (1999). Cámara del Senado y Diputados Nación Argentina. 2p.
- Little, T. y Frost D. (Eds.) (2008). *A farmer's guide to organic fruit and vegetable production*. Aberystwyth: Organic Centre Wales, Institute of Biological, Environmental and Rural Sciences, Aberystwyth University.
- Mäder, P. (2016) *The Basics of Soil Fertility. Shaping our relationship to the soils*. Research Institute of Organic Agriculture FiBL. Recuperado de: http://www.organicresearchcentre.com/manage/authincluds/article_uploads/4002-soil-fertility.pdf.
- Merrill, R., Hoberecht, K. y Mckeon, J. (1998). Organic teas for compost and nanure. In: *Organic Farming Research Foundation*. 44p.

- Migliorini, P. y Wezel, A. (2017) Converging and diverging principles and practices of organic agriculture regulations and agroecology. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37, 63.
- Ministerio de Agroindustria. SENASA. (2016). Resolución N° 374. 178p.
- Mitidieri, M. (2009). Efecto de distintas secuencias de tratamientos de biofumigación sobre parámetros fisicoquímicos y biológicos del suelo, el rendimiento y la salinidad de cultivos de tomate y lechuga bajo cubierta. *Horticultura Argentina*, 28, 5-17.
- Mitidieri, M. (2013). La biofumigación y el uso de portainjertos resistentes hacen posible el manejo hortícolas. En: M. Mitidieri y N. Francescangelli (Eds.), *Sanidad en Cultivos Intensivos. Módulo 2: Tomate y pimiento. Cómo mantener la sanidad de manera responsable* (p. 8). San Pedro: Ediciones INTA.
- Njoroge, S. M. y Riley, M. B. (2008). Effect of incorporation of *Brassica* spp. Residues on population densities of soilborne microorganisms and on damping-off and *Fusarium* wilt of watermelon. *Plant Disease*, 92(2), 287-294.
- Parolin, P., Bresch, C, Desneux, N., Brun, R.; Bout, A.; Boll, R. y Poncet, C. (2012). Secondary plants used in biological control: A Review. *International Journal of Pest Management*, 58(2), 91–100.
- Pereyra, S., y Avila, A. D. (2008). La biofumigación y el metam sodio como alternativas al uso de bromuro de metilo. Efecto sobre el control de malezas y las características químicas del suelo. *Agriscientia*, 25(2), 75-79.
- Quilty, J. R. y Cattle, S. R. (2011). Use and understanding of organic amendments in Australian agriculture: a review. *Soil Research*, 49(1), 1-26.
- Ramos Agüero, D.; Terry Alfonso, E.; Soto Carreño, F. y Cabrera Rodríguez, J.A. (2014) Bocashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. *Cultivos Tropicales*, 35(2), 90-97.
- Restrepo, J. (1996). *Abonos orgánicos fermentados, experiencias de agricultores en Centro América y Brasil*. San José: CEDECO.
- Restrepo, J. (2007). Manual Práctico A, B, C, de la Agricultura Orgánica y panes de Piedra. *Abonos Orgánicos Fermentados*, 1. 86 p.
- Rojo, M. D. y Pérez, J. L. (2010). *Biodesinfección de suelos y manejo agronómico*. Madrid, España: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- SENASA. (1999-2020). Situación de la Producción Orgánica en la Argentina durante el año 2018. Dirección Nacional de Inocuidad y Calidad Agroalimentaria Dirección de Calidad Agroalimentaria Coordinación de Productos Ecológicos Dir. Orgánicos. Argentina.
- Van Loon, L. C. (1997). Induced resistance in plants and the role of pathogenesis-related proteins. *Plant Pathology*, 103, 753-765.
- Van Uden, G. (2012). Functional agrobiodiversity. Nature serving Europe's farmers. ELN-FAB. 55 p.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571-586.

Wäckers, F. y van Rijn, P.C.J. (2012). Pick and mix: Selecting Flowering Plants to meet the requirements of target biological control insects. *Biodiversity and Insects Pests: key Issues for sustainable management*. John Wiley & Sons. 139-165 p.

Willer, H. y Lernoud, J. (Eds.) (2019) *The world of organic agriculture*. Frick: FiBL.

CAPÍTULO 9

Manejo de las plagas en la producción hortícola

Silvia Alicia Passalacqua y Susana Beatriz Padín

El proceso de reestructuración económica productiva del sector hortícola requiere especialmente de la implementación de estrategias para una agricultura sustentable, preservando la biodiversidad como así también la salud de los trabajadores rurales, sus familias y la comunidad en general.

En este contexto la transición de la agricultura de subsistencia hacia una agricultura sustentable facilita la disponibilidad de hortalizas de alta calidad e inocuas, obtenidas mediante prácticas adecuadas que involucran el manejo integrado del cultivo tradicional y orgánico y de las adversidades biológicas.

Para obtener alimentos inocuos es necesario tener en cuenta todas las etapas de la cadena alimentaria a partir de la producción, recolección y almacenamiento, hasta la preparación y consumo.

Desde el punto de vista de la Protección Vegetal el propósito de este capítulo es preparar a los estudiantes para su futuro accionar como profesionales en el sector, como así también a los productores, proveyendo de herramientas para el manejo de las plagas, alternativas al uso de Productos Fitosanitarios (PF) de síntesis química, con énfasis en métodos de bajo impacto ambiental en un contexto del Manejo Integrado de Plagas (MIP). Focalizando en el monitoreo, la observación, identificación, diagnóstico de las adversidades biológicas y la elección de estrategias adecuadas.

A su vez, concientizar sobre la aplicación del Control Químico en el marco de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), siendo éste en muchos casos difícil de sustituir y o complementar, en general por falta de disponibilidad de otras tácticas de manejo para situaciones determinadas.

A continuación se desarrollan los principales conceptos, necesarios para aplicar e interpretar un adecuado manejo de las plagas, en este caso de la producción hortícola:

Adversidades biológicas de los cultivos

El término **plaga** comprende a “cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales (FAO, 2016). Es decir que el término plaga incluye a malezas, insectos, hongos, entre otros.

Monitoreo de plagas

El monitoreo es una herramienta fundamental para estimar el estado sanitario del cultivo, permite conocer los niveles de presencia de las plagas que se relacionarán con los valores de daño económico establecidos para cada región, por cultivo y adversidad, siendo la base para la toma de decisiones y elección de estrategias de manejo.

Es importante aplicar un adecuado monitoreo para determinar el grado de incidencia de las plagas, para el caso de insectos en cultivo de tomate y pimiento (ej. *Trialeurodes vaporariorum* “mosca blanca”) se realiza mediante la captura de adultos con trampas amarillas, distribuidas de manera representativa en el invernáculo o en el cultivo a campo, observando con lupa los daños y la presencia de ejemplares de diferentes estadios (Delira y Lozano Gutiérrez, 2015). A su vez se examinan las plantas determinando el número de individuos por unidad de referencia, especialmente en folíolos, hojas y flores (Mitidieri y Polack, 2012).

En ambos casos las lecturas y observaciones se deben realizar y registrar con una frecuencia de al menos una vez por semana.

En la zona del Cinturón Hortícola platense se suelen utilizar como referencia para la toma de decisiones, los “Niveles Máximos de Tolerancia”, que representan el máximo nivel poblacional de la plaga que tolera el cultivo, sin pérdida de rendimiento. Estos valores determinan el momento oportuno de intervención aplicando la estrategia disponible y adecuada para el tratamiento de la plaga (Mitidieri y Polack, 2012).

Los monitores deben estar capacitados, por organismos nacionales, provinciales, municipales, con experticia en la temática, para el reconocimiento y localización de las plagas, sus ciclos biológicos, hábitos, comportamiento, umbrales y niveles de daño económico, como así también el estado fenológico de las plantas en el que se manifiesta la adversidad biológica.

Manejo Integrado de Plagas (MIP)

El MIP tiene un enfoque ecosistémico hacia la producción y protección de cultivos que combina diferentes estrategias y prácticas de manejo para obtener cultivos saludables minimizando el uso de fitosanitarios. Su principal objetivo es mantener las condiciones más favorables para el crecimiento y desarrollo del vegetal que se está cultivando, considerando siempre el ambiente, los aspectos ecológicos y sociológicos ligados al mismo, reemplazando la concepción de “eliminar y erradicar” por la de “manejar y mantener” las densidades de las poblaciones plaga en niveles que no produzcan un daño económico. Esto implica avanzar hacia un manejo de las plagas que logre compatibilizar la regulación de las adversidades biológicas con la conservación de los recursos naturales, la salud de los consumidores y de los trabajadores rurales (FAO, 2007).

La evaluación del desarrollo de las adversidades biológicas, es una actividad fundamental sobre la cual se asienta el MIP, incluye a las plagas, sus controladores naturales y las interacciones entre éstos, el cultivo y el ambiente.

Para determinar con la mayor exactitud posible el momento para adoptar una estrategia de manejo es necesario conocer los niveles y umbrales de daño económico de las plagas, que estarán condicionados a la confiabilidad del muestreo.

