

La fertilización
foliar

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

edición agosto 2024

Pierre Migner,
ingeniero agrónomo (jubilado), M.Sc., MBA

Agro
100[®]
*cultivando la **innovación***



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA	5
	a. Tamaño de la molécula	5
	b. Carga eléctrica de la molécula	5
	c. Fase de crecimiento de la planta	6
	d. Estado nutricional de la planta	6
3	CONDICIONES AMBIENTALES	7
	a. Iluminación	7
	b. Temperatura	7
	c. Punto de delicuescencia (PDD)	8
4	PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS ABONOS/BIOESTIMULANTES	9
	a. Solubilidad de los nutrientes	9
	b. Tamaño de las moléculas	9
	c. La carga eléctrica de los nutrientes	9
5	CONDICIONES DE APLICACIÓN	12
	a. Aditivos	12
	b. Pulverización	13
6	CARACTERÍSTICAS DE LOS AGROLÍQUIDOS AGRO-100	14
	a. Tecnología Oligo Prime®	14
	b. Resultados de los ensayos	16
7	CONCLUSIÓN	18
8	BIBLIOGRAFÍA	19



INTRODUCCIÓN

1

La **fertilización foliar** es una herramienta importante para los agricultores y no pretende sustituir a la fertilización granular básica, sino complementarla^{1,2,3,4*}. Numerosos resultados de investigaciones demuestran que la fertilización foliar tiene un efecto significativamente positivo en el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de los cultivos^{5,6,7,8,9}.

La fertilización foliar permite a los cultivos responder de forma rápida y rentable, especialmente cuando se dan condiciones adversas. La fertilización foliar es eficaz y permite añadir cantidades más pequeñas de nutrientes en momentos específicos del crecimiento de la planta. Esta técnica se utiliza en determinados contextos bien definidos y tiene objetivos muy concretos:

- ① *corregir o prevenir* la aparición de carencias minerales cuando las condiciones del suelo limitan la disponibilidad de nutrientes (suelos alcalinos o ácidos, suelos con escaso aporte de algún elemento mineral, suelos inestables, etc.)¹⁰;
- ② *corregir o prevenir* la aparición de carencias minerales cuando condiciones climáticas inusuales (suelos mal drenados e inundados, heladas, granizo, frío, sequía) impidan una nutrición mineral adecuada durante periodos cortos o largos¹¹;
- ③ *amplificar* determinadas características fisiológicas (tamaño de la flor y del fruto, calidad del polen de la flor, peso del fruto, color de la piel del fruto, firmeza del fruto, calidad del grano, porcentaje de proteínas, etc.)¹²;
- ④ *esncadenar* un estado fenológico que tarda en producirse (floración, envero, maduración, etc.) o, por el contrario, *retrasar* una entrada demasiado precoz en el proceso de maduración (evitar que el follaje de la patata “caiga” demasiado rápido, terminar el bulbo de la cebolla, etc.)¹³;

* Estas cifras corresponden a la lista de obras numeradas que aparecen en la bibliografía.

- ② apoyar el crecimiento de la planta mediante pulverizaciones regulares con uno o varios abonos elegidos específicamente en función del estado fenológico en curso (nitrógeno para la producción de follaje y el contenido en proteínas; boro y fósforo para la floración; calcio y potasio para la fructificación, etc.) y de las necesidades minerales específicas de las especies cultivadas (boro y molibdeno para las crucíferas; manganeso para las leguminosas; magnesio para las solanáceas y las cucurbitáceas; boro y calcio para las rosáceas, etc.).

Para maximizar la rentabilidad de estas aplicaciones, es **esencial conocer los factores que rigen la eficacia de la fertilización foliar**^{14,15}. Varios factores pueden influir en la eficacia de una aplicación foliar. Pueden agruparse en tres categorías principales.

● Las características de la planta sobre la que se realiza la aplicación foliar

La forma de la hoja, la composición de la cutícula foliar, la presencia de pelos, la fase de crecimiento de la planta, la movilidad del nutriente en la planta y la presencia de estrés abiótico pueden influir en la absorción de nutrientes y bioestimulantes¹⁰.

● Condiciones ambientales en el momento de la aplicación

La humedad relativa, el suministro de agua, la luz y la temperatura son factores que influyen en la absorción foliar de moléculas¹⁶.

● Propiedades fisicoquímicas de los abonos/bioestimulantes

La solubilidad, el tamaño de la molécula, la carga eléctrica, el pH, la tensión superficial, la retención y el punto de delicuescencia son factores que influyen en la capacidad de la molécula para ser absorbida por la hoja¹⁷.

Estos factores interactúan entre sí e influirán en la absorción y movilidad de los nutrientes en las plantas y, en última instancia, en la respuesta del cultivo a las aplicaciones de fertilizantes foliares y bioestimulantes.





CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

2

La epidermis de la hoja está protegida y recubierta por una cutícula que protege a las plantas contra el estrés abiótico y biótico, y es **esencial para minimizar la pérdida de agua por evapotranspiración**. La cutícula está formada por lípidos, una matriz de cutina y cera, y carbohidratos. La composición exacta de la cutina varía de una especie a otra y está influida por la edad de la planta y las condiciones climáticas. **La cutina es hidrófoba (repele el agua) y tiene carga negativa**. Sin embargo, la epidermis de las hojas está cubierta de estomas, tricomas y poros hidrófilos (que atraen el agua)¹⁰ y permiten la entrada de nutrientes en el follaje.

Los nutrientes y bioestimulantes se absorben a través de la epidermis de la hoja por difusión; los nutrientes en el follaje (zonas de alta concentración) pasan a través de la epidermis de la hoja al interior de la hoja (zonas de baja concentración).

a. Tamaño de la molécula

Los nutrientes y los bioestimulantes pueden penetrar en la hoja a través de los poros hidrófilos y los estomas. El número de poros en la superficie de la hoja se estima en más de 10.000.000.000/cm². El número de estomas se estima en aproximadamente 35.000/cm² de superficie foliar. Estas aberturas permiten que **pequeñas moléculas** (de menos de 1 nanómetro o 1/10.000.000 cm) penetren en la hoja¹⁸. Los tricomas son excrescencias de las células epidérmicas de las hojas de las plantas. Protegen a las plantas contra el estrés abiótico y biótico y, al ser menos hidrófobos que la cutícula, absorben más fácilmente el agua y los nutrientes en solución¹⁹.

b. Carga eléctrica de la molécula

Como la cutícula está cargada negativamente, la carga eléctrica del nutriente puede influir en la rapidez con la que estos nutrientes y bioestimulantes pueden penetrar en la hoja. **Las moléculas cargadas positivamente quedan retenidas en la superficie de la hoja y se acumulan**, limitando la absorción de nutrientes y pudiendo provocar quemaduras en la hoja. Las moléculas que no están cargadas eléctricamente (carga neutra) pueden absorberse más fácilmente que las moléculas cargadas

positivamente²⁰. Esta es la razón por la que se utilizan quelatos en las formulaciones para neutralizar las moléculas (consulte la sección 4).

c. Fase de crecimiento de la planta

La edad de las hojas tiene un efecto significativo sobre la composición y la cantidad de cera producida. Dado que una hoja vieja ha alcanzado su nivel óptimo de madurez y, por tanto, ha desarrollado plenamente sus capas epidérmicas, es normal concluir que una hoja vieja tiene una menor capacidad de absorción de elementos minerales que una hoja más joven²¹.