- **Umbral de Daño Económico (UDE):** representa el valor poblacional de una plaga en el cual las medidas de control se justifican para que la misma no alcance el Nivel de Daño Económico, es decir que los daños que causaría la plaga igualen el costo del control. En determinadas situaciones el UDE permite que pueda esperarse unos días antes de tomar decisiones de control, ya que la plaga puede disminuir su población debido a la presión de los factores represivos del medio. Los valores de UDE son establecidos por Organismos de Investigación, con participación de productores, a nivel regional para las diferentes subregiones agroecológicas. De esta manera se definen los umbrales cuantitativos, que generalmente están disponibles en regiones avanzadas de la producción agrícola; no obstante la realidad es que para gran parte de las regiones no están determinados. Ante esta situación es común la recomendación de valores orientativos (UDE) de referencia de zonas agroecológicas similares.
- **Nivel de Daño Económico (NDE):** es el nivel de población de una plaga que, cuando es alcanzado, causa al cultivo y por ende a la producción, un daño económicamente significativo. Este daño estaría representado por un descenso en el rendimiento superior al 50% de la producción real esperada (Vigiani, 2005).

Para definir los UDE es necesario conocer los niveles de daño económico que se prevén a través del monitoreo y pronóstico de plagas, en la primera etapa de su aparición. Lógicamente se requiere observación e investigación de cultivos a campo y protegidos para el registro de datos que contribuyan al MIP.

La implementación de las distintas estrategias del MIP corresponde a una serie de procedimientos y actividades de control destinadas a que el nivel de la plaga vuelva a estar bajo el umbral de daño económico.

Lineamientos para la implementación del MIP

El enfoque general de un MIP contempla los siguientes pasos:

1. Prevención y/ o supresión de organismos nocivos por medio de una combinación de las siguientes alternativas:

- Rotación de cultivos
 - Adopción de técnicas de cultivo adecuadas (desinfección de almaciguera, fecha y densidad de siembra, labranza conservacionista, siembra directa, poda, etc.)
 - Empleo de cultivares resistentes/tolerantes a plagas, semillas y material de propagación certificado
 - Fertilidad equilibrada del suelo y manejo del agua, haciendo un uso óptimo de la materia orgánica
 - Saneamiento e higiene en el campo y en cultivos protegidos (mediante la eliminación de plantas o partes de plantas afectadas, limpieza regular de maquinaria de labranza y equipos de aplicación, etc.), a fin de evitar la propagación de organismos nocivos
 - Protección y mejora de organismos benéficos
2. Monitoreo de las adversidades biológicas con métodos y herramientas adecuadas por medio de observaciones a campo e invernáculo y sistemas de advertencia, pronóstico y diagnóstico temprano (por ejemplo, trampas) cuando sea factible.
 3. Elección de las estrategias de manejo: se decide en base a los resultados del monitoreo, priorizando los métodos biológicos, físicos y otros sostenibles, que proporcionen un control de plagas satisfactorio.
 4. Aplicación de productos fitosanitarios de síntesis química cuando su uso se justifique económicamente y no se cuente con alternativas adecuadas.
 5. Monitorear el éxito de las estrategias de manejo aplicadas, con el propósito de evaluar la efectividad de las mismas. Esta etapa de verificación determina si se deben realizar nuevas medidas de control (FAO, 2020).

Componentes del MIP

Las distintas estrategias de manejo de plagas constituyen los pilares del MIP, tales como el control cultural, mecánico, físico, legal, etológico, biológico, genético, químico, entre otros, siendo esta categorización dinámica. Estas tácticas se utilizan en forma preventiva o curativa según los casos y se complementan integrando medidas apropiadas que mitiguen el desarrollo de las poblaciones plaga, por medio de intervenciones que se justifiquen económicamente reduciendo o minimizando los riesgos para la salud humana y el ambiente.

Control cultural

Se trata de actividades que han sido transmitidas de padres a hijos desde tiempos ancestrales, fáciles de aplicar, no contaminan el ambiente, favorecen el aumento de organismos benéficos y son de bajo costo por ser parte de las labores habituales. Involucra prácticas agrícolas que modifican el medio haciéndolo menos favorable para el desarrollo de la plaga, disminuyendo de este modo el daño al cultivo, como por ejemplo una correcta elección del terreno y preparación del suelo, saneamiento previo a siembra o trasplante, selección de semillas, adelanto o atraso de fechas de siembra, manejo del agua de riego, fertilización, poda, rotación de cultivos, plantas trampa, uso de tutores, incorporación al suelo de residuos de cosecha, eliminación de basurales, destrucción de órganos de reproducción de malezas mediante aradas, exposición al frío y al calor, adelanto de la cosecha evitando enfermedades, otros.

Control físico

Utiliza agentes abióticos en intensidades que resultan letales para las plagas, no es contaminante y compatible con otras prácticas. Son ejemplos la solarización, la esterilización del suelo con vapor de agua (1 hora a 90 °C, a 30 - 40 cm de profundidad), el calor de fermentación anaeróbica en compost (para eliminar patógenos e insectos), la irradiación con rayos gamma (técnica del insecto estéril – TIE), el uso del ultrasonido (control de roedores), la atmósfera controlada para el almacenamiento de granos y de frutas (elimina las plagas por asfixia, en ambientes confinados alterando la concentración de O₂, CO₂ y N₂, componentes naturales de la atmósfera de los productos almacenables), las bandas cromotrópicas adhesivas para trapeo (detección y monitoreo de plagas en cultivos hortícolas), etc. Además, es interesante destacar que para el control físico se utilizan geomateriales como las zeolitas, caolín y tierras de diatomeas (TD).

- Las *zeolitas* son aluminosilicatos alcalinos, en general derivadas de materiales volcánicos, está demostrado su potencial insecticida para el control de coleópteros plaga (Soca Nuñez *et al.*, 2015).
- El *caolín* presenta actividad en plagas de cultivos hortícolas, con gran efectividad para el control de polilla del tomate (*Tuta absoluta*), minadores de la hoja (*Liriomyza* sp.) y mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*). Es eficaz especialmente sobre los estados ninfales y adultos, debido a que estos polvos inertes tienen la capacidad de absorber los lípidos cuticulares, deteriorando la cutícula de los insectos y provocando su deshidratación. Asimismo, se ha evidenciado que estas partículas generan una barrera que impide la alimentación del insecto causando inanición (Padín y Passalacqua, 2018)
- Las *tierras de diatomeas* (TD) son polvos inertes de origen sedimentario, compuestas por esqueletos de microscópicas algas acuáticas unicelulares, formando parte del fitoplancton existente en ríos y océanos (Korunic, 1998). Las TD están registradas como insecticida de bajo riesgo toxicológico, principalmente, para el control de insectos en granos almacenados, para uso doméstico y para plagas en cultivos hortícolas protegi-

dos (García-Gutiérrez y González-Maldonado, 2010; Korunic, 1998; Fusé *et al.*, 2013). Las TD realizan un control físico en el insecto dado que su mecanismo de acción es por abrasión y adsorción de los lípidos cuticulares del insecto produciendo la muerte por desecación, de manera similar al caolín (Pedrini *et al.*, 2007).

Control mecánico

Incluye técnicas antiguas y simples para la lucha contra las adversidades biológicas, que consisten en la remoción y destrucción de las plagas ya sea en forma manual o utilizando elementos mecánicos adaptados a tal fin. Para la horticultura resulta ser un método efectivo y no contaminante, como por ejemplo: destrucción de órganos afectados, extracción manual de malezas o utilización de maquinaria de labranza (rastras, cultivadores, rotativas), exclusión por medio de barreras adecuadas para control de áfidos y trips, trampas de color y de luz, podas, mulching.

Control biológico

Es una estrategia de control de plagas en la cual se utilizan enemigos naturales, antagonistas, competidores u otros agentes de control biológico, NINF 3 (FAO, 2005). Es un método que puede ser complementario y/o alternativo al control químico y demás tácticas que integran un MIP.

En cultivos hortícolas el Control Biológico es una práctica exitosa, utilizada desde hace varias décadas a nivel mundial para el manejo de plagas bajo cubierta, se sustenta en las interacciones bióticas entre las plagas y sus enemigos naturales, ya sean depredadores, parasitoides o entomopatógenos.

En algunos invernaderos se aplica el “control biológico aumentativo” que consiste en liberaciones periódicas de enemigos naturales con fines preventivos o curativos.

A su vez, se puede utilizar el “control biológico por conservación” que consiste en la modificación del ambiente para proveer hábitat y recursos que favorezcan el establecimiento temprano y el desarrollo de enemigos naturales endémicos. Considerada una estrategia sustentable se sitúa como medida preventiva dentro de un programa de MIP, compatible con la agricultura agroecológica y orgánica, basadas en el incremento de los procesos naturales del agroecosistema.

Cuando se proyecta implementar un Control Biológico es necesario considerar la compatibilidad entre esta estrategia y otras como es el control químico, evitando posibles efectos secundarios sobre los enemigos naturales que se podrían perjudicar en forma directa al liberar y/o conservar en el invernadero o en el agroecosistema a intervenir. El efecto del control biológico no es inmediato, no obstante cuando se produce tiene permanencia en el tiempo.

Las plagas más frecuentes de las hortalizas son las moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae), los trips (Thysanoptera: Thripidae), las polillas (Lepidoptera), las arañuelas (Acari: Tetranychidae) y los pulgones (Hemiptera: Aphididae), siendo exitoso el control biológico en muchos casos.

- Moscas blancas: las principales especies asociadas a cultivos hortícolas son *Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*. Entre los enemigos naturales de estas especies más estudiados como agentes de control biológico se destacan los parasitoides *Encarsia formosa*, *Eretmocerus mundus* y *Eretmocerus* sp. cercana a *E. corni* (Hymenoptera: Aphelinidae) y la chinche predadora *Tupiocoris cucurbitaceus* (Hemiptera: Miridae) (López y Evans, 2008; Chacón Castro y López, 2010; López *et al.*, 2012; Orozco *et al.*, 2012; Polack *et al.*, 2017)
- Pulgones: se han realizados experiencias para el control de *Myzus persicae* por el parasitoides *Aphidius colemani* mediante el manejo de hospederas alternativas en el cultivo de rúcula y mediante liberaciones aumentativas en el cultivo de pimiento (Andorno y López, 2014)

Entre los controladores biológicos entomopatógenos más utilizados (hongos, bacterias, virus, nemátodos) que son capaces de causar una enfermedad en el insecto plaga provocando su muerte después de un período de incubación, se encuentran: *Beauveria bassiana* (formulación registrada en el Registro Nacional de Agroquímicos y Biológicos del SENASA) *Metarhizium anisopliae*, *M. robertsii*, *M. rileyi*, *Isaria fumosorosea*, *I. farinosa*.

En cultivos hortícolas se han citado: *Isaria fumosorosea* (Wize) Brown & Smith como potenciales agentes de control biológico para “mosca blanca”; *Beauveria brongniartii* Sacc. y

Metarhizium anisopliae Metsch.,) para control del pulgón verde de la papa *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae) (Rojas – Gutiérrez *et al.*, 2017) y *Beauveria bassiana* para el control de hormigas cortadoras del género *Atta* spp., entre otros (Chiriboga *et al.*, 2015).

Además, se está investigando la aplicación de control biológico conservativo mediante el uso de “plantas insectario” para promover la presencia de sírfidos o “moscas de las flores” (Diptera : Syrphidae) que son polinizadores y sus larvas depredadoras de insectos de cuerpo blanco como los pulgones, moscas blancas y trips (Díaz y Maza, 2017).

Por otra parte, es oportuno mencionar que ante la necesidad de importar controladores biológicos exóticos de plagas, que no estaban presentes en el país, la entonces Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA) dictó las siguientes Resoluciones de cumplimiento obligatorio: Resolución N° 758 (SAGPyA, 1997) por medio de la cual los Agentes de Control Biológico (ACBs) a importar previamente se someterán a un Análisis de Riesgo a la Introducción, cuarentena y su liberación. Una vez aprobado deben cumplir un procedimiento especial en el punto de ingreso y en las actividades autorizadas y la Resolución N° 350 (SAGPyA, 1999) que regula el Registro Experimental y Definitivo de ACBs microbianos, productos técnicos microbianos y productos microbianos formulados, no incluye agentes microbianos genéticamente modificados ni macroorganismos: ácaros, insectos, predadores, parasitoides y nemátodos (acondicionados o formulados).

Estas Regulaciones se basaron en normas Internacionales y regionales: NINF 3 (FAO, 2005) que brinda las directrices para el manejo del riesgo en la importación, liberación, expor-

tación y el envío de Agentes de Control Biológico (ACBs) y otros Organismos Benéficos (OBs) con alcance a ACBs capaces de reproducirse. Están incluidos los parasitoides, depredadores, parásitos, nematodos, organismos fitófagos y patógenos tales como los hongos, bacterias y virus, así como los insectos estériles y otros OB por ejemplo micorrizas y polinizadores. Esta Norma proporcionó el marco para el dictado de los estándares regionales para Control Biológico del Comité de Sanidad Vegetal (COSAVE), que se internalizaron en Argentina a través de las Resoluciones antes mencionadas.

Control genético

Comprende principalmente al mejoramiento genético que se expresa en las plantas resistencia a las plagas tales como enfermedades, virus e insectos. A través de cruzamientos convencionales hasta la ingeniería genética (organismos genéticamente modificados) cuya diferencia radica en el repertorio genético que se puede manejar, genes de la misma especie o de cualquier especie por edición exógena (transformación) (Etchenique *et al.*, 2004).

Para el mejoramiento genético debe existir variabilidad genética para los caracteres que se desean mejorar y la reproducción sexual para la incorporación de los mismos, situación muchas veces restringida en los cruzamientos convencionales por las barreras de cruzabilidad, mientras que la transformación génica supera esta barrera (Etchenique *et al.*, 2004).

Algunos ejemplos son soja resistente al Cancro del Tallo, *Diaporthe phaseolorum* var. *caulivora* obtenida por técnicas de mejoramiento tradicional, papa resistente al Virus PVI, Algodón Bt, Soja Bt y Maíz Bt resistentes a insectos lepidópteros y, en el caso del maíz también a coleópteros, todos obtenidos por modificación genética.

Control etológico

Se refiere al uso de métodos de represión que aprovechan las reacciones de comportamiento de los insectos plaga, que están determinadas por la respuesta a la presencia u ocurrencia de estímulos habitualmente de naturaleza química y en menor grado, física y mecánica. Los mensajes que se envían y reciben pueden ser de atracción sexual, alarma, agregamiento, orientación y otros. Desde el punto de vista práctico, la aplicación del control etológico incluye la utilización de feromonas, atrayentes en trampas y cebos, repelentes, inhibidores de alimentación y sustancias diversas que tienen efectos similares.

Las feromonas son mediadores químicos que actúan a nivel intra-específico (los insectos perciben por quimiorreceptores localizados en diversas partes del cuerpo). Son hormonas que actúan como mensajeros químicos, sintetizadas por los insectos, inducen determinadas reacciones de tipo biológico. Por ejemplo, feromonas sexuales que emiten las hembras de los insectos para atraer a los machos. Se usan: 1. en cebos masivos (mass-trapping); 2. para provocar confusión: desorientación de los machos por sentir atracción desde diversos puntos dificultando el apareamiento; 3. seguimiento de la expansión de la plaga: colocando trampas con la feromona, observando la evolución de los desplazamientos y poblaciones.

Para poder utilizar el control etológico como estrategia dentro del MIP, es fundamental conocer las reacciones de comportamiento de los insectos plaga.

Control legal

Se implementa a través de Normas (Resoluciones, Disposiciones) nacionales y/o provinciales, que dictan los Organismos responsables de la Sanidad y Calidad Agroalimentaria del País, como por ejemplo establecer la anticipación de fechas de siembra para escapar de la incidencia de una determinada plaga, incorporar barreras Fitosanitarias obligatorias como punto de control para el movimiento de vegetales y/o sus partes de una zona a otra del país, manteniendo el status fitosanitario de la región preservada, regular el ingreso al país de vegetales y/o sus partes evitando la introducción de plagas cuarentenarias (no presentes en el territorio nacional).

El control legal incluye también las medidas de cuarentena, inspección, erradicación, reglamentación de cultivos por aspectos fitosanitarios, etc.

Control químico

La valoración del Riesgo de posibles daños sobre el ambiente y la salud humana tiene una jerarquía aún mayor que los UDE de las plagas, para la toma de decisiones, debido a que considera dos aspectos muy importantes, el nivel de toxicidad de los Productos Fitosanitarios (PF) y la exposición a los mismos.

Se deben privilegiar los PF con menor toxicidad aguda (visualizada en las etiquetas como banda verde) que a su vez es la tendencia al registrar moléculas nuevas, como así también con mejores perfiles ecotoxicológicos (bajo impacto en organismos no blanco, degradación rápida, entre otros).

Si bien se considera al control químico como último recurso cuando no existan otras alternativas adecuadas, muchas veces es la herramienta elegida por el productor en este caso hortícola, debido a que generalmente su efecto es rápido y visualmente eficaz. Por tal motivo se considera prioritario profundizar en el conocimiento exhaustivo de los PF que deben ser específicos para el objetivo y tener los menores efectos secundarios sobre la salud humana, los organismos no blanco y el ambiente. Como así también utilizarse para el fin que están aprobados en las condiciones establecidas por el Registro Nacional siguiendo los lineamientos de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), que cuentan con protocolos para minimizar la exposición que puede implicar la aplicación de un PF (Red Buenas Prácticas Agrícolas, 2015).