Sin embargo, un trabajo realizado por Mengel en 2002 demostró que las hojas más viejas pueden tener una mejor absorción de elementos minerales que las hojas más jóvenes. Según este experimento, las hojas más viejas tienen una mayor superficie foliar, lo que optimiza la superficie para la absorción de minerales. Además, las hojas más maduras pueden estar parcialmente dañadas y, por tanto, contener intersticios a través de los cuales pueden difundirse elementos solubles³.

Sin embargo, para hojas de la misma edad fisiológica, dependiendo de la época de la estación, existe una respuesta diferente en cuanto a la absorción de fertilizantes foliares. En general, se acepta que la tasa de penetración cuticular de los nutrientes es más rápida en las hojas jóvenes²², mientras que la translocación de estos elementos es más eficiente en las hojas más viejas²³. Es importante señalar que los nutrientes móviles solo pueden translocarse a los tejidos más jóvenes cuando las hojas más viejas han terminado de desarrollarse.



d. Estado nutricional de la planta

La proporción de nutrientes que atraviesa la epidermis de la hoja también depende del estado nutricional de la planta. En 1995, Marschner demostró que una planta deficiente en un nutriente absorbía más de ese elemento que una planta de control no deficiente²⁴, como se muestra en el ejemplo del cuadro 1.

Cuadro 1.

Absorción foliar y translocación de fósforo ^{32}P por plantas de cebada ($\mu\text{m } ^{32}\text{P}/\text{g}$ de materia seca)

	Planta no deficitaria en ^{32}P	Planta carencée en ^{32}P
Absorción foliar	5,29 $\mu\text{m } ^{32}\text{P} \pm 0,54$	9,92 $\mu\text{m } ^{32}\text{P} \pm 2,17$
Translocación dentro de la planta	2,00 $\mu\text{m } ^{32}\text{P} \pm 0,25$	5,96 $\mu\text{m } ^{32}\text{P} \pm 1,08$
Translocación a las raíces	0,63 $\mu\text{m } ^{32}\text{P} \pm 0,04$	4,38 $\mu\text{m } ^{32}\text{P} \pm 0,42$



CONDICIONES AMBIENTALES

3

C

ualquier factor climático que afecte a la permeabilidad o al grosor de la cutícula, o al tamaño y número de hojas influirá en la absorción de nutrientes por el follaje.

a. Iluminación

La luz aumenta el grosor de la cutina y la actividad estomática.

Se ha demostrado que el grosor de la cutina y la presencia de cera en la superficie de la epidermis foliar son mayores en condiciones de alta intensidad luminosa en eucaliptos²⁵, coles²⁶ y coles de Bruselas²⁷.

Lo mismo ocurre con la influencia de la luz en el grado de apertura estomática²⁸. Los estomas desempeñan un papel importante en la penetración foliar de nutrientes; la tasa de penetración de elementos minerales en los estomas es mayor en presencia que en ausencia de luz²⁹.

La preiluminación de las hojas de una planta ornamental llamada “hierba de San Juan” (*Sedum telephium*), aumentó el índice de penetración en un factor de 1,5 a 36 en comparación con el de las hojas mantenidas en la oscuridad²⁹.

b. Temperatura

Las temperaturas más elevadas favorecen un mayor crecimiento de la superficie foliar y del grosor de la cera. Un experimento realizado por Alexander en 1987 demostró que las temperaturas cálidas aumentan la expansión de la superficie foliar de los ciruelos y la producción de cera en la superficie foliar. Sin embargo, la expansión de la superficie foliar debida a las altas temperaturas es más rápida que la producción de cera por unidad de superficie. **Por lo tanto, concluimos que la expansión foliar resultante de las altas temperaturas tiene un efecto positivo sobre la absorción foliar**³⁴.

Otro factor que influye es el efecto de la temperatura sobre la absorción foliar y la translocación de elementos minerales. Por ejemplo, la absorción foliar y la translocación del potasio en la planta dependen en gran medida de la temperatura. La translocación se produce muy lentamente a 4 °C, y aumenta rápidamente hasta los 20 °C. Sin embargo, la velocidad de translocación disminuye entre 20 y 30 °C²³.

c. Punto de delicuescencia (PDD)

El punto de delicuescencia (PDD por sus siglas en francés) se define como el contenido de humedad a partir del cual un sólido se disuelve absorbiendo humedad del aire. Cuando la humedad por encima de la cutícula supera el PDD del nutriente, puede producirse la absorción, mientras que la humedad por debajo del PDD dará lugar a la formación de residuos de sales sólidas y al cese de la absorción cuticular³¹. Por lo tanto, **los nutrientes utilizados para la fertilización foliar deben tener un valor de PDD lo más bajo posible** (consulte el cuadro 2).

Cuadro 2.

Valores del punto de delicuescencia de diversas materias primas (20 °C)^{32,33}

Sales	Punto de delicuescencia
Hidróxido de potasio (KOH)	18 %
Acetato de potasio	22 %
Cloruro de magnesio	34 %
Carbonato de potasio	43 %
Nitrato de calcio	53 %
Nitrato de magnesio	60 %
Acetato de magnesio	72 %
Nitrato de sodio	80 %
Sulfato amónico	82 %
Cloruro de potasio	89 %
Acetato de calcio	92 %
Nitrato de potasio	96 %
Sulfato de potasio	99 %



Los niveles de humedad también influyen en la absorción foliar de nutrientes al aumentar la permeabilidad de la cutícula y, por tanto, la absorción foliar de nutrientes²². Un rocío intenso equivale a una lluvia ligera y provoca lixiviación. Sin embargo, el rocío bajo es una ventaja, ya que aumenta la permeabilidad de la cutícula.

Los abonos foliares **deben aplicarse por la mañana, al atardecer o en días nublados**, cuando haya poco o nada de viento y las temperaturas no sean demasiado altas. El agua aplicada debe secarse lo más lentamente posible para que los nutrientes tengan tiempo de atravesar la cutícula. **Durante el día, en días soleados o ventosos, las condiciones son secas y el porcentaje de humedad por encima de la cutícula desciende rápidamente**; los nutrientes pueden entonces precipitarse sobre el follaje y dejar de estar disponibles para su absorción. En condiciones de desecación, los estomas suelen cerrarse para permitir que la hoja se proteja de la deshidratación³⁰. La absorción de nutrientes a través de los estomas es entonces imposible. Por lo tanto, los abonos foliares deben pulverizarse en condiciones en las que la humedad del aire sea superior al 60%, la temperatura máxima sea de 25 °C y la velocidad del viento no supere los 10 km/h^{34,18}.



PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS ABONOS/BIOESTIMULANTES

4

a. Solubilidad de los nutrientes

Las plantas absorben los nutrientes o bioestimulantes a través de sus raíces u hojas, si son **solubles en agua**³⁵. Cuando se aplican al suelo, los fertilizantes semisolubles o insolubles acaban transformándose por acciones biológicas o químicas y quedan a disposición de las raíces de las plantas en la solución del suelo. Cuando se aplican al follaje, los abonos semisolubles o insolubles **no son absorbidos rápidamente** por las hojas y se acumulan en su superficie, lo que puede provocar quemaduras.

b. Tamaño de la molécula

Varios estudios han demostrado que **la tasa de absorción de nutrientes disminuye de manera significativa a medida que aumenta su peso molecular**. Se prefieren las sales inorgánicas, ya que suelen tener un peso molecular inferior al de los nutrientes en forma orgánica^{15,36}. Los poros a través de los cuales se absorben los nutrientes suelen tener un diámetro inferior a 1 nanómetro (nm) (o 1/10.000.000 de centímetro). Los nutrientes suelen ser moléculas de bajo peso molecular con un diámetro de entre 0,34 nm y 0,44 nm.

Los aminoácidos tienen un diámetro de entre 0,34 nm y 1,12 nm. Las moléculas más grandes, como el EDTA (1,23 nm), no pueden absorberse a través de los poros del follaje²⁰.

Sin embargo, existen algunas excepciones. Aunque la urea es una sal orgánica, en la mayoría de los estudios se ha comprobado que su tasa de absorción es superior a la de otras fuentes de nitrógeno³⁷. Sin embargo, debe recordarse que la urea es una molécula muy pequeña (0,26 nm).

c. Carga eléctrica de los nutrientes

Los nutrientes suelen tener una carga positiva. Como ya se ha mencionado, la cutícula y las paredes celulares tienen carga negativa. **Por lo tanto, los nutrientes se inmovilizan en la cutícula o en las paredes celulares de las hojas**, una vez que han sido absorbidos por los fluidos extracelulares.

La eficacia de la fertilización foliar depende, entre otras cosas, de la movilidad de los elementos dentro de la planta. El fósforo, el potasio y el nitrógeno son ejemplos de minerales con gran movilidad. Esta movilidad permite que los nutrientes se distribuyan rápidamente por toda la planta. En cambio, el boro, el calcio, el azufre, el zinc, el manganeso y el hierro son elementos con escasa movilidad en el floema.

Varios estudios han demostrado que la forma quelante de estos nutrientes no solo favorece la absorción foliar, sino que también aumenta su movilidad en la planta^{38,39,40,3,41,42}.

La quelación, también conocida como secuestro o acomplejamiento, es un proceso fisicoquímico durante el cual se forma un complejo, el quelato, entre un ligando, conocido como “quelante” (o agente quelante), y un catión metálico, que pasa a formar un complejo, conocido como catión “quelado”. Los quelatos (ligandos) son moléculas inorgánicas u orgánicas de dimensiones variables. El número de enlaces entre el quelato y el catión, la formación de anillos de quelato y el tamaño del quelato determinan la fuerza del enlace entre el catión y el agente quelante. **El catión quelado se convierte entonces en «neutro», sin carga positiva**⁴³.

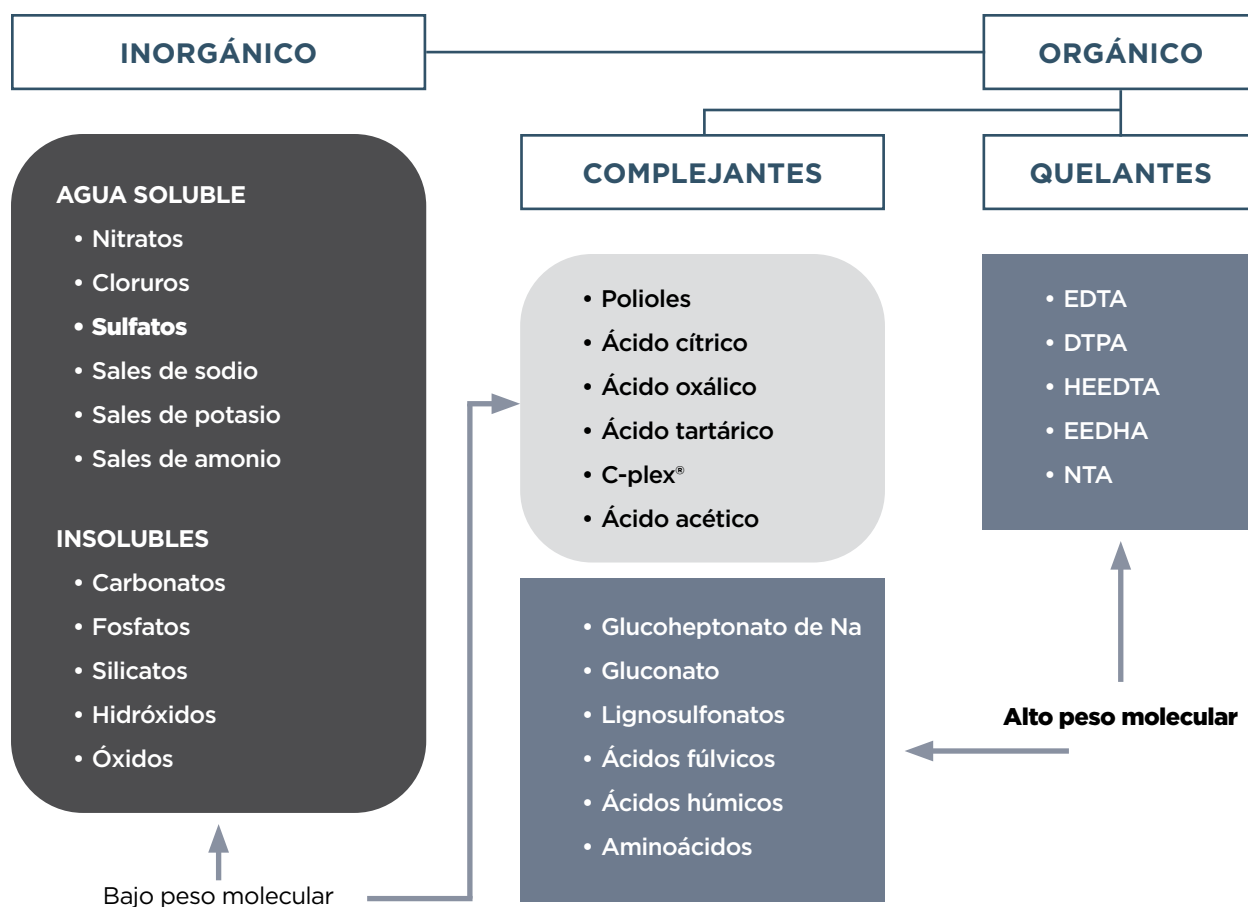
Existen varios tipos de agentes quelantes y complejantes, cada uno con sus propias características y cuya actuación está ligada a la naturaleza del quelato, a la naturaleza del elemento mineral complejado y a la naturaleza del tejido vegetal que

debe penetrar (en este caso, la epidermis de la hoja) (consulte la figura 1). A diferencia de los coadyuvantes, cuando están presentes en los abonos foliares, los quelatos son añadidos por el fabricante⁴³.