Generalmente los efectos no deseados de un PF determinado se manifiestan por el mal uso del mismo (falta de eficacia, residuos fuera de los límites permitidos, generación de resistencia).

Productos Fitosanitarios

En concordancia con la definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se considera al producto fitosanitario (PF) a “cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, repeler o controlar la acción de las plagas”: insectos, ácaros, moluscos, roedores, malezas, bacterias, hongos y otras formas de vida animal o vegetal perjudiciales para la agricultura, durante la producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución y la elaboración de productos agrícolas y sus derivados.

Los PF se presentan formulados a través del acondicionamiento y preparación del principio activo (p.a.). “Formular es el proceso mediante el cual se combinan las sustancias activas con las auxiliares para obtener un producto fitosanitario apropiado para su venta, distribución y utilización” (COSAVE, 1996).

Las distintas combinaciones de los componentes de la formulación determinan su estado físico: sólido líquido o para generar gases, con gran variedad de presentaciones: Polvos, Polvos solubles, Polvos mojables, Granulados, Granulados dispersables en agua; Líquidos solubles, Líquidos emulsionables, Líquidos emulsionados, Suspensiones, Microemulsiones, Microencapsulados, Fumigantes, Aerosoles, Cebos y Curasemillas, otros (CASAFE, 2017 -2019).

Para poder comercializar un PF debe registrarse en el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), cumplimentando los requisitos del “Manual de Procedimientos, Criterios y Alcances para el Registro de PF en República Argentina” Resolución 350 (SAGPyA, 1999), que establece los procedimientos criterios y alcances con el fin de aprobar la venta y utilización de los PF previa evaluación de datos científicos suficientes que demuestren que el producto es eficaz para el fin que se destina y no entraña riesgos indebidos a la salud y el ambiente.

Las etiquetas o marbetes de los PF contienen información sustancial completa y reglamentada bajo normas internacionales y nacionales. Desde el rol de profesionales de las ciencias agrarias y especialmente en la actividad de extensión, es una tarea esencial adiestrar a los productores en su lectura e interpretación, para lo cual a continuación se puntualiza su principal contenido, distribuido en tres cuerpos:

- *Cuerpo derecho*: indica las instrucciones y recomendaciones de uso (cultivos a tratar, dosis y momento de aplicación) y las restricciones para evitar la presencia de residuos objetables.
- *Centro de la etiqueta*: figura la marca, composición química, fecha de vencimiento, empresa productora o importadora y número de registro en el SENASA. En este sector se incluye una letra y un número que indican el mecanismo de acción del Insecticida, Herbicida o Fungicida en concordancia con los Comité Internacionales de Resistencia (SENASA, 2014)
- *Cuerpo izquierdo*: presenta precauciones de manipuleo, almacenamiento, primeros auxilios, antídotos, advertencias para el médico, clase toxicológica y los solventes orgáni-

cos en caso de poseerlos. Incluidos los riesgos ambientales y los teléfonos de los Centros Toxicológicos.

En la zona inferior de la etiqueta o marbete se ubica una **banda de color** que indica la **Categoría Toxicológica (CT) del PF**, que en base a los riesgos la OMS, los clasifica en Ia, Ib (Rojo), II (Amarillo), III (Azul) y IV (Verde) (Imagen 51).

CLASIFICACIÓN SEGÚN LOS RIESGOS (OMS)	COLOR DE LA BANDA	LEYENDA DE LA BANDA
Clase Ia Extremadamente peligroso	ROJO	MUY TÓXICO
Clase Ib Altamente Peligroso	ROJO	TÓXICO
Clase II Moderadamente peligroso	AMARILLO	NOCIVO
Clase III Ligeramente peligroso	AZUL	CUIDADO
Clase IV Normalmente no ofrece peligro	VERDE	CUIDADO

Imagen 51. Clasificación Toxicológica de los Productos Fitosanitarios (OMS)

La modificación de normas anteriores sobre la expresión de la toxicología, es en verdad muy apropiada ya que con los colores se visualiza rápidamente el riesgo toxicológico de cada PF. Como así también la inclusión de letras y números en el marbete que indican de forma simplificada el **mecanismo de acción** de cada grupo de principios activos. Estos mecanismos son muy complejos y actúan inhibiendo diferentes sitios bioquímicos. El reiterado uso de un mismo mecanismo de acción junto a la presión de selección tiene grandes posibilidades de generar resistencia en la plaga. De este modo el productor está alertado de una manera sencilla sobre la conveniencia de aplicar una secuencia de PF de distintas letras y números.

Otra información disponible en los marbetes consiste en:

- **Período de carencia:** proviene de los ensayos de residuos presentados para el registro del PF, indica el tiempo legalmente establecido expresado en número de días, que debe transcurrir entre la última aplicación del PF y la cosecha o el pastoreo de animales. En el caso de aplicaciones en poscosecha se refiere al intervalo entre la última aplicación y el consumo del producto vegetal. Su falta de cumplimiento puede ocasionar

nar presencia de residuos que excedan los límites permitidos (LMR) situación de mayor riesgo para productos de consumo fresco (hortalizas, y frutas especialmente) lo que puede producir toxicidad crónica para el consumidor.

- **Pictogramas o ilustraciones:** son símbolos gráficos que transmiten un mensaje sin utilizar palabras, referido a la seguridad o advertencias a los usuarios en forma visual. Estos pictogramas se dividen en cuatro categorías: 1) almacenamiento 2) manipuleo y aplicación 3) recomendaciones de seguridad e higiene 4) advertencias sobre riesgos ambientales.

Recomendaciones sobre Calidad de Agua

El agua es el solvente universal (vehículo) que se agrega a la mayoría de los PF para las aplicaciones agrícolas, es fundamental conocer su aptitud para evitar que se altere la estabilidad y la eficacia de las formulaciones.

Previo a la utilización del agua se debe determinar su calidad mediante un análisis de laboratorio que determina su apariencia (turbidez, suciedad, materia orgánica en suspensión), la cantidad y calidad de sales, dureza (se expresa como la suma del contenido de calcio y magnesio) y pH (para aplicaciones agrícolas lo deseable es pH entre 4 y 6). Las muestras hay que tomarlas de las fuentes de provisión de agua (pozo, tanque australiano, arroyo, etc).

Otras consideraciones a tener en cuenta son: reducir el volumen de aplicación por ha (sin afectar la cobertura), utilizar agua que esté a temperatura ambiente, usar coadyuvantes cuando sea necesario y preparar la solución/suspensión del producto próximo a su aplicación (Padín y Passalacqua, 2018).

Eficiencia de un Producto Fitosanitario

Ante la decisión de optar por el Control Químico como estrategia dentro del MIP se debe seleccionar el PF de acuerdo a la indicación expresa de los marbetes para el manejo de las plagas en cuestión, utilizando una adecuada **técnica de aplicación** siguiendo las BPA, con personal idóneo y bajo asesoramiento técnico profesional de un Ingeniero Agrónomo.

Las variables a considerar que influirán directamente sobre la calidad y eficiencia de la aplicación son el estado del cultivo, la adversidad biológica a controlar, el PF a utilizar en la dosis correcta, en el lugar y momento adecuado, minimizando la contaminación y el riesgo de los operarios, las condiciones ambientales, la calibración del equipo, la calidad del agua y las precauciones, en cuanto a la protección personal, entre otros (Imagen 52).

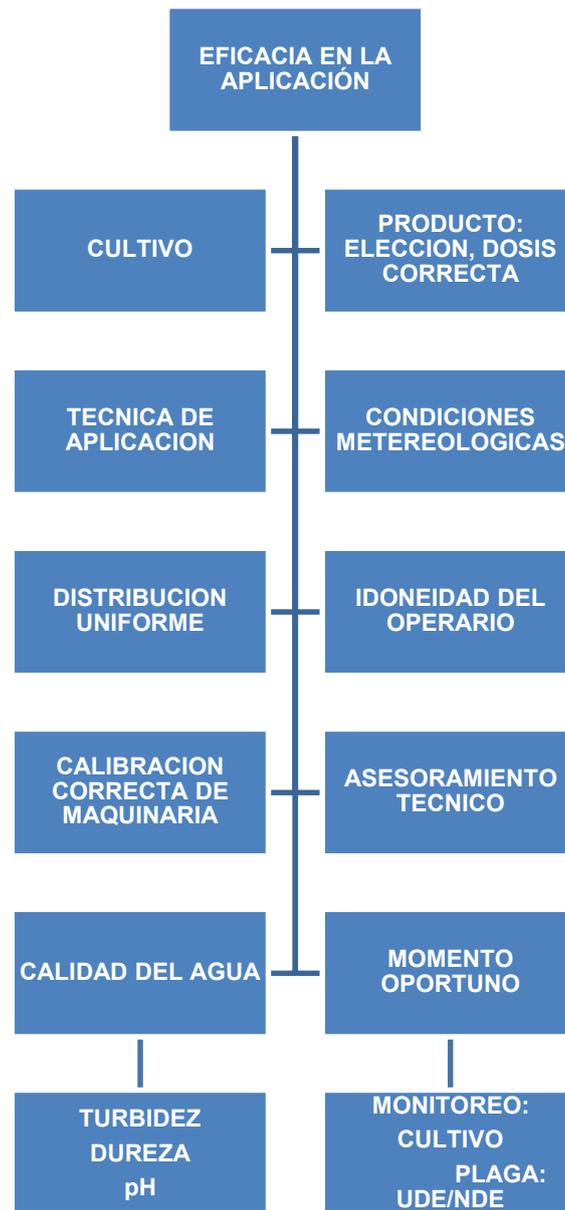


Imagen 52. Factores que inciden en la eficacia de la aplicación de un producto fitosanitario

Como se expresó en diversos puntos de éste capítulo, el objetivo principal ha sido aportar distintas herramientas para el manejo de las adversidades biológicas de los cultivos hortícolas, con una visión de minimizar la utilización del control químico, y en caso de ser indispensable, que la producción se encuentre dentro de los Límites Máximos de Residuos (LMR) establecidos para cada caso.

Para poder lograr el cambio del modelo convencional del sector hortícola hacia un manejo agroecológico, se considera necesario un trabajo interdisciplinario en conjunto entre docencia, investigación y extensión.

Referencias

- Andorno, A. V. y López, S. N. (2014). Biological Control of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) through banker plant system in protected crops. *Biological Control*,78, 9-14.
- CASAFE (2017 – 2019). *Guía de Productos Fitosanitarios*. Buenos Aires: Editorial Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes.
- COSAVE. (1996). Estándar Regional en Protección Fitosanitaria. Glosario de términos afines al Registro de Productos Fitosanitarios. Recuperado de <http://www.cosave.org>
- Chacón Castro, Y. y López, S. N. (2010). Biología de *Eretmocerus mundus* (Hymenoptera: Aphelinidae), parasitoide del complejo *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae), en condiciones de laboratorio. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*,69,(1-2), 45-56.
- Chiriboga, P. H., Gómez, B. G. y Garcés E. K. (2015). *Beauveria bassiana*, hongo entomopatógeno para el control biológico de hormigas cortadoras (YSAÚ) IICA. Recuperado <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/2646/BVE17038724e.pdf>.
- Delira, J. A. y Lozano Gutiérrez, J. (2015). Mosquita blanca *Trialeurodes vaporariorum* Westwood. Recuperado de: www.academia.edu.
- Díaz, B. M. y Maza, N. (2017). Dinámica espacio-temporal de insectos plaga y sírfidos en lechuga agroecológica asociada con aliso (*Lobularia maritima*). En: *VI Congreso Latinoamericano de Agroecología*. Brasilia: SOCLA.
- Etchenique, V., Rubistein, C. y Mroginski, L. (2004). Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Fusé, C. B., Villaverde, M. L., Padín, S. B., De Giusto, M. y Juárez, M. P. (2013). Evaluación de la actividad insecticida de tierras de diatomeas de yacimientos argentinos. *Revista RIA*, 39(2), 207 – 213.
- García-Gutiérrez, C. y González-Maldonado, M. B. (2010). Uso de bioinsecticidas para el control de plagas de hortalizas en comunidades rurales. *Ra Ximhai*,6(1), 17-22.
- Korunic, Z. (1998). Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. *Journal of Stored Products Research*,34 (2/3), 87-97.
- López, S. N. y Evans, G. A. (2008). Nuevos registros y distribuciones de especies del género *Eretmocerus* (Hymenoptera: Aphelinidae), parasitoides de *Trialeurodes vaporariorum* y el complejo *Bemisia tabaco* (Hemiptera: Aleyrodidae) en Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*,67(1-2), 185-187.
- López, S. N., Arce Rojas, F., Villalba, V. y Cagnotti, C. (2012). Biology of *Tupiocoris cucurbitaceus* (Hemiptera: Miridae), a predator of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) in tomato crops in Argentina. *Biocontrol Science and Technology*,22(10), 1107-1117.
- Mitidieri, M. y Polack, L. A. (ex aequo). (2012) *Guía Práctica de Monitoreo y Reconocimiento de plagas, enfermedades y enemigos naturales del tomate y pimiento*. San Pedro: Ediciones INTA.

- FAO (2005). *Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias (NINF 3). Directrices para la exportación, el envío, la importación y liberación de agentes de control biológico y otros organismos benéficos*. Recuperado de: www.fao.org
- FAO. (2007). *Guía del Manejo Integrado de Plagas para técnicos y productores*. Recuperado de https://www.jica.go.jp/project/panama/0603268/materials/pdf/04_manual/manual_04.pdf
- FAO. 2016. *Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias (NIMF 5), Glosario de Términos Fitosanitarios*. Recuperado de: <http://www.fao.org/publications>) Normas
- FAO. (2020). *Manejo Integrado de Plagas*. Recuperado de: <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/pests/ipm/more-ipm/en/>
- Orozco, A., Villalba Velásquez, V. y López, S. N. (2012). Desarrollo de *Tupiocoris cucurbitaceus* Spinola (Hemiptera: Miridae) sobre *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) en diversas hortalizas. *Fitosanidad*, 16(3), 147-153.
- Padín, S. B. y Passalacqua, S. A. (2018). *Protección Vegetal. Una mirada hacia el cuidado del ambiente y la salud humana*. La Plata Edulp.
- Pedriani, N., Juárez, M. P. y Crespo, R. (2007). Biochemistry of insect epicuticle degradation by entomopathogenic fungi. *Comparative Biochemistry and physiology. Toxicology & Pharmacology*, 146, 124-137.
- Polack, A., López, S. N., Silvestre, C., Viscarret, M., Andorno, A., del Pino, M., Peruzzi, G., Gómez, J. y Iezzi, A. (2017). *Control biológico en tomate con el mirido Tupiocoris cucurbitaceus*. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_control_biologico_en_tomate_con_tupiocoris_cucurbitaceus.pdf.
- Red de Buenas Prácticas Agrícolas (2015). Recuperado de: <http://redbpa.org.ar/wp-content/uploads/2020/01/EP-RedBPA-CultivosIntensivos.pdf>
- Rojas-Gutiérrez, R. L., Loza-Murguía, M., VINO-NINA, L. y Serrano-Canaviri, T. (2017). Capacidad biocontroladora de *Beauveria brongniartii* (Sacc.) y *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) en el control de pulgones *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae). *Journal of the Selva Andina Research Society*, 8(1), 48-68.
- SAGPyA. (1997). Resolución N° 758. Recuperado de: <http://www.senasa.gob.ar/normativas/resolucion-758-1997-sagpya-secretaria-de-agricultura-ganaderia-pesca-y-alimentos>
- SAGPyA. (1999). Resolución N° 350. Recuperado de: <http://www.senasa.gob.ar/normativas/resolucion-350-1999-sagpya-secretaria-de-agricultura-ganaderia-pesca-y-alimentos>
- SENASA. (2014). Resolución N° 367. Recuperado de <http://www.infoleg.gob.ar>
- Soca Nuñez, M., Peña, W. y Martínez, F. (2015). La zeolita como alternativa para el control de plagas en la conservación de granos de Maíz (*Zea Maíz*) en Cuba. *Repertorio Científico*, 18(2), 103-107.
- Vigiani, A. (2005). *Hacia el control integrado de plagas*. San Salvador de Jujuy: Editorial de la Universidad Nacional de Jujuy.

CAPÍTULO 10

Prepararse para nuevos desafíos laborales

Rossana Cacivio

Según tendencias estimadas para el mercado laboral agropecuario, durante los próximos 30 años (2050), se estima que la mitad de los trabajos actuales está en riesgo de desaparecer y todas las profesiones afines estarán sujetas a cierto grado de automatización. Esto impacta directamente en nuestra implicancia como casa de estudios, y la responsabilidad de formar a los estudiantes en las competencias complejas que exigen los nuevos perfiles profesionales.

El proceso de cambio tecnológico en Argentina, y específicamente el agropecuario, plantea por un lado un polo de conocimiento científico-tecnológico y de producción-servicios altamente concentrado en grandes jugadores internacionales que, con paquetes tecnológicos cerrados, regulan los procesos de innovación y cambio tecnológico del sector desde sus centrales de I+D ubicadas en países desarrollados. Nuestra agricultura “de escala” o “industrial” se inserta en estas “cadenas globales de valor”, entendidas como redes tecno-económicas y socio-políticas que si bien promueven la innovación a una mayor escala, condicionan las posibilidades de desarrollo de pequeñas y medianas empresas agropecuarias en países periféricos (Agarwal, 2018).

A la par, existe en Argentina otro polo intensivo en conocimientos, el de los sistemas de producción intensivos como la horticultura que presenta ciertas ventanas de oportunidad, en particular para pequeñas y medianas empresas, para efectuar procesos de mejoras incrementales y desarrollo de nuevos productos y servicios, es decir, innovaciones.