La eficacia de un agente quelante/complejante viene determinada por su capacidad para mantener los metales quelados en solución. Esta capacidad es variable y depende del pH de la solución y del metal a quelar.

La estabilidad y la fuerza de unión de los agentes quelantes se describen mediante el índice de disociación, expresado por el valor $\log K$. Cuanto mayor es el valor $\log K$, más potente es el agente quelante/complejante^{43,44,45}. No obstante, debe tenerse en cuenta que la potencia del agente quelante debe corresponderse con su uso. Por ejemplo, una aplicación de metales al suelo requiere una potencia mayor que una aplicación foliar. La potencia del agente quelante debe ser moderada en el caso de la aplicación foliar para permitir la liberación del ion metálico una vez que haya penetrado en el follaje (consulte el cuadro 3).

Figura 1. Forma de las sales, agentes quelantes y agentes complejantes



Cuadro 3. Valores del índice de disociación para diversos agentes quelantes^{44,43,45}

Valores Log K de determinados agentes quelantes/complejantes							
Agente quelante	Fe/Fe ³⁺	Fe ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Mn ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
EDTA	25,0	14,3	14,9	18,7	13,8	8,8	11,0
EDDHA	33,9	14,3	16,8	23,9	—	8,0	7,2
HEEDTA	19,6	12,2	14,5	17,4	10,7	7,0	8,0
DTPA	28,6	—	18,1	21,0	15,1	9,0	16,5
NTA	15,9	—	10,4	12,6	7,4	—	6,4
Ácido cítrico	3,2	—	4,5	6,1	3,4	2,8	18,0
Ácido fúlvico	4,8	—	4,9	4,1	5,9	4,2	7,2
Citrato	11,2	4,8	4,9	5,9	3,7	—	4,7
C-plex®	3,0	—	3,9	4,8	3,0	2,5	6,0
Gluconato	37,2	1,0	1,7	36,6	—	0,7	1,2
Polifosfatos	4,1	—	7,5	3,5	5,5	3,2	—
Aminoácidos	Varía de 2,2 a 8,0 según el aminoácido y el catión						
Lignosulfonato	14,0	—	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0

Como resultado, algunos quelatos destacan más que otros. Por ejemplo, en un estudio se comprobó el efecto de la translocación del hierro de la hoja a la raíz tras la pulverización foliar de hierro quelante con cinco agentes quelantes diferentes y diez agentes complejantes distintos. Este estudio concluyó que la translocación de la raíz solo se producía cuando el hierro se pulverizaba con lignosulfonato⁴². Sin embargo, en el caso del zinc, un estudio demostró que el uso de agentes quelantes como el EDTA y el lignosulfonato no aumentaba la absorción foliar de Zn en las plantas^{46,3,47}.

Por último, se han asociado propiedades inesperadas a la pulverización foliar de lignosulfonato. Se cree que el lignosulfonato desencadena la actividad hormonal (producción de auxina y giberelina) en el maíz. Esto se explica por la acción de los compuestos fenólicos contenidos en el agente quelante⁴⁸.



Un catión de zinc (Zn²⁺) se une a un compuesto quelante mediante enlaces fuertes

Fuente de la imagen: <https://adob.com.pl/en/about-chelates/>



CONDICIONES DE APLICACIÓN

5

a. Aditivos

Por “aditivo” se entiende cualquier sustancia añadida a la mezcla de pulverización para modificar y mejorar la eficacia de los productos fitosanitarios. Los aditivos se utilizan para mejorar la calidad de la mezcla de pulverización, su estabilidad, la calidad de la pulverización y el destino del producto fitosanitario una vez que ha alcanzado el objetivo.

En las plantas, los aditivos actúan como:

- ① **Adyuvantes/anti-rebote.** El uso de ciertos aditivos reduce el rebote de las gotas de pulverización en la superficie de la hoja, lo que resulta en una mejor cobertura por la mezcla de pulverización y, en consecuencia, una mejor penetración en la hoja⁴⁹. Estos productos “atrapan” las gotas en el punto de impacto para evitar el rebote. Los adhesivos fijan el ingrediente activo a las hojas para evitar la lixiviación y la volatilización;
- ② **Tensioactivo/humectante.** Los tensioactivos (agentes tensioactivos) constituyen la categoría más amplia de aditivos. El uso de tensioactivos, en particular de agentes tensioactivos, puede mejorar

la humectación de las hojas **al reducir la tensión superficial del agua**. Esta reducción de la tensión superficial entre la solución y la superficie de la hoja permite así cubrir una mayor superficie de contacto e intercambio³⁰ y aumentar la penetración por las vías estomática y cuticular⁵⁰. La función de un agente humectante es aumentar la superficie de intercambio gracias a su parte lipofílica y combinar así moléculas hidrófobas e hidrófilas. La relación hidrófilo/lipofílico puede utilizarse para determinar la eficacia de un tensioactivo. Los valores elevados de la relación hidrófilo/lipofílico suelen indicar que un tensioactivo puede mejorar la absorción de nutrientes por las hojas²¹;

- ③ **Humectante/protector.** Estos productos mantienen una humedad prolongada en la superficie de la hoja (capaz de recuperar las moléculas de agua del aire). Las sales absorben la humedad del aire y combaten así la desecación;
- ④ **Penetrantes.** Estos productos mejoran la penetración de los ingredientes activos a través de la cutícula. Por ejemplo, los aceites favorecen la penetración de los principios activos al “romper” la barrera de las capas de cera cuticular de la planta.



No existe un aditivo universal, por lo que es esencial conocer cada una de sus funciones para utilizarlos con sensatez.

Los aditivos, a excepción de la urea, suelen utilizarse en combinación con productos agroquímicos. Se reconoce que la presencia de urea en la solución fertilizante facilita la penetración de otros nutrientes en las hojas. La cutícula es de 10 a 20 veces más permeable a la urea que a los iones inorgánicos³⁷. Además, la adición de urea a la solución fertilizante aumenta la eficacia de las aplicaciones foliares que contienen P, Mn, S, Mg y Fe en diferentes especies vegetales^{51,52,53}. Sin embargo, la urea debe estar libre de biuret, un producto obtenido por condensación de dos moléculas de urea y eliminación de una molécula de amoníaco, que tiene efectos fitotóxicos y puede incorporarse al abono durante su síntesis.

b. Pulverización

La eficacia de la pulverización está vinculada a la mejor distribución posible de las moléculas nutritivas en la hoja. Por lo tanto, la eficacia depende del número de puntos de impacto y del diámetro medio de las gotas producidas.

Las boquillas son uno de los elementos clave de la pulverización. Su función es dividir el caldo de pulverización a presión en multitud de gotitas. La niebla de gotas tendrá unas características determinadas (diámetro medio, velocidad y dirección de las

gotas) de las que dependerán la eficacia del tratamiento, la amplitud de la deriva, la volatilización y la escorrentía (pérdidas). Dependiendo del tipo de boquilla, el tamaño y el ángulo de la pulverización y la presión de trabajo variarán.

Las boquillas antideriva (boquillas de granulado, boquillas de abanico plano con deriva limitada o boquillas de inducción de aire) producen gotas de pulverización grandes (diámetro superior a 400 μ). Estas gotas grandes (>400 μ) son menos sensibles a la deriva y a la volatilización. Sin embargo, presentan una serie de desventajas: se dispersan y reducen el número de impactos/cm², su comportamiento en el impacto con el objetivo (rebote o salpicadura) y su retención en el objetivo (escorrentía).

La penetración del principio activo dependerá de la dilución, del tamaño de las gotas y del tiempo de secado resultante (secado demasiado rápido de gotas pequeñas). La duración y la velocidad de las gotas aumentan con su tamaño.

La pulverización de abono foliar requiere una cobertura ideal de 80 gotas/cm² con un diámetro de entre 200 y 300 μ . La calidad de la pulverización puede comprobarse fácilmente utilizando un papel amarillo sensible que se vuelve azul cuando entra en contacto con el agua.



CARACTERÍSTICAS DE LOS AGROLÍQUIDOS AGRO-100

6

Las tecnologías utilizadas por Agro-100 están diseñadas para maximizar la absorción y movilidad de los nutrientes y bioestimulantes respetando al máximo los principios descritos en este documento.

Las materias primas seleccionadas cumplen las condiciones agronómicas, de solubilidad, tamaño molecular, punto de delicuescencia y quelación descritas anteriormente. Agro-100 agrolíquidos:

- ① **son soluciones, no suspensiones**, para garantizar la máxima penetración en el follaje;
- ② se fabrican con **pequeños agentes quelantes** para garantizar la neutralidad de las moléculas;
- ③ contienen **tecnologías bioestimulantes** que aumentan la resistencia al estrés abiótico y la absorción y movilidad de los nutrientes.

a. Tecnología Oligo Prime®

Los cultivos tienen la capacidad de defenderse de los daños causados por las especies reactivas del oxígeno (ERO) creadas durante situaciones de estrés abiótico, **como las carencias de nutrientes**, o por las ERO generadas por los herbicidas. Los mecanismos de defensa contra las ERO incluyen componentes enzimáticos y no enzimáticos que sirven para equilibrar la producción y la detoxificación de ERO.

La **tecnología Oligo Prime®** está diseñada para aumentar la eficacia de los mecanismos de defensa naturales presentes en todas las plantas. Se basa en cuatro componentes:

- ① **señales metabólicas**;
- ② **tecnología C-plex®**;
- ③ **ácido fúlvico**;
- ④ **quitosano**.

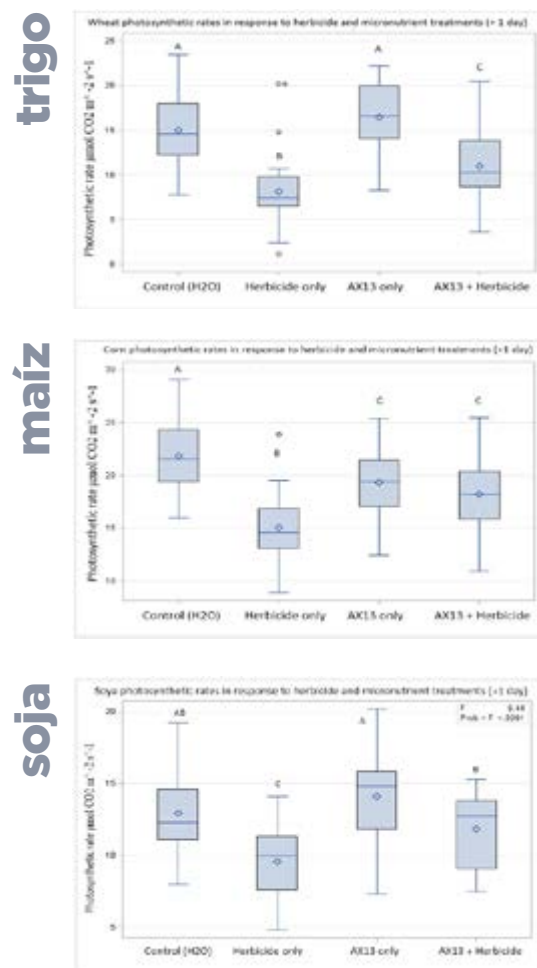
La sinergia entre estas cuatro tecnologías significa que los productos que contienen la tecnología Oligo Prime® rinden más y ofrecen una rentabilidad económica muy superior a 3:1.

1 El papel de las señales metabólicas

Ahora está claro que la señalización inducida por fitohormonas se produce a través de la regulación del genoma o el aumento de la producción de metabolitos secundarios.

Los metabolitos secundarios se sintetizan en diferentes compartimentos celulares y sus principales funciones incluyen la protección contra el estrés biótico y abiótico.

Figura 2. Efecto de los metabolitos secundarios en la tasa de fotosíntesis



La adición de metabolitos secundarios a la tecnología Oligo Prime® reduce el impacto negativo en la fotosíntesis del estrés asociado a las deficiencias de nutrientes y a los herbicidas. La tasa de fotosíntesis se reduce en un 50 % cuando el herbicida (trigo: bromoxinil/MCPA; maíz: glifosato; soja: glifosato) se utiliza solo, mientras que la tasa de fotosíntesis se reduce en un 44 % para el trigo, un 30 % para el maíz y un 20 % para la soja cuando se mide un día después de la aplicación. La adición de metabolitos secundarios a los herbicidas reduce la disminución de la tasa de fotosíntesis al 22 % en el trigo, al 16 % en el maíz y al 10 % en la soja⁵⁴.

Los metabolitos secundarios incluidos en la tecnología Oligo Prime® también tienen un impacto en el genoma de la planta y activan la producción de 71 proteínas y enzimas defensivas que desempeñan un papel en la reducción del impacto de las ERO.