Aprovechar estas ventanas de oportunidad requiere, para las PyMes agropecuarias, del desarrollo de capacidades tecnológicas endógenas y de diversas modalidades de inserción en los mercados. Ambas dimensiones implican aprendizajes en base a una trayectoria de conocimientos tácitos y codificados, que resultan luego en esfuerzos de innovación tecnológica y no tecnológica para las mismas (Barletta *et al.*, 2013).

En la literatura especializada sobre innovación, a estas empresas se las denomina **Knowledge Intensive Business Services (KIBS)**, caracterizadas por localizar, desarrollar, combinar y aplicar diferentes tipos de conocimientos genéricos y tecnológicos; y ponerlos a disposición de resolver problemas específicos de sus clientes. Las firmas KIBS han sido definidas de diferentes formas, sin embargo contienen características generales: responden con servicios demandados específicamente por otras firmas u organizaciones, son intensivas en conocimiento por la forma de transacción que establecen entre proveedor y usuario; y efectúan procesos

cognitivos complejos orientados hacia innovaciones tecnológicas y no tecnológicas basadas en su factor clave, el capital humano intelectual (Miles *et al.*, 2018)

Las KIBS agropecuarias contribuyen a la innovación en servicios agronómicos, y si bien tienen modelos de negocios similares a las firmas de salud humana, presentan especificidades que requieren ser abordadas (Miles *et al.*, 2018). Es a partir de esta identificación como tipología específica de empresas, que se plantea estudiar a la innovación en un sentido sistémico (Bergek *et al.*, 2008), considerando incorporar el análisis de los servicios en relación con instituciones de ciencia y tecnología (universidades, centros de investigación, entre otras) y la responsabilidad en la formación de profesionales que puedan cubrir la demanda de este perfil de empresas.

Entendemos que la innovación es un fenómeno emergente complejo que surge de la interacción entre capacidades endógenas de las firmas y condiciones del entorno sistémico en el cual se dinamizan. Están relacionadas con las modalidades de búsqueda, incorporación, asimilación y producción de conocimientos, tácitos y codificados en las empresas, que les permiten interactuar con otros agentes a los fines de dar respuestas creativas y/o adaptativas a las condiciones de mercado donde se desarrollan (Antonelli, 2017).

Estas capacidades endógenas tienen que ver con componentes tecnológicos (maquinarias, softwares, entre otros), modalidades organizacionales de investigación y desarrollo (laboratorios, áreas de I+D, chacras experimentales) y capital humano especializado (científicos, ingenieros, técnicos, administradores de empresas, entre otros) (Teixeira y Tavares-Lehmann, 2014). La importancia del entorno es relevante, en particular en aquellos sectores donde la localización provoca efectos positivos en las interacciones con otras empresas y/o instituciones del ambiente innovativo. Lo que ha dado lugar a considerar a estos espacios localizados de generación de innovaciones como “sistemas regionales de innovación”.

Los sistemas regionales de innovación consideran que el proceso de innovación y aprendizaje posee una dimensión social y de localización geográfica compartida, que implica la interacción de las empresas con instituciones académicas, centros de investigación, agencias gubernamentales, entre otros actores territoriales (Cooke, 2012). El capital humano involucrado en estos procesos es formado en los centros universitarios cercanos a los **clusters** donde se produce la innovación y esta depende de las competencias que desarrollen los perfiles profesionales formados.

Otro aspecto a considerar es el interés por la innovación en empresas intensivas en conocimientos que elaboran productos y prestan servicios. Estas son de creciente importancia para investigadores como para diseñadores de políticas de ciencia, tecnología e innovación (Lodefalk, 2017). El proceso de cambio hacia los servicios en las estrategias de las firmas, es el emergente de una dinámica sociotécnica compleja basada en innovaciones organizacionales y tecnológicas orientadas por modelos **product-service system y service-oriented manufacturing** (Gomes *et al.*, 2018), que las universidades deberán tener en cuenta para reorientar el perfil de los futuros profesionales.

Estos nuevos modelos de negocio con estrategias producto-servicios intensivos en conocimientos, emergen como proveedores especializados, al pasar de meros oferentes de insumos manufacturados (bienes) hacia **transfers** de competencias tecnológicas que los clientes demandan para dar soluciones a sus problemas, y que a su vez dinamizan procesos de innovación interactivos en base a relaciones usuario – proveedor (Miles, 2018).

Aparece aquí un tema central en la creciente literatura que estudia la especificidad de estas firmas, que es la relación entre las estrategias productos – servicios, el capital intelectual que emplean y su formación (por ser intensivas en conocimientos), sus capacidades tecnológicas, modalidades de cooperación, los tipos de innovaciones, su orientación hacia la internacionalización y el tamaño (J-Figueiredo *et al.*, 2017).

Una especificidad que presentan este tipo de firmas, es la articulación con chacras experimentales o unidades demostrativas, que representan un ámbito de producción y co-creación de conocimientos entre las firmas y sus clientes, donde se realizan actividades como: pruebas de productos, pruebas de formulaciones especiales, ensayos y técnicas de manejo, entre otras. Casi un 40% de las KIBS agropecuarias trabaja con esta modalidad de producción de conocimientos en unidades propias o diferentes modalidades de cooperación utilizando chacras/quintas de clientes y chacras y estaciones experimentales de universidades e instituciones de ciencia y tecnología.

Los clusters innovadores de mayor desempeño son aquellos con mayor densidad de profesionales de la ingeniería agronómica, y otras profesiones de las ciencias naturales, respecto a su capital humano, y presencia de laboratorios de servicios, y vinculación con universidades y cámaras empresariales, en relación a sus capacidades tecnológicas y cooperación para potenciar y apoyar la innovación.

Las KIBS argentinas han efectuado en los últimos años (2015-2018) procesos de innovación para responder a la presión competitiva del entorno donde se dinamizan, y estos cambios representaron esfuerzos en términos de inversión tecnológica y capital humano de alto nivel.

Estas empresas se centran no sólo en el desarrollo de nuevos y mejorados productos, sino fundamentalmente en la combinación de estos con nuevos servicios. A este fenómeno que plantea estrategias para proveedores especializados, intensivos en conocimiento, en relacionar productos con servicios, se los conoce actualmente como proceso de **servitización o servitization** (Rabetino *et al.*, 2018).

Durante este proceso, la generación de valor se encuentra no sólo en las capacidades que se ofrecen y que se provee desde dentro de las firmas hacia los clientes a través de los productos, sino también se busca que el valor emerja de la solución de los problemas situados en el cliente, siendo el foco el servicio y no el producto. Así, la generación de valor emerge de un estadio de mayor complejidad en la interacción entre el uso y los problemas del contexto, es interactivo y apunta a la co-construcción de conocimientos para desarrollar nuevos productos o efectuar mejoras en estos y en los servicios entre proveedores y usuarios, acercándose a las modalidades product-service system en sentido integral.

Este aspecto relacionado con el capital intelectual y las capacidades tecnológicas (I+D, ingeniería, consultoría, equipamiento, software, entre otras), sumado a la evidencia que muestra una propensión a vincularse tecnológicamente con instituciones de ciencia y tecnología (INTA, CONICET), como así también universidades, de Argentina y del exterior, conecta a discutir una segunda cuestión: La relacionada con el papel del sistema nacional de ciencia y tecnología y educación superior en el desarrollo de modalidades de producción e innovación acordes con los actuales patrones tecnológicos.

El desarrollo de productos y servicios en forma conjunta entre el sector privado y el público, implica el eslabonamiento del sistema nacional de ciencia y tecnología (incluyendo el universitario) a los procesos de cambio tecnológico y modelos de desarrollo de industrialización de alimentos que se impone a nivel global. Las evidencias indican que no sólo cooperan con empresas de capitales nacionales, lo que podría justificarse en términos de impulsar capacidades y empleo altamente calificado a nivel local, sino también con multinacionales en un rol de divulgadores de patrones tecnológicos de producción, propios de este modelo. En promedio el 45% de las firmas establecen relaciones con instituciones universitarias. Sin embargo, esta proporción aumenta al 83% en las empresas más nuevas y orientadas a innovaciones de servicios.

La literatura de los estudios de innovación no hace un juicio crítico sobre estas cuestiones, por el contrario, considera que este aspecto es positivo ya que permite aprovechar las ventanas de oportunidad del régimen tecnológico dominante. Sin embargo, los aportes de la sociología de la tecnología sí propician indicios críticos al respecto (Thomas, 2008). Esta sociología define los imaginarios sociotécnicos como “visiones de futuros deseables, colectivamente sostenidos, institucionalmente estabilizados y llevados a cabo públicamente, en base a entendimientos de formas de vida y orden social alcanzables a través de los avances de la ciencia y tecnología” (Jasanoff, 2015, p. 4).