2 El papel de C-plex®

C-plex® es una molécula derivada del ácido fúlvico de menor tamaño y mayor capacidad de intercambio catiónico que éste. Este menor tamaño se consigue mediante un proceso de transformación patentado que produce moléculas de unos cientos de daltones. Este pequeño tamaño significa que puede ser absorbido rápida y fácilmente por la planta, y tiene una capacidad complejante muy alta.

3 El papel del ácido fúlvico

Las sustancias húmicas se dividen en distintas categorías: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas. Los ácidos húmicos son moléculas más grandes con pesos moleculares de hasta cien mil daltones, mientras que los ácidos fúlvicos suelen tener solo unos pocos miles de daltones. Como ya se ha mencionado, se considera que el ácido fúlvico es la fracción orgánica del suelo que es soluble tanto en álcali como en ácido. Los ácidos fúlvicos tienen una mayor acidez total y una mayor capacidad de adsorción e intercambio catiónico que el ácido húmico. Los ácidos fúlvicos son responsables de la quelación y movilización de iones metálicos, incluidos el Fe y el Al. Debido a su pequeño tamaño molecular, los ácidos fúlvicos pueden atravesar los microporos de los sistemas de membranas biológicas o artificiales, a diferencia de los ácidos húmicos.

4 El papel del quitosano

El quitosano es un biopolímero natural modificado a partir de la quitina que actúa como bioestimulante y elicitador en la agricultura. No es tóxico, es biodegradable y biocompatible, lo que lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones. Mejora la respuesta fisiológica y reduce los efectos nocivos del estrés abiótico. El tratamiento con quitosano estimula la tasa de fotosíntesis y el cierre estomático, aumenta la concentración de enzimas antioxidantes e induce la producción de ácidos orgánicos, azúcares, aminoácidos y otros metabolitos que son necesarios para el control estomático, la producción de señales metabólicas de estrés y la gestión de la energía bajo estrés⁵⁵.

El quitosano activa varios genes, proteínas y metabolitos secundarios en las plantas. Provoca la producción de señales y aumenta la concentración de moléculas secundarias como el peróxido de hidrógeno y el óxido nítrico. El tratamiento preventivo con quitosano antes de la exposición a estreses abióticos aumenta el crecimiento de las plantas, la producción de enzimas antioxidantes y metabolitos secundarios que promueven la producción de enzimas defensivas y ácido abscísico (ABA). Sin embargo, las respuestas de las plantas dependen del tipo de quitosano, de las concentraciones y de las fases de desarrollo del cultivo⁵⁶.

La adición de quitosano a la tecnología Oligo Prime® aumenta la capacidad de las células para producir las enzimas defensivas necesarias para inactivar las ROS causadas por los herbicidas.

b. Resultados de los ensayos

i. Hipótesis de la investigación

Se realizaron ensayos para confirmar la eficacia de C-plex® y el ácido fúlvico para facilitar la absorción y movilidad de nutrientes en la soja. Las hipótesis específicas comprobadas en este ensayo fueron:

- ① el uso de C-plex® y ácido fúlvico mezclados con fertilizantes foliares mejora la absorción y la translocación de los nutrientes Ca, Mn y B;
- ② la presencia de estrés salino no tiene ningún efecto sobre la absorción y la movilidad de los nutrientes (Ca, Mn y B);
- ③ existe una interacción entre la tecnología y el estrés aplicado.

ii. Metodología

El ensayo se llevó a cabo en un invernadero de St-Isidore-de-Laprairie durante marzo y abril de 2021. Se sembraron 72 macetas con soja. Se utilizó el cultivar Altitude (Secan).

Tratamientos:

- ① **Estrés: con y sin solución salina.**
Se utilizó una solución de agua salada (1% V/V) para regar la mitad de las macetas. Las otras macetas se regaron con agua desmineralizada.
- ② **Tecnologías: con y sin C-plex® (agente quelante) y FulviPro (ácido fúlvico).**
Estas tecnologías se añadieron a los abonos foliares utilizados en el ensayo. Veinticuatro macetas recibieron las tecnologías mezcladas con fertilizantes foliares que contenían boro (concentrado al 10%), manganeso (concentrado al 7%) y calcio (concentrado al 12%). Otras 24 macetas recibieron abonos foliares que no contenían ninguna tecnología. Las últimas 24 macetas solo recibieron agua. Los fertilizantes foliares se aplicaron en forma de purín (1% V/V) hasta su drenaje.

Cuando se aplicó en la fase V3, las hojas inferiores se protegieron con una película de plástico (*SaranWrap*), de modo que solo las hojas superiores recibieron los tratamientos. Las películas se retiraron inmediatamente después de la aplicación. Las hojas inferiores se cosecharon 24 horas después y se enviaron al laboratorio para analizar los tejidos.

iii. Resultados

Los resultados muestran que las tecnologías C-plex® y FulviPro mejoran la absorción y la movilidad de los nutrientes hacia las hojas. El estrés salino causó una diferencia en la concentración de nutrientes solo en el caso del calcio. No se observaron interacciones en los ensayos.



Calcio (%)				
	Sin tecnología	Con tecnología	Control	Media
Agua sin sal	2,28	2,49	2,31	2,36 ^a
Agua con sal	2,15	2,34	1,90	2,13 ^b
Media	2,21 ^a	2,42 ^b	2,11 ^a	

Los diferentes superíndices en cada columna expresan una diferencia significativa entre tratamientos a $p = 0,05$

Manganeso (ppm)				
	Sin tecnología	Con tecnología	Control	Media
Agua sin sal	462,33	1040,10	331,47	611,30 ^a
Agua con sal	526,90	873,77	328,47	576,38 ^a
Media	494,62 ^a	956,93 ^b	329,97 ^a	

Los diferentes superíndices en cada columna expresan una diferencia significativa entre tratamientos a $p = 0,001$

Boro (ppm)				
	Sin tecnología	Con tecnología	Control	Media
Agua sin sal	445,20	571,20	60,93	359,11 ^a
Agua con sal	429,83	618,03	61,45	369,77 ^a
Media	437,52 ^b	594,62 ^a	61,19 ^c	

Los diferentes superíndices en cada columna expresan una diferencia significativa entre tratamientos a $p = 0,001$



CONCLUSIÓN

7

En conclusión, conviene recordar que la fertilización foliar es una herramienta agronómica importante que no pretende sustituir a la fertilización granular básica. La fertilización foliar complementa la fertilización granular y es parte integrante de un programa completo de fertilización diseñado para promover un crecimiento vigoroso y equilibrado de los cultivos.

La importancia de la fertilización foliar radica en el efecto significativamente positivo que tiene sobre el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de los cultivos. Su función es dar un impulso dinámico a las plantas haciendo posible la adición, de forma selectiva, de pequeñas cantidades de nutrientes en momentos precisos para apoyar al cultivo en etapas clave del crecimiento vegetativo, especialmente cuando se dan condiciones adversas.

Esta flexibilidad, por no decir precisión, permite corregir o prevenir la aparición de carencias minerales y amplificar determinadas características fisiológicas para apoyar a la planta y darle más posibilidades de alcanzar y maximizar todo su potencial genético de producción.

Como acabamos de demostrar, es esencial conocer los factores que rigen la eficacia de la fertilización foliar para rentabilizar al máximo la inversión en estos productos para su producción.

Los cultivos vegetales están sometidos a una presión constante de estrés abiótico (sequía, bajas temperaturas, salinidad, etc.). Más que nunca, la agricultura necesita ser resistente y capaz de adaptarse a las condiciones agronómicas y medioambientales actuales. La tecnología Oligo Prime® trabaja con la planta para hacerla lo suficientemente ágil como para soportar la presión del estrés abiótico. Diseñada para aumentar la eficacia de los mecanismos de defensa naturales presentes en todas las plantas, la tecnología Oligo Prime® activa las plantas para que rindan más y ofrezcan rendimientos óptimos.

Los estudios demuestran que, al favorecer el desarrollo vegetativo, la fertilización foliar ofrece una respuesta agronómica excepcional a las condiciones de cultivo actuales. Además de ser un vehículo privilegiado y eficaz para suministrar nutrientes clave en los momentos clave del desarrollo de la planta, los productos agrolíquidos de Agro-100 contienen tecnologías bioestimulantes que aumentan la resistencia al estrés abiótico al tiempo que favorecen la absorción y la movilidad de los nutrientes esenciales para el pleno crecimiento de la planta.

La fertilización foliar con agrolíquidos Agro-100 ofrece la flexibilidad de intervención y recuperación nutricional y de cultivos para corregir o prevenir la aparición de carencias minerales, además de estimular la actividad vital y productiva de plantas y cultivos. Fuerza de protección, defensa y producción, la fertilización foliar es realmente una herramienta importante en cualquier programa de fertilización integral...



BIBLIOGRAFÍA

8

- 1 HAQ, M., MALLARINO, A. Response of Soybean Grain Oil and Protein Concentrations to Foliar and Soil Fertilization. *Agronomy Journal - AGRON J* 97, (2005).
- 2 LING, F., SILBERBUSH, M. Response of Maize to Foliar Vs. Soil Application of Nitrogen-Phosphorus-Potassium Fertilizers. *Journal of Plant Nutrition* 25, 2333-2342 (2002).
- 3 MENGEL, K. Alternative or complementary role of foliar supply in mineral nutrition. *Acta Horticulturae* 594, 33-47 (2002).
- 4 TOSCANO, P., GODINO, G., BELFIORE, T., BRICCOLI BATI, C. Foliar fertilization: A valid alternative for olive cultivar. *Acta Horticulturae* 594, 191-195 (2002).
- 5 BLY, A. G., WOODARD, H. J. Foliar Nitrogen Application Timing Influence on Grain Yield and Protein Concentration of Hard Red Winter and Spring Wheat. *Agronomy Journal* 95, 335-338 (2003).
- 6 CHIȚU, V., COMAN, M., BULGARU, L., CHIȚU, E. Effects of 'Calmax' and 'Nutri Vit' foliar fertilisers on plant growth and strawberry fruit quality. *Acta Hortic.* 475-480 (2002) doi:10.17660/ActaHortic.2002.594.61.
- 7 RANDALL, G. W., SCHULTE, E. E., COREY, R. B. Effect of Soil and Foliar-applied Manganese on the Micronutrient Content and Yield of Soybeans. *Agronomy Journal* 67, 502-507 (1975).
- 8 SILVA, A., ROSA, E., HANEKLAUS, S. Influence of Foliar Boron Application on Fruit Set and Yield of Hazelnut. *Journal of Plant Nutrition - J Plant Nutr* 26, 561-569 (2011).
- 9 DELFINE, S., TOGNETTI, R., DESIDERIO, E., ALVINO, A. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agron. Sustain. Dev.* 25:2, 183-191 (2005). <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2005017> 25.
- 10 FERNANDEZ, V., BROWN, P. H. From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients. *Front. Plant Sci.* 4, (2013).
- 11 ANWAR-UL-HAQ, M. *et al.* Nutrient Management Under Changing Climate. *Climate Change Impacts on Agriculture: Concepts, Issues and Policies for Developing Countries* (eds. Jatoi, W. N. *et al.*) 281-297, Springer International Publishing, Cham. (2023). doi:10.1007/978-3-031-26692-8_16.
- 12 MORADI, L., SIOSEMARDEH, A. Combination of seed priming and nutrient foliar application improved physiological attributes, grain yield, and biofortification of rainfed wheat. *Front. Plant Sci.* 14, (2023).
- 13 ISHFAQ, M. *et al.* Foliar nutrition: Potential and challenges under multifaceted agriculture. *Environmental and Experimental Botany* 200, 104909 (2022).
- 14 BUKOVAC, M. J., WITTEWER, S. H. Absorption and Mobility of Foliar Applied Nutrients. 123. *Plant Physiol* 32, 428-435 (1957).
- 15 FURUYA, S., UMEMIYA, Y. The influence of chemical. Forms on foliar-applied nitrogen absorption for peach trees. *Acta Horticulturae* 594, 97-103 (2002).
- 16 FAGERIA, N. K., FILHO, M. P. B., MOREIRA, A., GUIMARÃES, C. M. Foliar Fertilization of Crop Plants. *Journal of Plant Nutrition* 32, 1044-1064 (2009).
- 17 FERNÁNDEZ, V., EICHERT, T. Uptake of Hydrophilic Solutes Through Plant Leaves: Current State of Knowledge and Perspectives of Foliar Fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences* 28, 36-68 (2009).
- 18 DUCATTI, R. D. B., TIRONI, S. P. Enhancing the efficiency and sustainability of foliar fertilization in agriculture. *Agronomy Science and Biotechnology* 10, 1-21 (2024).
- 19 BAR, M., SHTEIN, I. Plant trichomes and the biomechanics of defense in various systems, with *Solanaceae* as a model. *Botany* 97, 651-660 (2019).
- 20 SCHÖNHERR, J. Characterization of aqueous pores in plant cuticles and permeation of ionic solutes. *Journal of Experimental Botany* 57, 2471-2491 (2006).