Al discutir estos “imaginarios sociotécnicos” que dan lugar a las políticas científicas y tecnológicas de los distintos países, deberemos tratar los modelos de producción e industrialización de los agroalimentos en Argentina, debate que existe en otras regiones, como la Unión Europea, donde se dan miradas opuestas al respecto, entre quienes consideran invertir en ciencias de la vida para mejorar la posición competitiva de sus empresas en las grandes cadenas de valor internacionales y paliar el hambre mundial con producción a escala, con aquellos cercanos a posiciones más agroecológicas; y de cadenas de suministros cortas, que posibiliten la supervivencia de pequeños productores y mejores condiciones para la alimentación de las poblaciones locales (Levidow *et al.*, 2012).

Ambas posiciones, que a nuestro criterio son complementarias y no excluyentes, necesitan la formación de nuevos perfiles profesionales acordes a las políticas de ciencia y tecnología que configuren un patrón de desarrollo para nuestro país, en el contexto de una agroindustria que se complejiza tecnológicamente bajo los imperativos de imaginarios sociotécnicos impuestos por la economía global.

Consideraciones finales

La humanidad se enfrenta a revoluciones sin precedentes, todos nuestros relatos antiguos se desmoronan y hasta el momento no ha surgido ningún relato nuevo para sustituirlos. ¿Cómo prepararnos y preparar a nuestros hijos, estudiantes, profesionales, para un mundo de transformaciones sin precedentes y de incertidumbres radicales? Un recién nacido hoy tendrá treinta años en 2050. Si todo va bien, ese bebé todavía estará vivo hacia 2100, e incluso podría ser un ciudadano activo en el siglo XXII. ¿Qué hemos de enseñarle a esos jóvenes que les ayude a sobrevivir y a prosperar en el mundo de 2050 o del siglo XXII? ¿Qué tipo de habilidades necesitará para conseguir trabajo, comprender lo que ocurre a su alrededor y orientarse en el laberinto de la vida?

Por desgracia, nadie sabe cómo será el mundo en 2050, menos en 2100, por lo que no tenemos respuesta a estas preguntas. Aun así, muchos pedagogos expertos indican que en las escuelas deberían dedicarse a enseñar básicamente «las cuatro C»: pensamiento crítico, comunicación, colaboración y creatividad. De manera más amplia, tendrían que restar importancia al cúmulo de información disponible, y fácil de encontrar en la web, y hacer hincapié en las habilidades de uso general para la vida. Lo más importante de todo será la capacidad de háberse las con el cambio, de aprender nuevas cosas y de mantener el equilibrio mental en situaciones con las que no estemos familiarizados. Para estar a la altura del mundo de 2050, necesitaremos no solo inventar nuevas ideas y productos: sobre todo necesitaremos reinventarnos una y otra vez a nosotros mismos.

Referencias

- Agarwal, R., Chowdhury, M. M. H. y Paul, S. K. (2018). The future of manufacturing global value chains, smart specialization and Flexibility! *Global Journal of Flexible Systems Management*,19(1), 1-2.
- Antonelli, C. (2017). Endogenous innovation: the creative response. *Economics of Innovation and New Technology*,26(8), 689-718.
- Barletta, F., Robert, V. y Yoguel, G. (2013). Algunos comentarios sobre el artículo “Dinamismo tecnológico e inclusión social mediante una estrategia basada en los recursos naturales”, de Carlota Perez. *Revista Económica*,14(2).
- Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S. y Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*,37(3), 407-429.
- Cooke, P. (2012). *Re-framing regional development: Evolution, Innovation and Transition*. Oxon and New York: Routledge.
- Gomes, E., Cunha, M. P. y Vendrell-Herrero, F. (2018). Welcome to de 7th International Conference on Business Servitization. En: *Book of Abstracts*. Lisbon: OmniaScience.

- Jasanoff, S. (2015). Future imperfect: science, technology, and the imaginations of Modernity. En: S. Jasanoffy S. H. Kim (Eds.), *Dreamscapes of modernity. Sociotechnical Imaginaries and the fabrication of power* (pp. 1-33). Chicago: The University of Chicago Press.
- J-Figueiredo, R., Neto, J. V., Quelhas, O. L. G. y Ferreira, J. J. de M. (2017). Knowledge Intensive Business Services (KIBS): Bibliometric analysis and their different behaviors in the scientific literature: Topic 16 – Innovation and services. *Revista de Administração e Inovação*,14(3), 216-225.
- Levidow, L., Birch, K. y Papaioannou, T. (2012). EU agri-innovation policy: Two contending visions of the bio-economy. *Critical Policy Studies*,6(1), 40-65.
- Lodefalk, M. (2017). Servicification of firms and trade policy implications. *World Trade Review*,16(1), 59-83.
- Miles, I. D., Belousova, V. y Chichkanov, N. (2018). Knowledge intensive business services: Ambiguities and continuities. *Foresight*,20(1), 1-26.
- Rabetino, R., Harmsen, W., Kohtamäki, M. y Sihvonen, J. (2018). Structuring servitization related research. *International Journal of Operations and Production Management*,38(2), 350-371.
- Teixeira, A. y Tavares-Lehmann, A. (2014). Human capital intensity in technology-based firms located in Portugal: Does foreign ownership matter?. *Research Policy*,43, 737-748.
- Thomas, H. (2008). Estructuras cerradas vs. procesos dinámicos: trayectorias y estilos de innovación y cambio tecnológico. En: Thomas, H. y Buch, A. (Eds.), *Actos, actores y artefactos: Sociología de la Tecnología* (pp. 217-262). Bernal: Universidad Nacional de Quilmes.

Los autores

Coordinadoras

Martínez, Susana Beatriz

Doctora Ingeniera Agrónoma, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Profesora Titular Ordinaria Climatología y Fenología Agrícola, FCAyF, UNLP. Publicaciones: Co-autora Situación actual de la producción en invernaderos en el cinturón hortícola de La Plata, provincia de Buenos Aires. En: M. Lenscak y N. Iglesias (Comp.), Invernaderos. Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino (del paralelo 23 al 54) (Ediciones INTA, 2019). Co-autora Evaluación de técnicas combinadas en la producción de tomate protegido sobre suelos con nemátodos: utilización de portainjertos, biofumigación, aplicación de hormonas vegetales y biocontroladores. En: M. Garbi y M. A. Sangiacomo (Coords.), Buenas prácticas en producciones horti-florícolas en áreas periurbanas (EdUNLu, 2018).

Carbone, Alejandra Victoria

M. Sc. Protección Vegetal orientación Malezas, Facultad Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), Universidad Nacional La Plata (UNLP). Especialista Docencia Universitaria, UNLP. Licenciada Biología orientación Botánica, Facultad Ciencias Naturales y Museo, UNLP. JTP Ordinaria Fisiología Vegetal y Ayudante Diplomado Ordinaria Morfología Vegetal, FCAyF, UNLP. Docente en cursos sobre hidroponía y propagación vegetativa, FCAyF, UNLP. Publicaciones: Nutrición Mineral en Cultivo en Hidroponía (Edulp, 2015). Co-autora en libro Buenas Prácticas en Producciones Horti-Florícolas en áreas periurbanas (EdUNLu, 2018) y *Gomphrena perennis* en Malezas e Invasoras de Argentina (Ediuns, 2018). Investigación ecofisiología de cultivos intensivos, FCAyF, UNLP. Mención Especial por Mejor Trabajo presentado en Jornadas CISaV 2019 y por Trayectoria Docente en FCAyF, UNLP.

Garbi, Mariana

Doctora Orientación Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Luján (UNLu). Ingeniera Agrónoma, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Profesora Adjunta Climatología y Fenología Agrícola, FCAyF, UNLP. Publicaciones: Co-autora Situación actual de la producción en invernaderos en el cinturón hortícola de La

Plata, provincia de Buenos Aires. En: M. Lenscak y N. Iglesias (Comp.), Invernaderos. Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino (del paralelo 23 al 54) (Ediciones INTA, 2019). Coord. Buenas prácticas en producciones horti-florícolas en áreas periurbanas (EdUNLu, 2018). Co-autora Modificación artificial del ambiente: cultivos protegidos, En: J. Beltrano y D. Gimenez (Coords.), Cultivo en Hidroponía (Edulp, 2015).

Autores

Alconada Magliano, Margarita

Ingeniera Agrónoma, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Magister Scientiae en Ciencias del Suelo, Universidad de Buenos Aires (UBA). Doctora en Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Profesora Titular Edafología, FCAyF, UNLP. Profesora de la Maestría y Especialización en Planeamiento Paisajista y Medio Ambiente, UNLP. Participación en diversos grupos científicos, y técnicos, en aspectos vinculados al uso y manejo del suelo-agua desde una perspectiva de paisaje, en el ámbito privado y estatal, nacional e internacional (Argentina, Cuba, México, Uruguay). Publicaciones: Editora Libro Intensified Land and Water Use - A Holistic Perspective of Local to Regional Integration (acuerdo firmado con Springer Earth System Sciences book series (en curso).