- 21 HULL, H. M., MORTON, H. L., WHARRIE, J. R. Environmental influences on cuticle development and resultant foliar penetration. *Bot. Rev* 41, 421-452 (1975).
- 22 KIRKWOOD, R. C. Recent developments in our understanding of the plant cuticle as a barrier to the foliar uptake of pesticides. *Pesticide Science* 55, 69-77 (1999).
- 23 Foliar Uptake of Chemicals Studied with Whole Plants and Isolated Cuticles. *Plant Growth and Leaf-Applied Chemicals* (ed. Chamei, A.) (CRC Press, 1988).
- 24 MARSCHNER, H. Uptake and release of miceral elements by leaves and other aerial plant. *Mineral Nutrition of higher plants* 116-130 (Academic Press, 1995).
- 25 HALLAM, N. D. Growth and regeneration of waxes on the leaves of Eucalyptus. *Planta* 93, 257-268 (1970).
- 26 MACEY, M. J. K. The effect of light on wax synthesis in leaves of *Brassica oleracea*. *Phytochemistry* 9, 757-761 (1970).
- 27 REED, D. W., TUKEY, H. B. Light Intensity and Temperature Effects on Epicuticular Wax Morphology and Internal Cuticle Ultrastructure of Carnation and Brussels Sprouts Leaf Cuticles. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 107, 417-420 (1982).
- 28 SCHLEGEL, T. K., SCHÖNHERR, J. J. Selective permeability of cuticles over stomata and trichomes to calcium chloride. in *Acta Horticulturae* 91-96 (International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, 2002). doi:10.17660/ActaHortic.2002.594.7.
- 29 EICHERT, T., BURKHARDT, J., GOLDBACH, H. E. Some factors controlling stomatal uptake. *Acta Hortic.* 85-90 (2002) doi:10.17660/ActaHortic.2002.594.6.
- 30 LEECE, D. R. Foliar Absorption in *Prunus domestica* L. I. Nature and Development of the Surface Wax Barrier. *Functional Plant Biol.* 5, 749-766 (1978).
- 31 HADRAMI, D. A. E. Understanding Deliquescence. *OMEX* <https://omexcanada.com/blog/understanding-deliquescence/> (2011).
- 32 GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. *J. RES. NATL. BUR. STAN. SECT. A.* 81A, 89 (1977).
- 33 GUO, L. *et al.* A comprehensive study of hygroscopic properties of calcium- and magnesium-containing salts: implication for hygroscopicity of mineral dust and sea salt aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics* 19, 2115-2133 (2019).
- 34 ALEXANDER, A. Modern trends in foliar fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 10, 1391-1399 (1987).
- 35 REYES GAIGE, A., ROWE, B., JURIN, V. Assessment of Efficiency of Nutrient Uptake of Different Sources of Zn, Mn, Cu and B in Zea mays. *Agriculture* 10, 247 (2020).
- 36 KANNAN, S., CHARNEL, A. Foliar absorption and transport of inorganic nutrients. *Critical Reviews in Plant Sciences* 4, 341-375 (1986).
- 37 YAMADA, Y., WITTWER, S. H., BUKOVAC, M. J. Penetration of Organic Compounds Through Isolated Cuticular Membranes with Special Reference to C¹⁴ Urea. *Plant Physiology* 40, 170-175 (1965).
- 38 FERNÁNDEZ, V., EBERT, G. Foliar Iron Fertilization - A Critical Review. *Journal of Plant Nutrition* 28, 2113-2124 (2005).
- 39 FERRANDON, M., CHAMEL, A. R. Cuticular retention, foliar absorption and translocation of Fe, Mn and Zn supplied in organic and inorganic form. *Journal of Plant Nutrition* 11, 247-263 (1988).
- 40 SWIETLIK, D., FAUST, M. Foliar Nutrition of Fruit Crops. *Horticultural Reviews* 287-355. John Wiley & Sons Ltd., (1984). doi:10.1002/9781118060797.ch8.
- 41 RASHID, A., RYAN, J. Micronutrient Constraints to Crop Production in Soils with Mediterranean-type Characteristics: A Review. *Journal of Plant Nutrition* 27, 959-975 (2004).
- 42 RODRÍGUEZ-LUCENA, P., HERNÁNDEZ-APAOLAZA, L., LUCENA, J. J. Comparison of iron chelates and complexes supplied as foliar sprays and in nutrient solution to correct iron chlorosis of soybean. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 173, 120-126 (2010).
- 43 CLEMENS, D. F., WHITEHURST, B. M., WHITEHURST, G. B. Chelates in agriculture. *Fertilizer Research* 25, 127-131 (1990).
- 44 PAUL, S. *et al.* Evaluation of pKa Values of Soil Humic Acids and their Complexation Properties. *International Journal of Plant & Soil Science* 6, 218-228 (2015).
- 45 WALLACE, A. Use of synthetic chelating agents in plant nutrition and some of their effects on carboxylating enzymes in plants. *Annals of the New York Academy of Sciences* 88, 361-377 (2006).
- 46 BOARETTO, A. *et al.* Foliar micronutrient application effects on citrus fruit yield, soil and leaf Zn concentrations and ⁶⁵Zn mobilization within the plant. *Acta Horticulturae* 594, 203-209 (2002).
- 47 CHRISTENSEN, P. Additives don't improve zinc uptake in grapevines. *California Agriculture* (1986).
- 48 ERTANI, A., FRANCIOSO, O., TUGNOLI, V., RIGHI, V., NARDI, S. Effect of Commercial Lignosulfonate-Humate on Zea mays L. Metabolism. *J. Agric. Food Chem.* 59, 11940-11948 (2011).
- 49 BASU, S., LUTHRA, J., NIGAM, K. D. P. The effects of surfactants on adhesion, spreading, and retention of herbicide droplet on the surface of the leaves and seeds. *Journal of environmental science and health. Part. B, Pesticides, food contaminants, and agricultural wastes* 37, 331-44 (2002).
- 50 SCHÖNHERR, J., BUKOVAC, M. J. Penetration of stomata by liquids: dependence on surface tension, wettability, and stomatal morphology. *Plant Physiol* 49, 813-819 (1972).
- 51 BAR-AKIVA, A., HEWITT, E. J. The Effects of Triiodobenzoic Acid and Urea on the Response of Chlorotic Lemon (*Citrus Limonia*) Trees to Foliar Application of Iron Compounds. *Plant Physiol* 34, 641-642 (1959).
- 52 LABANAUSKAS, C. Interactions of nutrients in Valencia orange leaves as affected by the composition of manganese, zinc, and urea sprays. *Hilgardia* 39, 507-513 (1969).
- 53 OKUDA, A., YAMADA, Y. Foliar absorption of nutrients IV: The effect of some organic compounds on the absorption of foliar applied phosphoric acid. *Soil Science and Plant Nutrition* 8, 7-9 (1962).
- 54 HALEY, O. The Role of a Foliar Nutrient Product in Relieving Herbicide-Induced Defects in Crop Growth and Development in Zea mays, *Triticum aestivum*, and Glycine max. McGill University, Montreal, Qc. (2017).
- 55 HIDANGMAYUM, A., DWIVEDI, P., KATIYAR, D., HEMANTARANJAN, A. Application of chitosan on plant responses with special reference to abiotic stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 25 (2019).
- 56 MUKARRAM, M. *et al.* Chitosan-induced biotic stress tolerance and crosstalk with phytohormones, antioxidants, and other signalling molecules. *Frontiers in Plant Science* 14, (2023).