Cacivio, Rossana

Doctora por la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Máster en Formación y Desarrollo de Recursos Humanos, Universidad Internacional Andalucía. Psicóloga Social, CEPS. Ingeniera Agrónoma, FCAyF, UNLP. Profesora Adjunta Ordinaria Curso Sociología Agraria, FCAyF, UNLP. Responsable de cursos para maestrías de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata y FCAyF, UNLP. Actividad profesional: seminarios y clínicas para INTA, AAPRESID, ACA, entre otras. Publicaciones: Las formas de organización del trabajo, los riesgos psicosociales y el silenciamiento de su impacto en la salud de los profesionales (Casivio, R. XIII Jornadas de Sociología, Buenos Aires, 2019). Hablemos de nuestro trabajo (Casivio, R. Laboreal, 2017).

del Pino, Mariana

Master Science-Horticultura, Universidad Nacional de Cuyo, Ingeniera Agrónoma, Universidad Nacional de Buenos Aires. JTP Ordinaria Horticultura y Floricultura, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Actividad profesional dedicada a la producción hortícola orgánica, BPA, Control biológico. Publicaciones: How support group decision making in horticulture (2019), Caracterización de los agroquímicos usados en los cultivos hortícolas en relación a las BPA (2018), The mirid bug *Tupiocoris cucurbitaceus*: powerful spontaneous natural enemy in tomato greenhouses in La Plata, Buenos Aires, Argentina (2015). Parti-

cipación en proyectos hortícolas nacionales e internacionales: sustentabilidad, BPA, riesgo y toma de decisión, producción orgánica y pobreza.

Maiale, Santiago Javier

Doctor en Biología Molecular y Biotecnología, Universidad Nacional de Gral. San Martín (UNSAM), Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de La Plata (UNLP). JTP Laboratorio de Suelos, Forrajes y Granos (UNSAM). Publicaciones: Apoplastic polyamine oxidation plays different roles in local responses of tobacco to infection by the necrotrophic fungus *Sclerotinia sclerotiorum* and the biotrophic bacterium *Pseudomonas viridiflava* (Plant Physiology, 2008). Reactive oxygen species generated in chloroplasts contribute to tobacco leaf infection by the necrotrophic fungus *Botrytis cinerea* (Plant Journal, 2017). Redox homeostasis in the growth zone of the rice leaf plays a key role in cold tolerance (Journal Experimental Botany, 2020). Proyecto: Estudio de la interacción arroz ambiente (INTECH-CONICET).

Padín, Susana Beatriz

Ingeniera Agrónoma, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAYF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Carrera postgrado Docente Universitaria, UNLP. Profesora Adjunta Ordinaria Terapéutica Vegetal, FCAYF, UNLP. Directora y Codirectora de tesis de posgrado, tesis de grado, becas y pasantías. Autor-coordinador del libro "Protección Vegetal: una mirada hacia el cuidado del ambiente y la salud humana" (EDULP, 2018). Codirectora y participante de proyecto investigación, UNLP. Evaluadora de becas posdoctorales, UNLP. Coordinadora curso Manejo Integrado de Plagas, Maestría en Protección Vegetal, FCAYF. Docente en cursos de Maestría y Especialización en Protección Vegetal, FCAYF. Directora y Codirectora de proyectos de Extensión, UNLP y de la Secretaría de Políticas Universitarias. Subdirectora del Centro de Investigaciones en Sanidad Vegetal (CISaV, UNLP).

Pardi, Martín

Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAYF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Responsable Sección Agrometeorología, Estación Experimental Julio Hirschhorn (EEJH), FCAYF, UNLP. JTP Ordinario Climatología y Fenología Agrícola, FCAYF, UNLP. Publicaciones: Autor Boletín Agrometeorológico Mensual (EEJH, FCAYF, UNLP 1998-2020). Items from Germany, contributions Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung IPK Gatersleben (Wheat Newsl., Kansas State University, 2018). Variabilidad genotípica y mapeo asociativo para rendimiento y sus componentes en 108 variedades de trigo (III Workshop Internacional de Ecofisiología de Cultivos, 2017). Precipitación en La Plata, relación con el fenómeno ENOS y el período crítico del trigo (Congreso Internacional Sobre Cambio Climático y Desarrollo Sustentable, UNLP, 2016).

Passalacqua, Silvia Alicia

Magister en Procesos de Integración Regional-Mercosur, Universidad de Buenos Aires (UBA). Ingeniera Agrónoma, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Profesora Adjunta Ordinaria de Terapéutica Vegetal, FCAyF, UNLP. A cargo Registro Nacional de Agroquímicos y Biológicos ex SENASA (1992). Coordinadora de Bioseguridad Agroambiental, Dirección Nacional de Protección Vegetal SENASA (2009-2018). Titular en la Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA) (1991-2018). Reconocida como “Centro de Referencia de la FAO para la Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (2014), continúa como experta. Coordinadora de la Comisión Nacional Asesora de Plagas Resistentes (CONAPRE) (2007-2018). Autora-coordinadora libro Protección Vegetal: Mirada hacia el Cuidado del Ambiente y la Salud Humana (EDULP, 2018).

Pellegrini, Andrea Edith

Especialista en Ingeniería Ambiental, Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Ingeniera Agrónoma, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP). JTP Ordinaria Edafología, FCAyF, UNLP. Docente en la Diplomatura Universitaria en Producción Hortícola y Florícola, FCAyF, UNLP. Publicación en extensión: coautora del Manual de Buenas Prácticas Agrícolas (2017); Capacitación para el reciclado de residuos orgánicos. Fuente de sustratos, abonos y acondicionadores de suelos degradados (2008). Co-directora del proyecto de extensión: Capacitación pública sobre reciclaje y compostaje. En investigación: coautora de Ecological Sustainability Assessment of Crop Rotations in Buenos Aires (Argentina) Volume 7 - Issue 4 (2019). Integrante del proyecto: aportes para la sustentabilidad de los sistemas agrícolas extensivos en el área de influencia de la FCAyF, UNLP.

Pincioli, María

Doctora en Tecnología de los Alimentos, Nutrición y Bromatología (Universidad de Murcia, España), Máster en Tecnología e Higiene de los Alimentos, Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Especialista en Docencia Universitaria (UNLP) e Ingeniera Agrónoma, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), UNLP. JTP en Bioquímica y Ayudante Diplomada Ordinaria en Climatología y Fenología Agrícola, FCAyF, UNLP. Publicaciones: Impact on phytoprostane and phytofuran (stress biomarkers) of the concentration of salicylic acid and growing environment on *Oryza sativa* (2018), Statement of foliar fertilization impact on yield, composition, and oxidative biomarkers in rice (2019), Broken rice as a potential functional ingredient with inhibitory activity of renin and angiotensin-converting enzyme (2019). Integrante el Programa de Mejoramiento de Arroz, UNLP. Actualmente, investiga en climatología y ecofisiología de cultivos intensivos.

Puig, Lucrecia

Ingeniera Agrónoma, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Doctoranda en FCAyF, UNLP. Ayudante Diplomada Climatología y

Fenología Agrícola, FCAyF, UNLP. Becaria Doctoral, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas con lugar de trabajo en el Instituto Tecnológico Chascomus (CONICET – INTECH). Integrante del proyecto sobre Ecofisiología de Cultivos protegidos como Investigador en formación, FCAyF, UNLP.

Sánchez de la Torre, María Eugenia

Ingeniera Agrónoma, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), Universidad Nacional de La Plata (UNLP). JTP Climatología y Fenología Agrícola, FCAyF, UNLP. Publicaciones: Detection of Citrus Psorosis-Ringspot Virus using RT-PCR and DAS-ELISA (1997), The top component of Citrus Ringspot Virus contains two ssRNAs, the smaller encodes the coat protein (1998), RNA2 of Citrus psorosis virus is of negative polarity and has a single open reading frame in its complementary strand (2002). Integrante de proyecto de investigación en ecofisiología de cultivos intensivos, FCAyF, UNLP.

Producción hortícola periurbana : Aspectos técnicos y laborales /
Margarita Alconada Magliano ... [et al.] ; coordinación general de
Susana Beatriz Martínez ; Alejandra Victoria Carbone ; Mariana Garbi.-
1a ed.- La Plata : Universidad Nacional de La Plata ; EDULP, 2021.
Libro digital, PDF/A - (Libros de Cátedra)

Archivo Digital: descarga
ISBN 978-950-34-2008-9

1. Cultivos. 2. Suelos. I. Alconada Magliano, Margarita. II. Martínez, Susana Beatriz, coord.
III. Carbone, Alejandra Victoria, coord. IV. Garbi, Mariana, coord.
CDD 635.00982

Diseño de tapa: Dirección de Comunicación Visual de la UNLP

Universidad Nacional de La Plata – Editorial de la Universidad de La Plata
48 N.º 551-599 / La Plata B1900AMX / Buenos Aires, Argentina
+54 221 644 7150
edulp.editorial@gmail.com
www.editorial.unlp.edu.ar

Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN)

Primera edición, 2021
ISBN 978-950-34-2008-9
© 2021 - Edulp

n
naturales


Edulp
EDITORIAL DE LA UNLP



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA