

Series:  
Comunicaciones Técnicas  
ISSN 1667-4006

**COMUNICACIÓN TÉCNICA N°94**  
**AGENCIAS DE EXTENSIÓN RURAL**  
*AER El Bolsón*

Nutrición y fertilización de lúpulo : Revisión conceptual  
y actualización sobre recomendaciones prácticas

**Testa, Hernan Rodolfo; Cardozo, Andrea Gabriela**

**2022**

■ **Ediciones**

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria  
Centro Regional Patagonia Norte  
Estación Experimental Agropecuaria Bariloche. "Dr. Grenville Morris"  
eeabariloche.cd@inta.gob.ar



# Nutrición y fertilización de lúpulo

## Revisión conceptual y actualización sobre recomendaciones prácticas

*Testa, Hernán R<sup>1</sup> y Cardozo, Andrea G. <sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Patagonia Lúpulos Andinos

<sup>2</sup> AER INTA El Bolsón

### CONTENIDO

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Nitrógeno.....</b>	<b>6</b>
<b>Fósforo.....</b>	<b>11</b>
<b>Potasio.....</b>	<b>15</b>
<b>Calcio y Magnesio.....</b>	<b>19</b>
<b>Azufre .....</b>	<b>23</b>
<b>Boro .....</b>	<b>25</b>
<b>Zinc .....</b>	<b>26</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>27</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>27</b>

### INTRODUCCIÓN

Al igual que ocurre con muchas especies que se crían o se cultivan en la Patagonia (desde ovejas hasta guindos), el lúpulo en general es bastante rústico y puede crecer en ambientes subóptimos. La longevidad de la planta dependerá de la calidad del suelo, pudiendo variar desde unos pocos años hasta más de medio siglo. Al ser una especie muy particular por su forma de cultivo, con una dispersión geográfica acotada en relación a los pocos países del mundo que producen lúpulo a escala comercial, mucha gente de distintas localidades en Argentina se pregunta si podrá tener éxito al cultivar algunas plantas. Las experiencias demuestran que es altamente probable que la planta crezca y se desarrolle hasta alcanzar la floración en la mayoría de las regiones del país. Sin embargo, para llevar a cabo una producción comercial de lúpulo, con indicadores de rendimiento aceptables en volumen y en calidad, éste debe ser cultivado en forma intensiva en ambientes propicios, y tiene elevadas exigencias en materia de fertilidad del suelo.

Su sistema radicular es capaz de alcanzar gran tamaño, por lo cual la fertilidad física del suelo es un aspecto clave. El rendimiento depende en buena parte del desarrollo de las raíces perennes como así también de las anuales, que son adventicias y superficiales. Se requiere un suelo profundo, con

buena estructura y bien drenado ya que el lúpulo es bastante intolerante al anegamiento. Además, el exceso de agua acumulada durante largos períodos alrededor de la base de las plantas provocará enfermedades que son difíciles de controlar. Cuando la humedad sea excesiva por falta de permeabilidad será necesario la realización de drenajes, y más aún en suelos salinos.

Asegurar una buena provisión de humedad en todo momento va a depender de la textura, ya que el tamaño de partícula define la capacidad de retención hídrica. En general el lúpulo prefiere suelos bien aireados y de textura franco arenosa o areno franco, con contenido de arena mayor al 70% y cierta proporción de arcilla, pero por debajo del 20%. Si bien se puede producir lúpulo en sitios muy diversos, los suelos arcillosos no serían óptimos por su falta de porosidad y los consiguientes excesos de humedad. En términos prácticos, la textura determinará entonces la frecuencia de los riegos. En el caso de algunos ambientes arenosos del Alto Valle del Río Negro o suelos del valle de Yakima en Estados Unidos (EUA) la permeabilidad es muy elevada y la capacidad de retención de agua y nutrientes es baja. En dichos ambientes el control de la oferta hídrica (idealmente por goteo), es clave y se requiere un nivel de precisión mayor en comparación con suelos de textura más fina.

Para la obtención de una alta productividad anual son deseables los suelos ricos en materia orgánica. Cuando se combina esa situación con buena profundidad y textura óptima, tal como suele ocurrir en numerosas chacras de El Bolsón y Lago Puelo, es más factible alcanzar altos rendimientos y calidad de flor. En suelos más esqueléticos, como los mencionados al final del párrafo anterior, los coloides<sup>1</sup> son escasos y por ende la capacidad de retención de nutrientes también. El valor de materia orgánica porcentual depende del tipo de suelo, puede tener una alta variabilidad entre diferentes ambientes, y no debería ser indicado como un simple número al cual hay que apuntar. Por ejemplo, en el Camino de los Nogales<sup>2</sup>, cuya posición en el paisaje corresponde al fondo de valle, un valor de 6% es bajo y normalmente refiere a un suelo cuya historia agrícola ha tenido mal desempeño por degradación y exceso de mineralización. Sin embargo, menos de 4 kilómetros hacia el Norte ya en la zona de Mallín Ahogado<sup>3</sup>, del otro lado del Río Quemquemtreu (que en ese tramo corre en sentido Noroeste-Sudoeste), en un ambiente de meseta baja en el pedemonte de la cordillera Norpatagónica, ese valor de 6% sería muy apreciado ya que no es frecuente superarlo en áreas de desmonte de cipresal. Por lo tanto, como regla general para comprender la historia de uso de un establecimiento agrícola se recomienda analizar el contenido de materia orgánica del suelo en cada parcela, y compararla con porcentajes de referencia para dicho ambiente; o bien tomar muestras de suelo en algún borde de alambrado antiguo en busca del valor aproximado al contenido original. Muchas veces

---

<sup>1</sup> Coloide proviene del griego y significa gluten o gelatina, lo cual nos da una buena orientación respecto a su beneficio para la agricultura. En términos físicos se refiere a partículas de diámetro entre 1 y 2 micrones, que pueden ser dispersadas en un solvente formando una fase continua (ya sea sólida, líquida o gaseosa). El sistema coloidal del suelo comprende arcillas, óxidos y sustancias húmicas. Gracias al pequeño tamaño de partícula y en consecuencia la elevada superficie específica, además de influir en la retención de agua y gases, los coloides intervienen en ciertas propiedades físicas y químicas que hacen a la fertilidad. Entre las primeras se destaca la estabilidad de los agregados (lo cual define la estructura del suelo) por sus propiedades de contracción y expansión. En relación a las propiedades químicas, se destaca su capacidad de intercambio iónico y molecular.

<sup>2</sup> Área geográfica donde se ubican las principales chacras agrícolas de la localidad de El Bolsón.

<sup>3</sup> Paraje rural de la localidad de El Bolsón.

importa más la tendencia en el tiempo como indicador de buenas prácticas, que el valor absoluto medido por única vez.

Existen diversas prácticas agronómicas para incrementar la materia orgánica del suelo, además del agregado de estiércoles. Los cultivos de cobertura o “abonos verdes” resultan muy efectivos para proteger la erosión superficial y adicionar gran volumen de biomasa sin costos de transporte elevados. Consiste en la realización de un cultivo en el entresurco (la “calle” entre líneas de plantas de lúpulo), cuyo ancho puede variar entre 2,2 y 3,5 metros dependiendo del marco de plantación utilizado. Dicho cultivo debe ser de rápido establecimiento y crecimiento, lo cual se logra con numerosas especies de gramíneas, leguminosas y crucíferas. En la Comarca Andina del Paralelo 42º, donde las temperaturas medias entre mayo y agosto suelen ser limitantes para el crecimiento, se emplean cereales como avena, centeno, cebada o triticale, a veces en consociación con vicia. El objetivo es favorecer una buena cobertura del entresurco durante el mayor período posible del año, manteniendo el cultivo corto (no más de 35 centímetros de alto), y sin generar competencia en el lúpulo. Esto último se logra fácilmente con aporques formando un camellón en la línea de plantas de lúpulo, o bien sembrando solamente en la parte central del entresurco, aunque queden bandas de 50-75 centímetros sin cultivo de cobertura en las proximidades de las líneas de lúpulo. Al término de la cosecha se puede incorporar al suelo total o parcialmente con rastra de discos, pudiendo coincidir dicha labor con la “apertura”<sup>4</sup> del camellón. A veces es preferible la incorporación total del abono verde recién en primavera, como para minimizar el lavado de nutrientes con las lluvias del invierno.

El pH de un suelo destinado al cultivo de lúpulo debería ser entre neutro y ligeramente ácido, idealmente con valores cercanos a 6,5. Todos los procesos físicos, químicos y biológicos son influenciados por las condiciones de acidez, neutralidad o alcalinidad del suelo. En general, en un rango de valores de pH entre 6 y 6,5 se obtendría una elevada disponibilidad de los principales nutrientes, y adecuada actividad de los microorganismos nitrificadores que proveen nitrógeno en formas disponibles para las plantas. Debido a que el lúpulo se expresa con una abundante masa vegetativa y un crecimiento vigoroso, las exigencias del cultivo son muy altas en términos de nitrógeno, sobre todo en la primera parte de la estación de crecimiento (septiembre-octubre-noviembre), cuando las temperaturas bajas del suelo en la Patagonia podrían restringir la nitrificación. Es importante que el pH no contribuya a limitar aún más este proceso, y que no promueva las pérdidas por volatilización en forma de amoníaco, cuya tendencia tiene lugar en condiciones de alcalinidad. En términos prácticos, normalmente será necesario complementar la oferta de nitrógeno del suelo con aplicaciones adicionales de abonos o fertilizantes.

El pH del suelo se puede ajustar a través del manejo. En el caso de un ambiente neutro o levemente alcalino, sería recomendable realizar modificaciones en función de conseguir los niveles óptimos de pH señalados para el cultivo de lúpulo. En la Comarca Andina del Paralelo 42º difícilmente ocurre esta situación, pero en el Este de Chubut podría existir el caso. El principal inconveniente suele

---

<sup>4</sup> Abrir el surco refiere a una acción de “desaporca” la línea de plantas de lúpulo al generar un corte en ambos laterales, y por ende verter tierra en el entresurco, dejando el camellón más fino en preparación para la poda.

ser el alto contenido en carbonato de calcio, que va a impedir que la planta pueda absorber buena parte de los nutrientes del suelo. El cultivo podría presentar carencias en ciertos elementos que, aun estando presentes en el suelo, se encuentran retenidos por el calcio, formando un compuesto insoluble que la planta no puede asimilar. El objetivo entonces es lograr que el suelo absorba cationes de hidrógeno, lo cual se consigue agregando un ácido, que actúa como “donante” ya que al reaccionar con el suelo le aporta protones. Cuando se dispone de un sistema de riego por goteo, una opción de alto impacto a corto plazo puede ser la inyección de ácidos junto con la solución acuosa en la línea. No obstante, se debe realizar de forma continuada para obtener resultados aceptables. Lo más común es utilizar ácido sulfúrico o ácido fosfórico, que en general se emplean para limpiar el sistema de riego y prevenir obturaciones en los goteros. También se puede utilizar ácido nítrico, aunque es muy peligroso y con altos requerimientos de seguridad durante su manipulación. La cantidad de ácido necesaria puede ser fácilmente determinada a campo con un medidor de pH sobre el bulbo de mojado, o bien en el laboratorio con una prueba de titulación del agua de riego. El uso de fertilizantes nitrogenados como la urea o el nitrato de amonio, al igual que el sulfato de hierro, también son de reacción ácida. La realidad es que no se emplean específicamente para bajar el pH, sino como parte del plan de fertilización, pero es importante conocer su reacción. Por otra parte, se están evaluando biofertilizantes líquidos a base de microorganismos nativos con valores de pH de 3,5 que podrían cumplir esta misma función.

En ese mismo sentido, y en relación a prácticas agroecológicas, para ajustar el pH a través del manejo, una opción de mediano o largo plazo para acidificar el suelo es la realización de abonos verdes con alta proporción de leguminosas. La relación carbono:nitrógeno en este caso será estrecha (cercana a 10-12) y la descomposición tendrá lugar de manera acelerada, provocando una rápida liberación de dióxido de carbono y la consiguiente producción de ácido carbónico. Además, se pueden adicionar restos orgánicos como turba, estiércol, acículas de pino, ácidos húmicos y fúlvicos, que también son acidificantes.

Para corregir el pH del suelo existen enmiendas sólidas de base, las cuales deberían ser aplicadas idealmente antes de plantar. Por ejemplo, se utiliza cal agrícola para elevar el pH en el caso de ambientes ácidos (pH inferior a 5,7). Otra opción para elevarlo es el uso de dolomita, mineral compuesto por carbonato de calcio y magnesio. Aunque no es la situación más frecuente en la Comarca Andina del Paralelo 42º, algunas parcelas de lúpulo del Camino de los Nogales presentan pH por debajo de 6 y sería recomendable corregir dicho valor mediante la aplicación de alguna de esas enmiendas. Los resultados de la reacción de los materiales encalantes permiten neutralizar la acidez al ponerse en contacto la cal con el agua del suelo. Los iones hidrógeno ( $H^+$ ) y aluminio ( $Al^{+3}$ ) liberados a la solución de suelo por el intercambio con calcio ( $Ca^{+2}$ ) reaccionan con los iones bicarbonato ( $HCO_3^-$ ) provenientes de la hidrólisis de la cal, formando agua y precipitando el aluminio, con liberación de anhídrido carbónico ( $CO_2$ ) que se disipa como gas. Por el contrario, para disminuir el pH en el caso de suelos alcalinos se utiliza yeso agrícola. Se trata de un mineral compuesto por sulfato de calcio di-hidratado ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) que demuestra ser capaz de recuperar superficies sódicas degradadas y mejorar varias propiedades físicas del suelo. Su moderada solubilidad (bastante mayor que en el caso de la cal agrícola), hace que el calcio pueda moverse con mayor facilidad a través del perfil del suelo, generando un efecto positivo al promover la floculación y el desarrollo de

una mejor estructura, es decir la formación de unidades más grandes conocidas como agregados. Su efecto es el opuesto a la dispersión causada por iones altamente hidratados como es el caso del sodio. En consecuencia, los beneficios obtenidos con la aplicación de yeso en suelos con estructura inestable, son una mayor infiltración y percolación del agua, mejorando su eficiencia del uso. Otra consecuencia positiva sobre una de las propiedades físicas más importantes del suelo y especialmente para el cultivo de lúpulo, es la velocidad de difusión de oxígeno, lo cual impacta directamente en la respiración de la raíz, actividad fisiológica básica para la absorción de nutrientes.

La provisión de nutrientes para el cultivo estará influenciada por los niveles de materia orgánica y el pH del suelo, de manera que ambos indicadores son útiles para determinar las necesidades de fertilización. Estimar el rendimiento de cosecha también puede ayudar a calcular la remoción de nutrientes por parte del cultivo. Otro factor importante en términos del cálculo de “exportación” de minerales del sistema productivo, es la posibilidad de retornar las guías picadas (tallos y hojas) al terreno. El requerimiento de nutrientes para lograr un balance a escala de parcela será muy diferente en caso que todo el material retirado del campo no sea regresado al suelo. Desde mediados del siglo XX existen tablas con mediciones objetivas de la extracción de elementos nutritivos por parte de cada uno de los componentes de la planta de lúpulo, según el estado fenológico (Leskovar, 1978). Al ponderar el peso de materia seca producida en una hectárea y afectarlo por los valores porcentuales de dichas tablas, se podrían tener estimaciones de demanda bastante precisas para cada elemento. Asimismo, al combinar esta información con muestreos anuales de suelo a modo de cuantificación de oferta nutricional para el cultivo, sería esperable mejorar la toma de decisiones específicas de fertilización para cada nutriente.

Desafortunadamente, en Argentina no existen publicaciones técnicas con datos experimentales y registros sistematizados que vinculen las prácticas de fertilización y el rendimiento de lúpulo en los sistemas productivos locales. Dado que el manejo nutricional es solo una de las prácticas importantes que el productor debe considerar, para poder generar protocolos de fertilización en base a resultados de laboratorio de muestras de suelo, se requieren ensayos específicos, asegurando un buen manejo en el resto de las variables principales (poda, riego, control de malezas, plagas y enfermedades).

Los registros de producción a largo plazo pueden ser comparados con los cambios de manejo de fertilización, y al combinar dichos valores con análisis rutinarios de suelo y tejido foliar, es factible obtener ciertas conclusiones útiles a lo largo del tiempo. Las recomendaciones ofrecidas a continuación se basan en experiencias propias de 15 años de trabajo a campo en el Noroeste de la Patagonia, y en publicaciones de otras áreas productoras de lúpulo en el mundo. El objetivo al tratar cada nutriente por separado es poder facilitar las decisiones de manejo, intentando que el productor de lúpulo logre entender el funcionamiento de cada elemento en el suelo y en el cultivo. El tema involucra conceptos de diversas disciplinas (climatología, topografía, edafología, química inorgánica, bioquímica, fisiología vegetal, etc.); y modelarlo puede ser una simplificación excesiva. La idea es presentar un compendio actualizado y una guía de prácticas agronómicas sobre este tema crucial para la obtención de buenos resultados a campo.

## NITRÓGENO

El nitrógeno (N) es el principal nutriente que limita el crecimiento de tallos y hojas a lo largo de todo el ciclo vegetativo del cultivo de lúpulo, y por consiguiente es esencial para una óptima producción de conos. Su adecuada provisión está asociada a un vigoroso crecimiento y buena coloración en las hojas. En situaciones de deficiencia las plantas se vuelven raquílicas y las hojas pálidas, lo cual impacta negativamente sobre el rendimiento. El comportamiento del N en el suelo es complejo ya que la mayor parte se halla formando compuestos orgánicos, y estará disponible para las plantas a través de procesos de mineralización, que dependen de varios factores.

Para comenzar con los cálculos de fertilización, es necesario conocer el requerimiento de N del lúpulo en cada etapa, que puede estimarse a partir del crecimiento vegetativo de la planta, cuyo período más importante suele durar 45 días en condiciones normales. Las observaciones a campo en la Comarca Andina del Paralelo 42° demuestran que la mayor acumulación de biomasa ocurre entre principios de noviembre y finales de diciembre, dependiendo del año y del sitio. En las plantaciones de Lago Puelo, con altitudes entre los 240 y 270 msnm, las altas tasas de crecimiento suelen comenzar en las primeras semanas de noviembre, mientras que en plantaciones del paraje Mallín Ahogado (con altitudes entre los 440 y 480 msnm) la curva de crecimiento suele retrasarse unas 2 semanas. Por ende, es necesario anticiparse a los requerimientos del cultivo y ofrecer N en forma suficiente ya que como se mencionó anteriormente, las bajas temperaturas podrían restringir la disponibilidad de ese nutriente por falta de mineralización de la materia orgánica disponible.

Al ser el N un elemento de buena movilidad en el suelo, sobre todo el ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), no es recomendable aplicarlo muy temprano, debido a que las lluvias prolongadas de finales de invierno podrían causar pérdidas excesivas por lixiviación. En aplicaciones mal distribuidas en el tiempo se pueden producir mermas importantes por volatilización, sobre todo cuando la fuente de N corresponde a fertilizantes amoniacales, como la urea.

En relación a los procedimientos utilizados en laboratorio para medir el contenido de N en el suelo hay dos que son los más comunes, pero no brindan la misma información. La determinación de N total por el método de Kjeldahl no proporciona demasiada información acerca de la disponibilidad inmediata para las plantas, debido a que son las formas inorgánicas las que son tomadas por las raíces. En cambio, la determinación de N inorgánico y en particular del ion  $\text{NO}_3^-$  brinda mayor información porque es la forma principal en que el cultivo asimila este nutriente. En este caso hay que considerar la variabilidad que presenta este valor según la época del año, y las precauciones necesarias para el acondicionamiento de las muestras, que deben ser conservadas en un lugar fresco o heladera (evitando la congelación), hasta su determinación en el laboratorio.

La bibliografía procedente de EUA (principal productor mundial de lúpulo), citada en los siguientes párrafos de este documento, refiere a valores de entre 40 y 50 ppm de N bajo la forma de nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ) como niveles adecuados en el suelo; fijando un mínimo de 25 ppm como límite inferior por debajo del cual el contenido sería deficiente, y el cultivo estaría sufriendo limitaciones de crecimiento significativas. Los mismos indicadores en algunas tablas de referencia de dicho país también son expresados en valor absoluto (libras/acre), para lo cual se propone un factor de conversión al

multiplicar por 4. No es una conversión utilizada en Argentina, sino una simplificación rápida y de uso frecuente en los EUA. Para desglosar el cálculo y comprenderlo se requiere introducir los conceptos de: “densidad aparente”, que es el peso de una muestra seca en estufa dividido por el volumen que ocupa la muestra a campo con su ordenamiento natural; y el “peso de la capa arable”, que es la masa teórica de la parte sólida del suelo en el volumen determinado por una unidad de superficie y una profundidad dada. En este caso, los norteamericanos asumen un valor de densidad aparente de 1,47 gramos/cm<sup>3</sup> lo cual estaría dentro del rango de valores para un horizonte arenoso como son los suelos del valle de Yakima, principal zona de cultivo de lúpulo en el Noroeste de los EUA (en el estado de Washington). En la delimitación del volumen de la capa arable, asumen una profundidad de 1 pie (30,48 cm) y una superficie de 1 acre (4.046 m<sup>2</sup>). Al unificar unidades y multiplicar, el resultado arroja un peso de la capa arable de 4 millones de libras/acre (4480 toneladas/hectárea). Por regla de tres simple se obtiene que 50 ppm son 200 libras/acre, entonces de ahí surge el factor de conversión (ppm x 4 = libras/acre), y así se pueden estimar los niveles adecuados de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el suelo expresados en valor absoluto.

Algunos especialistas en lúpulo de Yakima recomiendan abarcar el tema con mayor profundidad, literalmente. Debido al importante sistema radicular del cultivo y la movilidad del N inorgánico en el perfil del suelo, sugieren que nutriente debe ser cuantificado más allá del horizonte superficial. La propuesta sería tomar las muestras de suelo en el primer pie de profundidad (0-30 cm) y luego en el segundo pie (30-60 cm). Según este cálculo más abarcativo, la suma de ambas mediciones debería ser contrastada en este caso con un valor de 300 libras/acre (336 kg/ha) de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> para satisfacer los requerimientos del cultivo. Aplicando un modelo de balance bien simplificado, sería cuestión de suplementar los kilogramos faltantes con abono adicional, y así se cumpliría el objetivo nutricional de N. Al multiplicar por 1,12 (factor de conversión) los valores en libras/acre quedan expresados en kilos/hectárea, a los fines de poder trabajar con las unidades del sistema métrico<sup>5</sup>. El modelo es válido como aporte a la toma de decisiones de fertilización, pero es mejor si se enriquece con otros cálculos adicionales.

Las recomendaciones anteriores pueden ser aplicadas a nuestros sistemas productivos, teniendo en cuenta las diferencias entre ambientes y las prácticas de muestreo utilizadas localmente. Los suelos de la Comarca Andina del Paralelo 42° están clasificados taxonómicamente como “*Andisoles*” lo cual señala su origen volcánico, siendo muy porosos y con valores de densidad aparente bastante más bajos que los de Yakima. Asumiendo una densidad aparente de 0,9 gramos/cm<sup>3</sup> para un suelo de fondo de valle de El Bolsón, y una profundidad de 30 cm, el peso de la capa arable de 1 hectárea sería 2.700 toneladas. Considerando la referencia norteamericana de 50 ppm como concentración adecuada de N en el horizonte superficial del suelo, a partir del cálculo anterior el valor absoluto de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se podría estimar en 135 kg/ha. Si quisiéramos profundizar un poco más (en congruencia con el párrafo anterior), asumiendo que la concentración de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en el horizonte subsuperficial (30-60

---

<sup>5</sup> Hoy denominado Sistema Internacional de Unidades (abreviado SI)



cm) podría estimarse como la mitad de la medición realizada a 0-30 cm, entonces el valor absoluto de  $N-NO_3^-$  adecuado sería de 202,5 kg/ha.

Para poder evidenciar el consumo efectivo de nutrientes por parte del cultivo de lúpulo y ponderar su demanda a campo, un punto de inicio es cuantificar el contenido de cada elemento por kilo de materia seca, y su distribución en los diferentes órganos de la planta. Los primeros estudios publicados sobre este tema datan de mediados del siglo pasado, por parte de expertos como Friedrich Zattler del Instituto de Investigaciones de Lúpulo de Hüll (Hallertau, Baviera), o Lubomír Vent del Instituto de Investigaciones de Lúpulo de Žatec (hoy ubicado en el Noroeste de República Checa). El libro de Leskovar (1978), cita dichos resultados junto a otros divulgados por distintos especialistas, y presenta algunas tablas donde se visualiza que del total de N absorbido por el cultivo considerando la planta completa (conos, hojas y tallos), en promedio el 46% se localiza en los conos.

El mencionado libro selecciona datos analíticos de aquella época y expone mediciones objetivas de N que refieren a una extracción de 30 gramos/planta y 118 kg/ha. Cabe considerar que dichos números corresponden a un rendimiento de flor seca cercano a los 1000 kg/ha, acorde a los valores de aquellos años y de aquellas variedades en Europa. Hoy en día sería razonable aceptar una expectativa de producción del doble quizás, y la bibliografía actual es concordante con esa idea. Según se apuntaba más arriba, extensionistas norteamericanos sugieren que el requerimiento de N del cultivo se ubica en el orden de las 200 libras/acre (224 kg/ha).

Así como algunos protocolos de EUA toman en consideración la absorción de N por parte del cultivo hasta los 60 cm de profundidad y citan valores de 300 libras/acre de  $N-NO_3^-$ , otras pautas de fertilización son más moderadas. Por ejemplo, la guía de fertilización para lúpulo de Oregon State University<sup>6</sup> (Gingrich et al. 2000) señala que un fardo (1 bale = 200 libras) contiene entre 5 y 6 libras de N, y además estima que cerca del 40% del N absorbido por el cultivo se localiza en los conos. Asumiendo un rendimiento de 9 fardos/acre ( $\cong$  2 toneladas/ha), el N contenido en los conos sería de entre 45 y 54 libras/acre (50 - 60 kg/ha). Por lo tanto, el consumo anual de N del cultivo en ese caso podría alcanzar valores de hasta 135 lb/acre ( $\cong$  150 kg/ha). En la misma dirección, una publicación divulgada desde el área de Extensión de la Universidad Estatal de Michigan<sup>7</sup> cita que los requerimientos de N del lúpulo se pueden estimar como un 3% del volumen total de materia seca (MS) producida. Teniendo en cuenta que una plantación adulta con rendimiento esperado de 2000 kg/ha de flor seca puede producir entre 4000 y 6000 kg MS/ha, entonces el requerimiento de N sería de entre 120 y 180 kg/ha.

Finalmente, es necesario definir el aporte de abono o fertilizante para la adecuada nutrición del cultivo. La guía de lúpulo publicada cada año por LFL<sup>8</sup> (Instituto Estatal de Agricultura de Baviera),

---

<sup>6</sup> <https://catalog.extension.oregonstate.edu/fg79/html>

<sup>7</sup> <https://www.canr.msu.edu/resources/michigan-hop-management-guide>

<sup>8</sup> [https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/hopfen\\_gr%C3%BCnes\\_heft\\_2020.pdf](https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/hopfen_gr%C3%BCnes_heft_2020.pdf)

propone una metodología de cálculo basada en un modelo de balance según el cual el requerimiento de fertilizante N es igual al requerimiento del cultivo menos el N inorgánico aportado por el suelo. La cuenta se realiza a escala de hectárea. El valor de requerimiento de N refiere a la cantidad necesaria del elemento para obtener un rendimiento óptimo en base a un cultivo promedio. Sobre estos temas ya se mencionaron varios enfoques, aunque aquí se presenta uno algo diferente. Los bávaros consideran un valor requerido de 220 kg N para todas las variedades a excepción de *Hércules* cuyo valor se asume en 230 kg N. En realidad, la guía propone que se debe tomar el promedio de rendimiento de los últimos 3 años (asumiendo que fueron normales), a los fines de apuntar a un número real sin sobreestimaciones. Dependiendo de la diferencia entre ese valor y el rendimiento estándar planteado para la región de Hallertau (1.750 kg/ha), se computa una adición o reducción al requerimiento del cultivo de 4 kg de N por cada 100 Kg de rendimiento. Por ejemplo, en una parcela de lúpulo variedad *Magnum* que tiene un rendimiento promedio en los últimos 3 años de 2.100 kg/ha, la diferencia con un rendimiento estándar para la región de Hallertau sería de 350 kg/ha con lo cual el N requerido por el cultivo debiera ser calculado así:  $220 + (3,5 \times 4) = 234 \text{ kg/ha}$ .

Según la metodología propuesta por LFL, es posible un recargo máximo de 40 kg N/ha en parcelas de alto rendimiento. También indica reducciones el cálculo de N de 20 kg/ha en suelos con contenido de materia orgánica mayor a 4% al suponer que habrá un aporte de N por mineralización durante la primavera avanzada y el verano. Esto último es concordante con la bibliografía de Estados Unidos a los fines del cálculo, aunque en diferente medida. Algunos especialistas norteamericanos consideran que cada punto porcentual de materia orgánica del suelo aportará 20 libras de N por acre ( $\cong 22 \text{ kg/ha}$ ).

Siguiendo con el desglose del modelo de balance citado, el “N inorgánico aportado por el suelo” es el contenido disponible al comienzo de la etapa vegetativa. Dado que los nitratos están sujetos a fuertes fluctuaciones todos los años, es esencial realizar un análisis de suelo en primavera. En Baviera la toma de muestras para este fin se realiza a una profundidad de 0-90 cm siendo este servicio ofrecido desde finales de febrero hasta principios de abril por parte del Hopfenring, que es un consejo profesional especializado en lúpulo, cuyo asiento es en Wolnzach (pleno corazón de Hallertau), donde se reciben alrededor de 4000 muestras cada temporada. En una serie de datos de 25 años (1995 a 2019 inclusive), el promedio de N mineral en el suelo medido por el Hopfenring arroja un valor de 86 kg/ha. Los registros publicados en la guía de lúpulo de LFL detallan los datos anuales de recomendación de fertilizante, cuyo valor promedio (de toda la serie) es 149 kg N/ha. Considerando estos 2 valores mencionados, se podría inferir que la demanda estimada del cultivo se ubicó alrededor de los 235 kg N/ha.

Al comparar las estimaciones de demanda de N del cultivo según los alemanes, se advierten ciertas variaciones respecto a la profundidad en la toma de muestras, y también resultados algo diferentes en cuanto al cálculo que sugieren los norteamericanos. Sin embargo, los conceptos son los mismos y ambos apuntan a un modelo de balance. En este sentido, cabe considerar el aporte de N por parte de un abono verde. La guía de LFL indica que en Baviera, la incorporación de un abono verde al suelo tiene en cuenta un aporte adicional de N a razón de 20 kg/ha. También se debe considerar el aporte de la biomasa que retorna a la parcela de cultivo, sobre todo cuando se utiliza

hilo biodegradable y se pican los tallos para ser devueltos al campo junto con las hojas. Para ello, corresponde tomar una muestra de dicho material (en ocasiones compostado con guano), analizarlo en laboratorio, y luego afectar por humedad y densidad aparente para convertir el volumen de material bruto que retorna al campo en valores de cada elemento. Restaría estudiar mejor su eficiencia de aplicación y el aporte estimado de N al suelo en kg/ha. Con seguridad, debe ser incorporado al suelo en el momento de su distribución. Este tipo de prácticas contribuye a la fertilidad química y física del suelo ya que aumenta la materia orgánica.

Las principales aplicaciones de N al suelo deberían ser realizadas entre octubre y diciembre en la zona andina del paralelo 42°. Una vez que se inicia la floración es necesario minimizarlas o suspenderlas, ya que se estaría promoviendo un crecimiento vegetativo indeseable durante la fase de desarrollo de los conos, retrasando su maduración. En el caso de utilizar abonos químicos conviene hacerlo en forma particionada, como mínimo en 3 veces. Lo ideal sería hacerlo por fertirrigación, con fracciones diarias muy reducidas, a los fines de maximizar la eficiencia de aplicación. A continuación, se listan los fertilizantes nitrogenados más utilizados en Argentina y su porcentaje de N:

- Urea (46%)
- Nitrato de amonio (33%)
- Sulfato de amonio (21%)
- Fosfato diamónico (18%)
- Nitrato de calcio (16%)
- Nitrato de potasio (13%)
- Fosfato monoamónico (11%)

Un ejemplo simple de fertilización con urea para completar un aporte de N de 135-140 kg/ha sería aplicar mediante el sistema de riego por goteo una dosis de 5 kg/ha diariamente durante 60 días, entre el 15/10 y el 15/12. De este modo, las pérdidas de N por lixiviación y volatilización podrían desestimarse casi por completo, y su uso alcanzaría máximos niveles de eficiencia en el suelo y en el cultivo.

## FÓSFORO

Entre los macronutrientes (N-P-K), el fósforo (P) es el menos demandado por el lúpulo. Sin embargo, una buena provisión de este nutriente estimula de manera positiva el desarrollo radicular, lo cual es muy importante sobre todo en una nueva plantación; y además influye en la floración y en la formación de los conos. En situaciones de carencia es posible observar las hojas más viejas o inferiores curvadas hacia abajo, con una coloración verde oscura.

El comportamiento de este nutriente en el suelo es bastante diferente al caso del N, ya que se trata de un elemento mucho menos móvil. Se halla tanto en forma orgánica como inorgánica y su solubilidad en el suelo es baja. El P en la solución del suelo es la fracción que está en disponibilidad inmediata para el cultivo. Existe un equilibrio entre el P en la fase sólida y el P soluble (Satti et al. 2007), y cuando las raíces absorben esa fracción, parte del elemento adsorbido (retenido) a la fase sólida es liberado a la solución, para mantener un equilibrio químico. Inversamente, cuando se fertiliza con P una parte importante es fijada con uniones covalentes a las partículas de arcilla, y esto hace que el P no esté disponible para las plantas. Si bien el tema requiere mayor estudio en el cultivo de lúpulo, existen evidencias de que muchas plantas cultivadas sufren deficiencias de P en el Noroeste de la Patagonia. En presencia de arcillas amorfas que se desarrollan a partir de cenizas volcánicas en sitios húmedos, la fijación de P llega a ser un 80%. Por esta razón, no es factible medir su contenido en kg/ha como en el caso del N, y no es factible aplicar un modelo de balance.

Hay varios métodos de medición de P en el suelo. Medir el contenido total no da idea de la disponibilidad inmediata para las plantas, acorde a lo mencionado anteriormente. El método más difundido en Argentina es el de Bray-Kurtz, que mide P extractable, lo cual representa una medida de la capacidad del suelo para suministrar P a la fracción soluble. Sin embargo, no es el método recomendado para suelos alofánicos (derivados de cenizas volcánicas y positivos al test de Fieldes), como son los de la zona andina del paralelo 42°. En este caso, se recomienda el método de Olsen, que también mide P extractable y es aplicable a todo tipo de suelos. Algunas recomendaciones de fertilización de lúpulo referidas a suelos volcánicos como el caso de la guía de Oregon State University (OSU) se basan en los resultados de laboratorio de suelos analizados por el método Bray-Kurtz, y señalan que:

- Si el valor está entre 0-30 ppm hay que fertilizar con 60-100 lb/a de  $P_2O_5$ <sup>9</sup> (67-112 kg/ha)
- Si el valor está entre 31-60 ppm hay que fertilizar con 0-60 lb/a de  $P_2O_5$  (0-67 kg/ha)
- Si el valor está por encima de 60 ppm no es necesario fertilizar

Los rangos citados antes pueden ser utilizados para generar la función lineal:  $y = -1,8667x + 115,67$  (donde la variable respuesta "y" sería la dosis de  $P_2O_5$  a aplicar expresada en kg/ha y la variable independiente "x" la medición de P (Bray-Kurtz) expresada en ppm. Para poner a prueba estos indicadores frente a los resultados que se obtienen localmente aparece el problema de la

---

<sup>9</sup> Pentóxido de fósforo; para convertir dicho valor a P como elemento hay que multiplicar por 2,27

metodología, ya que como se explicó antes, el P en la zona andina se analiza por el método Olsen. Según estudios publicados en 2018 (Perez et al.), donde se examinaron suelos de la región semiárida pampeana (incluyendo suelos del Sudoeste de la provincia de Buenos Aires), se concluye que los datos de P extraíble obtenidos por Olsen y Bray-Kurtz se relacionan de forma lineal. Si bien no es recomendado estimar los resultados obtenidos por un método a partir de los resultados obtenidos por el otro, las regresiones lineales de dicho estudio revelan que en general, una muestra de suelo que se analiza por Olsen, al ser analizada por Bray-Kurtz arroja un valor mayor. La regresión lineal calculada para suelos con pH menor a 7 y reacción positiva al test de Fieldes ajusta con un coeficiente de correlación ( $R^2$ ) de 0,56 y responde a la ecuación:  $y = 0,6x + 3,03$  donde la variable respuesta "y" sería el valor medido por Olsen. Como ejemplo, tomando un estudio de suelo de agosto de 2019 en una parcela de *Nugget* de 9 años de edad en Mallín Ahogado, el valor medido por Olsen fue de 20,26 ppm y si se "convierte" a Bray-Kurtz según dicha ecuación, equivaldría a 28,7 ppm. En este caso se mantiene dentro del mismo rango en base a lo establecido por la guía de Oregon, es decir que correspondería fertilizar con al menos 67 kg/ha de  $P_2O_5$  según dichas recomendaciones. A falta de estudios puntuales sobre manejo de la fertilización con P en la zona andina del paralelo 42°, podrían ser válidas las comparaciones de los resultados de análisis locales y los indicadores de dicha guía, aunque con cierta prudencia.

Tal como se explicaba en el caso del N, una metodología para abordar el cálculo de fertilización es conocer el requerimiento del elemento por parte de la planta. La mencionada guía de lúpulo de la Universidad Estatal de Michigan se basa en que el P representa el 0,5% de la materia seca (MS) de la parte aérea de la planta. Entonces, si se asumiera una producción total de MS de entre 4000 y 6000 kg/ha para alcanzar un rendimiento de 2000 kg/ha de flor seca, la remoción de P sería aproximadamente 20-30 kg/ha. Estos valores están en coincidencia con estudios de Washington (Evans et al. 1985) que indican que una cosecha de 2000 lb/a (2240 kg/ha) remueve en promedio 26 kg/ha de P.

Los datos publicados en el citado libro de Leskovar presentan mediciones objetivas expresadas en  $P_2O_5$  que refieren a una extracción de 38 kg/ha por parte del cultivo. Si aplicamos el factor de conversión (0,4364) para pasar a P como elemento serían 16,6 kg/ha. Los valores del párrafo anterior concuerdan en buena medida, habida cuenta que se están comparando rendimientos modernos que presumiblemente duplican a aquellos de los estudios de Zattler y Jehl (1962). En relación a la distribución del P en la planta, este mismo especialista indica que el 49% corresponde a los conos, el 24% a las hojas y el 27% a las guías o tallos.

La guía de lúpulo de LFL presenta tablas que indican que para un rendimiento promedio de 1750 kg/ha de flor seca, el contenido de  $P_2O_5$  en los conos es de 17,5 kg (1 kg/100 kg de rendimiento), y representa el 50% del total absorbido por la planta. Aplicando el factor de conversión para pasar a P como elemento, serían 7,6 kg/ha y suponiendo un rendimiento de 2000 kg/ha (14% mayor) serían 8,7 kg/ha en los conos y 17,5 kg/ha al considerar la planta entera. Llama la atención la diferencia de esos valores frente a los de Estados Unidos, aunque quizás no son comparables debido a cuestiones de metodología analítica. Según esta guía, en una parcela de lúpulo con valores medios de contenido de P en el suelo (30-60 ppm), la propuesta de fertilización sería reponer esas mismas cantidades del

elemento (40 kg/ha de  $P_2O_5$ ). A modo de resumen práctico entre las zonas de cultivo de Baviera y Baden Württemberg, Alemania, en promedio se recomienda duplicar la dosis para situaciones subóptimas, y reducirla a la mitad cuando el contenido de P en el suelo supera el rango óptimo. Nuevamente, surge un problema de metodología para poder extrapolar con precisión datos de otras regiones a nuestros sistemas productivos, ya que en Alemania para medir P en el suelo se utiliza el método de Mehlich 3 en la mayoría de los casos. Según estudios de comparación de métodos realizados en la región pampeana (falta cita!), en valores bajos (hasta 15 ppm) no habría diferencias sustanciales entre Mehlich 3 y Bray-Kurtz, pero en valores más altos la correlación no es buena y eso podría derivar en una interpretación diferente.

Por convenio internacional, el contenido de P de los fertilizantes fosfatados se expresa como porcentaje de  $P_2O_5$  y los más comunes son:

- Fosfato monoamónico (52%)
- Superfosfato triple (46%)
- Fosfato diamónico (46%)
- Superfosfato simple (22%)

Dado que el P es menos móvil que N o el potasio (K), las raíces pueden absorberlo en su entorno inmediato. Si bien el lúpulo posee un sistema radicular bien desarrollado, la incorporación del abono o fertilizante es particularmente beneficiosa. Las plantas absorben el P de la solución del suelo como el ion ortofosfato monovalente ( $H_2PO_4^-$ ) o bivalente ( $HPO_4^{2-}$ ), cuya concentración varía con el pH ya que éste determina los compuestos que se forman al fijarse el P con otros minerales. En un pH alcalino predomina la forma monovalente y la fijación es con calcio. En un pH ácido predomina la forma bivalente y la fijación es con aluminio. Para las plantas la mayor disponibilidad de P se encuentra entre valores de pH de suelo de 6 y 7.

Los excesos de P pueden ocurrir por aplicaciones innecesarias de fertilizantes compuestos de NPK formulados con una nivelación ajustada a la mayoría de los cultivos tradicionales. El lúpulo demanda los tres macronutrientes en una relación dispar, siendo las necesidades de P las de menor importancia. Las adiciones continuas de abonos enriquecidos con este elemento en lupulares del Camino de los Nogales han elevado excesivamente su contenido en el suelo, registrándose en algunas parcelas a lo largo de 10 años incrementos de un 70% (de 47 a 80 ppm), es decir que se ha estado reponiendo bastante más de lo que extrae el cultivo. Otra situación frecuente de sobreaplicación tiene lugar cuando se acidifica el agua de riego con ácido fosfórico, o se lo emplea para la limpieza de los sistemas de riego. Según indica la guía de Oregon, se desaconseja la fertilización continua de dicho nutriente en suelos con valores superiores a 30 ppm ya que pueden no ser ambientalmente racionales. Además, el exceso de P exagera las deficiencias de zinc ya que interfiere con su absorción, mayormente en suelos alcalinos.

En numerosos ambientes la descomposición de la materia orgánica y los residuos de cultivo contribuyen al P disponible. En los casos en que fuera posible devolver tallos y hojas al campo, las recomendaciones de fertilización con este nutriente se reducen aproximadamente a la mitad. En relación al abonado orgánico, la guía de LFL indica que el contenido de  $P_2O_5$  en los tallos y hojas es

de 1,3 kg/m<sup>3</sup> y el libro de Leskovar cita valores de 4,4 kg/tonelada de guano de oveja. A continuación, se detallan los cálculos sobre un ejemplo práctico de abonado orgánico con 30 m<sup>3</sup> de residuo de cosecha y guano de oveja, asumiendo una mezcla en partes iguales medido en volumen, y los siguientes parámetros:

- Densidad del guano de oveja: 0,8 toneladas/m<sup>3</sup>
- Humedad del guano de oveja: 68%
- Contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en el guano de oveja: 4,4 Kg/tonelada
- Contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en el guano de oveja: 1,13 kg/m<sup>3</sup>

El aporte de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> es significativo (36,5 kg/ha) y si bien el precio de esta práctica es elevado (muy variable en función de las distancias y los costos de logística), es una opción viable para planteos en transición agroecológica. Otra contribución de gran importancia al suelo se relaciona con el aumento de materia orgánica y la mejora progresiva de la estructura.

## POTASIO

La importancia de este nutriente radica en procesos metabólicos primordiales tales como la síntesis de proteínas y la traslocación de productos de la fotosíntesis. Además, el potasio (K) cumple en la planta la acción de ejercer presión osmótica que mantiene la turgencia celular, lo cual explica el hecho de que el lúpulo requiera altas cantidades de K, que se acumula principalmente en tallos y hojas. Según la guía de LFL, alrededor de un tercio se acumula en los conos, lo cual concuerda en buena medida con lo citado por el libro de Leskovar. La guía de OSU en cambio, señala que alrededor de un cuarto del K se acumula en los conos.

La adecuada provisión de K en el suelo influye sobre el comportamiento de toda la planta, incluyendo el desarrollo de los conos y su concentración de ácidos amargos. La deficiencia de este elemento en el lúpulo se caracteriza generalmente por un chamuscado en los márgenes de las hojas, apareciendo como un bronceado entre las nervaduras, y un crecimiento deficiente. Al ser un nutriente móvil que se traslada a los tejidos meristemáticos nuevos, cuando existe deficiencia los síntomas se desarrollan primero en las hojas más viejas, y pueden llegar a caer prematuramente.

El comportamiento del K en el suelo posee similitudes con el del P, siendo que existe una fracción disuelta en solución, una intercambiable y una no intercambiable. El ciclo de este elemento tiene la particularidad de que todas las transferencias de una fracción a otra pueden ocurrir en ambos sentidos. Mayormente, los ingresos al sistema ocurren por adición de abonos, mientras que las salidas del sistema se dan por la cosecha del cultivo, ya sea el K contenido en los conos, o en la planta entera cuando no se devuelven los residuos de cosecha al campo. Las pérdidas por lixiviación son de baja importancia cuantitativa, ya que se trata de un elemento poco móvil al ser retenido por el complejo de intercambio del suelo. Sin embargo, no habría que desestimar las pérdidas por escorrentía en aquellas parcelas que se riegan por manto de manera inadecuada y se produce arrastre de material fino, situación habitual en suelos de textura arenosa con pendiente mayor a 1% y surcos muy largos (más de 100 metros). Algunas parcelas de Mallín Ahogado han sufrido mal manejo del riego durante años, lo cual se expresa en bajos valores de nutrientes claves como el K, y en consecuencia rendimientos mermados. La implementación de sistemas de riego por goteo y la siembra de cultivos de cobertura en el entresurco, ya sea perennes o anuales (abonos verdes), logran revertir esta situación, mejorando en forma significativa los indicadores de laboratorio cada año.

En cuanto a la determinación de K disponible para las plantas, el método más utilizado en Argentina es el de extracción con solución de acetato de amonio regulada a pH 7 y fotometría de llama. Como ocurre con el P, medir el contenido total no daría idea de la disponibilidad inmediata para las plantas. La fracción no intercambiable o de reserva, no tiene posibilidades de ser absorbida por las raíces hasta no ser liberada. Al ingresar a la planta, el K se encuentra en forma de catión  $K^+$  pero su contenido en el suelo y en los fertilizantes, en general se expresa como óxido de potasio  $K_2O$  por convenio internacional.

La guía de OSU recomienda para el valle de Willamette (suelos volcánicos), fertilizar con K cuando los valores de dicho elemento medidos en el suelo se encuentran por debajo de 200 ppm. Según ellos observan, el nivel de K medido en tejido vegetal no se incrementa cuando los valores de



K en el suelo superan los 200 ppm. La guía propone las siguientes dosis de fertilización para suelos limosos según los resultados de análisis de suelo:

- Si el valor está entre 0-100 ppm hay que fertilizar con 80-120 lb/a de K<sub>2</sub>O (90-134 kg/ha)
- Si el valor está entre 101-200 ppm hay que fertilizar con 0-80 lb/a de K<sub>2</sub>O (0-90 kg/ha)
- Si el valor está por encima de 200 ppm no es necesario fertilizar

Los rangos citados antes pueden ser utilizados para generar la función lineal:  $y = -0,67x + 141,67$  (donde la variable respuesta “y” sería la dosis de K<sub>2</sub>O a aplicar expresada en kg/ha y la variable independiente “x” la medición de K expresada en ppm).

Estudios realizados en suelos arenosos de la zona de Newberg, 30 kilómetros al Sudoeste de Portland, EUA, identificaron situaciones con valores superficiales (0-30 cm) cercanos a 400 ppm, que descienden a menos de 100 ppm a 90 cm de profundidad (Gingrich et al. 2000). Al comparar la concentración de K en tejido vegetal (pecíolos) en la época previa a cosecha, se halló un valor mayor en suelos de 200 ppm constante en todo el perfil como los de las zonas de Woodburn o Amity (suelos arcillo limosos), que en aquellos con altos valores superficiales y bajos valores en profundidad. Extrapolando este tipo de análisis a la Comarca Andina del Paralelo 42°, existen situaciones similares al analizar nutrientes a diferentes profundidades. En lupulares del Camino de los Nogales se han medido valores promedio del horizonte superficial (0-20 cm) de 325 ppm y en el horizonte subsuperficial (20-40 cm) la concentración de K cae al 59%. Del mismo modo, en suelos de Mallín Ahogado provenientes de desmonte de bosque de ciprés (más arenosos), se reportaron caídas relativas muy similares al avanzar en profundidad, aunque con valores promedio en el horizonte superficial equivalentes a la mitad del hallado en el Camino de los Nogales. Quizás, en muchos ambientes sea necesario analizar K en profundidad para poder determinar las decisiones de fertilización con mayor exactitud.

En la bibliografía se observa información bastante heterogénea en relación a los niveles óptimos al evaluar concentración de K en el suelo. Mientras la guía de OSU refiere a 200 ppm como valores sobrados de K, la guía de Michigan indica un valor de 160 ppm, y la guía de Washington sostiene que 120 ppm es suficiente como para obviar la fertilización con este elemento. Otros especialistas en lúpulo de Estados Unidos mencionan valores óptimos a partir de 300 ppm. Los indicadores de la guía de LFL a priori son difíciles de comparar ya que en Alemania el método oficial para detección de K disponible (denominado “CAL”) es por extracción con acetato de calcio y lactato de calcio, empleando acetato ácido a pH 3,7 como solución buffer. Estudios comparativos entre metodologías de laboratorio sugieren que mediante CAL el valor medido es siempre menor en relación a la extracción con acetato de amonio. Un trabajo publicado en Polonia en 2013<sup>10</sup> propone la siguiente ecuación obtenida a partir de una regresión lineal:  $y = 1,36x + 14,17$  donde la variable respuesta “y” sería el valor de extracción con acetato de amonio y “x” el valor medido según CAL. Haciendo la conversión, la guía de LFL considera valores altos de K por encima de 175-190 ppm según la textura del suelo.

---

<sup>10</sup> <https://www.intechopen.com/chapters/43221>

Posiblemente, las diferencias del párrafo anterior (en cuanto al valor límite debajo del cual es necesario fertilizar), se deban en parte a las distintas consideraciones en relación a la profundidad de muestreo, pero también es factible que dichas variaciones estén relacionadas con el material original. La liberación de K al complejo intercambiable depende en gran medida del tipo de material presente en las diferentes partículas de suelo, sobre todo en la fracción arcillosa. Precisamente, algunos suelos franco arenosos de El Bolsón están bien provisto de nutrientes a excepción del K asimilable, ya sea por falta de material original con buena capacidad de intercambio catiónico, o por erosión hídrica de dicho material a causa de un mal manejo del riego gravitacional, tal como ya fue mencionado antes.

Al cuantificar el requerimiento del nutriente según mediciones en la planta, el libro de Leskovar muestra valores expresados en óxido de potasio ( $K_2O$ ) que refieren a una extracción por parte del cultivo cercana a 100-120 kg/ha, es decir una cantidad muy similar a la de N. Si aplicamos el factor de conversión (0,83) para pasar a K como elemento, serían 83-100 kg/ha. Considerando que dichos números se corresponden con un rendimiento de flor seca cercano a los 1000 kg/ha, tiene sentido estimar cerca del doble ya que hoy en día en la mayoría de las variedades es normal obtener alrededor de 1750-2250 kg/ha. En concordancia con lo anterior, la guía de OSU sugiere que el requerimiento de K del cultivo se ubica en el orden de las 80-150 libras/acre (90-170 kg/ha). Por otra parte, la guía de Michigan plantea que el K representa el 2% de la materia seca (MS) de la parte aérea de la planta. Asumiendo una producción total de MS de entre 4000 y 6000 kg/ha para alcanzar un rendimiento de 2000 kg/ha de flor seca, la remoción de K sería aproximadamente 80-120 kg/ha cuando no se devuelven residuos de cosecha al campo. Por último, la guía de LFL exhibe un valor de concentración 7,3 Kg de  $K_2O$  por cada 100 Kg de rendimiento de flor seca, es decir 146 kg/ha para un rendimiento de 2000 kg/ha. Al multiplicar por 0,83 para pasar a K como elemento, serían 121 kg/ha.

El K contenido en tallos y hojas se recicla fácilmente cuando este material se devuelve al campo ya que a diferencia del N, P y azufre (S), el K no forma parte de las combinaciones orgánicas del suelo. Como ya fue señalado antes, entre un tercio y un cuarto de este nutriente se acumula en los conos (hay diferencias según la bibliografía consultada), de manera que las prácticas agroecológicas que fomentan el ciclaje de nutrientes y “exportan” del sistema solamente lo necesario (los conos), tendrán mucho menor requerimiento de K en relación a los valores expuestos en el párrafo anterior. La guía de LFL indica que el contenido de  $K_2O$  en tallos y hojas es de 5,9 kg/m<sup>3</sup> y el libro de Leskovar cita valores de 10,9 kg/tonelada de guano de oveja. Nuevamente, se detallan los cálculos sobre un ejemplo de abonado con 30 m<sup>3</sup> de restos de cosecha y guano de oveja, asumiendo una mezcla en partes iguales medido en volumen, y los siguientes parámetros:

- Densidad del guano de oveja: 0,8 toneladas/m<sup>3</sup>
- Humedad del guano de oveja: 68%
- Contenido de  $K_2O$  en el guano de oveja: 10,9 Kg/tonelada
- Contenido de  $K_2O$  en el guano de oveja: 2,79 kg/m<sup>3</sup>

Como resultado del cálculo, el aporte de  $K_2O$  alcanza un valor de 130,4 kg/ha de manera que se estaría cubriendo una buena proporción del requerimiento del cultivo. La mineralización de este tipo de abonos es más rápida en los suelos livianos que en los pesados. Se recomienda incorporar el material para acelerar su descomposición, y para minimizar las pérdidas de N en forma amoniacal.

Por convenio internacional, el contenido de K de los fertilizantes potásicos se expresa como porcentaje de  $K_2O$  y más comunes son:

- Cloruro de potasio (60%)
- Sulfato de potasio (50%)
- Nitrato de potasio (44%)
- Sulfato magnésico potásico (22%)

La fertilización excesiva con K también puede inducir a deficiencias de magnesio. Por esta razón, es importante realizar estudios analíticos de suelo a escala de parcela todos los años, y conocer el % de saturación de bases con cada catión. De ser factible, también sería interesante monitorear el contenido de K en el tejido vegetal, realizando la medición específicamente en los pecíolos.

## CALCIO Y MAGNESIO

El lúpulo absorbe estos dos elementos en menor medida que N, P y K, pero en cantidades apreciables, razón por la cual son considerados macronutrientes secundarios. El calcio es indispensable para el desarrollo saludable de la planta, siendo un constituyente de paredes celulares y membranas. Por otra parte, su presencia en el suelo facilita la asimilación de otros nutrientes al estimular la actividad microbiológica en los procesos de descomposición de la materia orgánica. Respecto al magnesio, la mayor importancia radica en su intervención en el proceso de la fotosíntesis ya que forma parte esencial de la molécula de clorofila. En el suelo, ambos son cationes intercambiables, que se ven atraídos por las cargas negativas de las arcillas y la materia orgánica. Una vez retenidos en estos sitios no se lixivian fácilmente, y están disponibles para las plantas.

Los síntomas de deficiencia de calcio se desarrollan primero en los tejidos jóvenes y en los puntos de crecimiento, debido a que se trata de un nutriente inmóvil dentro de la planta. Los indicios más comunes pueden incluir clorosis de los puntos de crecimiento, desarrollo reducido de las hojas, y coloración amarillenta y muerte de los márgenes de las hojas. No es habitual observar dichas situaciones en la Comarca Andina del Paralelo 42° aunque quizás se requiera mayor estudio del tema. Como se expone más adelante, hay zonas con valores bajos de este elemento, sobre todo en suelos de Mallín Ahogado.

En el caso del magnesio, el síntoma principal de la deficiencia es la clorosis internerval de las hojas (coloración amarillenta), donde las nervaduras permanecen verdes. Al igual que ocurre con el K, el magnesio es un nutriente móvil en la planta, que se traslada a los tejidos meristemáticos nuevos cuando existe deficiencia, en perjuicio de las hojas más viejas. Generalmente no se manifiesta antes del mes de diciembre, es decir bien entrada la estación de crecimiento. En situaciones de carencia muy acentuada la clorosis puede terminar en necrosis y las hojas afectadas caer en forma precoz, decreciendo el desarrollo de los laterales. Algunas variedades de alta resina (*Nugget* y *Bullion*), en ciertas situaciones expresan dichos síntomas de manera muy acentuada.

La deficiencia de magnesio puede ocurrir debido a un bajo contenido del elemento en el suelo, un desequilibrio en la relación calcio/magnesio, o una fertilización excesiva de K (al ser un ion con carga positiva compite por los mismos sitios de intercambio). Además, la textura arenosa de los suelos puede hacer que haya predisposición a la deficiencia de Mg. El pH del suelo también afecta la disponibilidad de Mg, sobre todo en valores menores a 5,7. Para corregir suelos ácidos se recomienda el encalado con cal dolomítica (carbonato doble de calcio y magnesio). Si en cambio se optara por elevar el pH aplicando calcita (carbonato de calcio) en suelos bajos en magnesio dicha deficiencia se vería acentuada debido al impacto en la proporción calcio/magnesio del suelo. Algunos especialistas plantean que la relación óptima aceptada es alrededor de 2,5-5/1 expresado en miliequivalentes (meq)/100 gramos de suelo, que es una forma estandarizada para cuantificar los cationes. En varias parcelas de lúpulo de El Bolsón se monitorea este tema desde hace años, a partir de que se detectaran algunos suelos con proporción calcio/magnesio cercanas a 10/1. En la zona del Camino de los Nogales esta proporción inadecuada originalmente tenía lugar debido a un exceso de calcio, mientras que en Mallín Ahogado se explicaba por falta de magnesio (siendo el nivel de calcio también bajo).

En el primer caso, la enmienda indicada para corregir el problema es el sulfato de magnesio, mientras que en Mallín Ahogado probablemente deba ser combinado con alguna fuente de calcio en baja proporción (Ej: dolomita). En cualquiera de los ambientes estudiados, los valores de pH son casi neutros y no sería necesario tener que elevarlo.

Las situaciones expuestas en el párrafo anterior tienen una explicación físico química, y para una mayor comprensión es necesario ahondar en el concepto de “capacidad de intercambio catiónico” (CIC). Es la propiedad de un sólido para adsorber (retener) cationes de la fase líquida, intercambiándolos por una cantidad equivalente de otros cationes. Debido a que los cationes adsorbidos quedan en posición asimilable, constituyen la reserva de nutrientes para la planta. Las partículas que definen esta medida de magnitud en el suelo son los complejos húmicos-arcillosos, que están cargados negativamente. Es decir que los suelos con mayores contenidos de arcillas y/o materia orgánica, presentan mayor capacidad de intercambio catiónico. A modo de ejemplo, un “Andisol” de la zona de Lago Puelo puede presentar un valor de CIC mayor a 45 meq/100 g. mientras que un “Entisol” del Alto Valle del Río Negro (sin desarrollo de horizontes), probablemente posee un valor de CIC menor a 15 meq/100 g. Cuando el porcentaje de saturación de bases es 80, significa que el 80% de la CIC está ocupada por bases (Calcio, Magnesio, Potasio y Sodio), y solo un 20% está ocupado por otros iones como hidrógeno y aluminio. Estos parámetros son importantes indicadores de las condiciones edáficas que pueden limitar la productividad del lúpulo. Al respecto, existen referencias que indican que la saturación con bases debe ser superior al 85%, y el rango de saturación de cada catión debe ser el siguiente:

- Calcio<sup>2+</sup>: 65 - 75%
- Magnesio<sup>2+</sup>: 15 - 25%
- Potasio<sup>+</sup>: 4 - 9%
- Sodio<sup>+</sup>: menor a 5%

En la bibliografía existen ciertas controversias en cuanto a la necesidad de lograr una óptima relación calcio/magnesio, o bien apuntar a determinados valores absolutos mínimos de cada catión para el adecuado crecimiento del lúpulo. En cuanto a esto último, también se observan pautas dispares según la fuente consultada ya que, por ejemplo, la guía de OSU indica la necesidad de encalar cuando el nivel de calcio en el suelo es inferior a 5 meq/100 g. (1002 ppm<sup>11</sup>) pero al comparar con otras recomendaciones de especialistas de Estados Unidos, parecería que el nivel óptimo es bastante mayor a ese. Ciertas tablas refieren a 9 meq/100 g. (1804 ppm) y otros a 12 meq/100 g. (2405 ppm). En algunas de las fuentes consultadas (como el caso de la guía de LFL) parecería que las relaciones específicas calcio/magnesio no tienen efecto consistente en el rendimiento del cultivo, asumiendo que el sistema radicular absorbe selectivamente cada catión y asegura las relaciones requeridas de nutrientes más allá de las proporciones de éstos en el suelo. En cualquier caso,

---

<sup>11</sup> Según las tablas de conversión 1 meq /100 g. de Calcio<sup>2+</sup> equivale a 200,4 ppm

mantener un rango de pH propicio y un adecuado nivel de calcio y magnesio es esencial para asegurar buenos rendimientos.

El óptimo porcentaje de saturación de los sitios de intercambio con un determinado catión no es constante y más bien depende de la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de minerales del suelo. En ambientes muy lavados, de bajo pH y baja CIC, donde los niveles de calcio y magnesio son deficientes, el problema es bastante perceptible y la recomendación es adicionar cal para que precipite el aluminio, y provea cationes al complejo de intercambio, lo cuales quedarán disponibles para ser absorbidos por las raíces. En este tipo de situaciones aplica muy bien el concepto que toma en cuenta una saturación con bases mayor al 85%. Sin embargo, en suelos derivados de cenizas volcánicas existen ciertas inconsistencias por lo cual se requiere mayor investigación. En algunas parcelas de la Comarca Andina del Paralelo 42º se obtienen altos rendimientos en suelos con una saturación de bases cercana al 60%. A falta de una pauta de manejo concreta sobre este tema para dicha zona, se intenta moderar la relación calcio/magnesio entendiendo que el calcio excesivo puede interferir con la absorción de otros nutrientes e inducir deficiencias en el resto de los iones cargados positivamente (amonio, magnesio, potasio). Localmente, no se registran situaciones problemáticas por exceso de magnesio o sodio, ni tampoco suelos con valores de pH por debajo de 5,7 con necesidad de ser encalados. En aquellas parcelas con valores de magnesio inferior a 1 meq/100 g. (121,6 ppm<sup>12</sup>) se adiciona el elemento bajo la forma de sulfato de magnesio o dolomita.

El aporte de enmienda puede ser calculado en base a algunos supuestos. Por ejemplo, en una situación teórica donde se requiera alcanzar 85% de saturación con bases y el suelo en cuestión presentara 78% de saturación con bases y además excesiva relación calcio/magnesio, sería necesario lograr un incremento de 7% mediante el agregado de magnesio. Si la CIC fuera de 25 meq/100 g. el 7% representa 1,75 meq/100 g. Esta sería la cantidad de protones que deben ser reemplazados por cationes (magnesio en este caso). Considerando que 1 meq/100 g. de magnesio son 121,6 ppm y suponiendo que dicho suelo posee una densidad aparente de 1,35 gramos/cm<sup>3</sup> entonces para una profundidad de 20 cm representarían 328 kg/ha de magnesio<sup>13</sup>. Para incorporar el equivalente a 1,75 meq/100 g. será necesario aportar 575 kg/ha de magnesio. Luego es necesario afectar este valor por la concentración del elemento en la enmienda utilizada y por la eficiencia de aplicación. Si se aceptara una eficiencia de aplicación hipotética del 95% (al asumir pequeñas voladuras) y la fuente fuera sulfato de magnesio (9,5% de magnesio), harían falta 6,4 toneladas/ha. Si en cambio la enmienda fuera dolomita (13,2% de magnesio) harían falta 4,6 toneladas/ha. Dado que son magnitudes bastante elevadas, la corrección podría llevarse a cabo en forma particionada a lo largo de 2 o 3 años.

La guía de LFL proporciona un enfoque similar al de los otros macronutrientes, basado en la extracción por parte del cultivo y el nivel del elemento en el suelo. En referencia a la región de Baviera, se considera que para suelos livianos un nivel óptimo de magnesio sería entre 70 y 100 ppm mientras

---

<sup>12</sup> Según las tablas de conversión 1 meq /100 g. de Magnesio<sup>2+</sup> equivale a 121,6 ppm

<sup>13</sup> El valor surge al multiplicar el peso de la capa arable (1,35 gramos/cm<sup>3</sup> x 20 cm x 100 = 2700 ton) x 121,6 x 0,001

que para suelos pesados, el rango óptimo se ubicaría entre 100 y 200 ppm. En cuanto a la extracción por parte del cultivo, se indica un valor de 2,2 Kg de óxido de magnesio (MgO) por cada 100 Kg de rendimiento de flor seca, es decir 44 kg/ha para un rendimiento de 2000 kg/ha. Al multiplicar por 0,6 para pasar a magnesio como elemento, serían 26,4 kg/ha. Según los datos que presenta esta guía, el 23% se acumula en los conos y el resto en tallos y hojas, de manera que si los restos de cosecha fueran devueltos a la parcela, la “exportación” neta del sistema sería de apenas 10 kg/ha de MgO o 6 kg/ha de magnesio como elemento. Dichas recomendaciones están referidas a suelos con niveles de magnesio en rango óptimo. En caso que la situación fuera más desfavorable (por ejemplo 70 ppm de magnesio en un suelo pesado), la recomendación se incrementaría un 68% y el volumen requerido de enmienda ascendería a 74 kg/ha. Si en cambio la medición de un suelo pesado arrojara un valor de 350 ppm la indicación según esta guía sería no agregar más magnesio.

## AZUFRE

Se trata de un elemento esencial para las plantas, y al igual que el calcio y el magnesio, el azufre (S) es considerado un macronutriente secundario. Participa en importantes procesos bioquímicos y fisiológicos en las plantas superiores, y las raíces lo absorben como ion sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Este nutriente se encuentra en el suelo mayoritariamente asociado a compuestos orgánicos (95-98% del S total), o en forma inorgánica, principalmente como  $\text{SO}_4^{2-}$ . A partir de estas cifras se visualiza la importancia del contenido de materia orgánica del suelo, ya que los procesos de descomposición de la misma serán responsables de entregar al cultivo las cantidades necesarias de este nutriente.

Los lúpulos deficientes en S presentan un crecimiento atrofiado, tallos delgados y coloración amarilla en las hojas más jóvenes, ya que se trata de un elemento inmóvil en la planta. En general, los suelos con alto potencial de lixiviación (textura gruesa y CIC menor a 15 meq/100 g.) pueden ser deficientes en este nutriente, presentando contenidos inferiores a 20 ppm. Asimismo, en ambientes con pH menor a 6 cobran importancia las formas adsorbidas (fijadas), sobre todo en suelos con óxidos de hierro y aluminio.

Al ser un tema poco estudiado en comparación con el resto de los macronutrientes, hasta el momento no existe una metodología de diagnóstico confiable para predecir los niveles de S en el lúpulo y decidir una dosis de fertilización. La guía de LFL indica que la remoción de S de una cosecha promedio de lúpulo es de 12 kg/ha, lo cual parecería ser una estimación bastante discreta en comparación con los valores que mencionan algunos especialistas de Estados Unidos, quienes recomiendan aplicar 35 libras/acre (39 kg/ha), durante el ciclo del cultivo. Por su parte, la guía de Oregon, basándose en la respuesta a la aplicación de S en otros cultivos, y en la experiencia de los productores de dicho estado, recomiendan aplicaciones anuales de 30-40 lb/a (27-35 kg/ha). Haciendo un intento de extrapolación a la zona andina del paralelo 42° se podría establecer una cierta analogía entre los suelos de textura gruesa del Oeste de Oregon y las parcelas provenientes de desmonte de bosque de ciprés en Mallín Ahogado. En el Camino de los Nogales, a pesar de los elevados contenidos de materia orgánica (mayores a 6%) la medición de S refiere a valores subóptimos, al comparar con algunas tablas de referencia de Estados Unidos que indican que la medición de  $\text{SO}_4^{2-}$  debería ser superior a 25 ppm. Todas las muestras de suelo analizadas en 2022 arrojaron valores de  $\text{SO}_4^{2-}$  por debajo de 20 ppm. Se requiere mayor análisis sobre este nutriente en las zonas de cultivo de lúpulo de Argentina.

Más allá del desconocimiento sobre la disponibilidad de S en cada ambiente, también es cierto que parte del requerimiento de este nutriente suele cubrirse con las prácticas habituales de fertilización mineral. Entre los fertilizantes que contienen S y son de uso frecuente en lúpulo, se pueden considerar los siguientes: sulfato de amonio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de zinc. En situaciones de carencia, donde se requiera incrementar puntualmente este nutriente en el suelo, se puede fertilizar con "azufre elemental", cuyo contenido del elemento es muy variable, pero puede llegar a superar el 90%. Este fertilizante además presenta la ventaja de ser insoluble en agua, permitiendo que se mantenga disponible en el suelo por más tiempo mientras se oxida en forma progresiva por acción de los microorganismos del suelo hasta convertirse en sulfatos asimilables. Se



requiere tener en cuenta que dicha transformación microbiana está sujeta a ciertas variables edáficas vitales (temperatura, humedad, concentración de oxígeno), y podría no siempre ser suficientemente rápida para abastecer a la planta en un momento de necesidades elevadas de S. Por esa razón, en ocasiones se recomienda combinar la fertilización con sulfatos, sumando un abonado de fondo con azufre elemental (de “liberación lenta”), para ir construyendo progresivamente las reservas de S del suelo y asegurar la disponibilidad del elemento durante todo el ciclo del cultivo.

Retomando un escenario de manejo más agroecológico, donde fuera posible devolver tallos y hojas al campo, seguramente habría un aporte de S al sistema, aunque con distintas consideraciones si se quisieran realizar cálculos similares a los citados para el caso del P y K. El lúpulo acelera su ritmo de crecimiento durante el período de mayor mineralización (noviembre a febrero), lo cual es favorable a los fines de incrementar la disponibilidad de este elemento para ser absorbido por el cultivo. Sin embargo, los sulfatos se caracterizan por ser muy solubles, por lo que desaparecen del suelo al ser lavados por el agua de riego o la lluvia, con el riesgo que esto supone de dejar al cultivo en una situación de deficiencia. Al igual que ocurre con el N, la eficiencia de aplicación es clave, y necesariamente los abonos orgánicos y los restos de cosecha deben ser incorporados al suelo.

## BORO

Las alteraciones de crecimiento en el lúpulo a menudo se explican por un suministro insuficiente de ciertos oligoelementos, como el caso del boro. Este elemento es considerado un micronutriente esencial para las plantas. Sus principales funciones se relacionan con el desarrollo de las paredes celulares, la división celular, el metabolismo y transporte de azúcares, y sobre todo el desarrollo reproductivo (incluyendo la síntesis de hormonas). La carencia de boro puede provocar atrofia, distorsión y arrugamiento de las hojas jóvenes, quedando muchas veces pequeñas, cloróticas y quebradizas. Si hay una deficiencia latente, las hojas pueden ser de un verde exuberante, curvadas hacia abajo, y posteriormente aparecen los márgenes de color amarillo. Otro síntoma principal es la aparición tardía de los brotes, que pueden presentarse con coloración amarillenta o rojiza al inicio y posterior muerte de las puntas. Los entrenudos acortados y la presencia de muchos brotes en la corona a nivel del suelo también podrían ser indicios de deficiencia de boro.

Las situaciones de carencia de este nutriente son más comunes en suelos de textura arenosa o muy arcillosa. Cuando los niveles de pH se alejan mucho del rango óptimo (6-6,5) también puede ocurrir falta de boro, sobre todo en suelos muy ricos en carbonato de calcio. Según algunas guías de fertilización de lúpulo de Estados Unidos previamente citadas (Oregon, Michigan), los niveles de boro en el suelo deberían estar entre 0,7 y 1,5 ppm (utilizando agua caliente como extractante). En dicha bibliografía se recomienda aplicar alrededor de 1-1,5 lb/a anualmente, y no emplear boro adicional en caso que los niveles medidos en el suelo sean mayores a 1,5 ppm. Es importante tener en cuenta que este nutriente puede ser tóxico si se administra en exceso. Las aplicaciones se pueden realizar por goteo al incluir en la solución ácido bórico o borato de sodio ("bórax"). El boro es absorbido por las plantas principalmente bajo la forma de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) no disociado, fundamentalmente mediante los mecanismos de flujo masal, y en menor medida por difusión. Actualmente, existen decenas de productos avanzados que contienen boro en su composición, muchos de los cuales se pueden proporcionar al cultivo mediante pulverización foliar. Por lo tanto, se recomienda hacer los cálculos para adecuar la dosis total, sobre todo si se combinan diversas aplicaciones y productos.

La guía de LFL difiere un poco en relación a la fertilización de este oligoelemento según los resultados del análisis de suelo. Además, plantea que la deficiencia de boro ocurre particularmente en años secos, lo cual seguramente se explica por la baja implementación de sistemas de riego, ya que la mayor parte de la superficie cultivada con lúpulo en Alemania se realiza en secano. Dicha guía, en base a la medición de los niveles de contenido de boro en el suelo recomienda:

- Si el valor es <0,35 ppm, aplicar 400 g/ha en suelos ligeros y 500 g/ha en suelos pesados.
- Entre 0,35 y 1 ppm, aplicar 200 g/ha en suelos ligeros y 300 g/ha en suelos pesados.
- Si el valor es >1 ppm, no aplicar boro.

Existe poco conocimiento local disponible en relación a este nutriente, y las escasas mediciones realizadas en el suelo arrojan valores entre 1,1 y 2,2 ppm). En los últimos años, se suele incluir hasta 2 kg/ha de ácido bórico en la mezcla de tanque de la pulverizadora (en general particionado en 1 o 2 aplicaciones), siempre en prefloración. A futuro se requiere ahondar más en el entendimiento de este elemento.

## ZINC

Este elemento constituye otro micronutriente clave para el cultivo de lúpulo, y está demostrado que la planta es muy sensible ante la falta del mismo. Interviene como activador de enzimas y es necesario para un crecimiento óptimo. También juega un papel en el alargamiento de los entrenudos. Los síntomas de deficiencia se relacionan con hojas cloróticas y alargadas, con lóbulos muy pequeños y profundamente cortados. Las hojas se vuelven “abultadas”, se retuercen hacia arriba y pueden tornarse quebradizas. Además, tanto las guías principales como laterales expresan un crecimiento débil y baja producción de conos. La carencia de zinc en el lúpulo puede mostrar síntomas similares a una enfermedad viral.

La deficiencia de zinc está asociada con un pH alto del suelo (> 7,5). Como ya fue mencionado en la sección referida al P, el exceso de este macronutriente exagera las deficiencias de zinc ya que interfiere con su absorción. Suelos arenosos y bajos en materia orgánica son más predisponentes a tener problemas por falta de este elemento. Los niveles de zinc en el suelo deben ser de 1 a 3 ppm. La guía de OSU señala que la mayoría de los cultivos en dicha zona no muestran una respuesta positiva de rendimiento a las aplicaciones de este micronutriente cuando el valor medido (zinc extraíble con DTPA) es superior a 1 ppm, y por lo tanto propone que por encima de ese resultado no sería necesario fertilizar con dicho elemento. En el caso que el contenido sea inferior a 1 ppm recomienda aplicar 3-4 lb/a (3,4-4,5 kg/ha). La guía de LFL difiere un poco en los umbrales de respuesta, y recomienda que:

- Si el valor es <1,1 ppm, aplicar 2 kg/ha en suelos ligeros y 2,8 kg/ha en suelos pesados.
- Entre 1,1 y 3 ppm, aplicar 1,4 kg/ha en suelos ligeros y 2 kg/ha en suelos pesados.
- Si el valor es > 3 ppm, no aplicar zinc.

Los experimentos han demostrado que con mezclas de oligoelementos solubles en agua se logra asegurar un suministro suficiente de zinc. Las aplicaciones se pueden realizar a través del riego por goteo y de ese modo lograr una buena corrección de la carencia detectada en forma temprana, sin comprometer el rendimiento. Sin embargo, a largo plazo es importante que el contenido de fosfatos y el valor del pH se reduzcan al rango óptimo para mejorar los niveles de zinc en el suelo.

Por otra parte, algunas de las mencionadas guías indican que los síntomas de deficiencia aguda deben remediarse mediante tratamientos foliares con sulfato de zinc a una dosis de 0,1-0,15% (p/v) o quelato de zinc. Los quelatos son complejos formados por la unión de un metal y un compuesto que contiene dos o más ligandos potenciales. Son sustancias de muy elevada estabilidad que protegen al catión metálico de manera muy eficaz, impidiendo que dicho catión sea susceptible de reaccionar con otros factores presentes en el medio donde se encuentra. Hay diversos productos de este tipo en el mercado y en general se emplean a una dosis de 0,4-0,5% (v/v). Para que el tratamiento sea eficaz, se debe realizar más de una pulverización desde el entutorado hasta inmediatamente antes de la floración. Aunque el conocimiento sobre el zinc es muy acotado en los ambientes locales, desde hace varias temporadas se utilizan en la mezcla de tanque de la pulverizadora productos que contienen este elemento, empleando las dosis recomendadas para otros cultivos. Se requiere ahondar más en el conocimiento acerca de la respuesta a la fertilización con zinc y el tipo de producto más adecuado.

## RESUMEN

A continuación, se presenta una tabla resumen con los valores adecuados que deberían resultar del análisis de laboratorio de muestras de suelo superficiales (0-30 cm) tomadas en primavera en una plantación de lúpulo adulta (mayor a 2 años).

<b>Nutriente</b>	<b>Forma</b>	<b>Niveles adecuados (ppm)</b>	<b>Observaciones</b>
Nitrógeno	Nitratos	40-50	
Fósforo	Fósforo extractable	30-60	Bray-Kurtz
Potasio	Potasio intercambiable	200-500	CH <sub>3</sub> COO-NH <sub>4</sub>
Calcio	Calcio intercambiable	500-2500	
Magnesio	Magnesio intercambiable	125-350	
Azufre	Sulfatos	>25	
Boro		>1,5	
Zinc		>3	

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LFL). 2020. Hopfen. Arbeitsbereich Hopfen Kellerstraße 1, 85283 Wolnzach.

Evans, RG et. al. 1985. Hop production in the Yakima Valley. Washington State University Extension Bulletin 1328. Pullman, WA.

Fandiño M, Olmedo JL, Martínez EM, Valladares J, Paredes P, Rey BJ, Mota M., Cancela JJ, Pereira LS. 2015. Assessing and modelling water use and the partition of evapotranspiration of irrigated hop (*Humulus Lupulus*), and relations of transpiration with hops yield and alpha-acids. *Industrial Crops and Products* Volume 77: 204-217.

Fandiño M, Martínez EM, Rey BJ, Valladares J, Olmedo-Nadal JL, Mirás-Avalos JM, Cancela JJ. 2019. Irrigation scheduling for *Humulus lupulus* (L.) cv. "Nugget": climate and soil-plant relations. *Brewing Science* 72 (11/12): 188-195.

Forster A, Biendl M, Schönberger C, Engelhard B, Gahr A, Lutz A, Mitter W, Schmidt R. 2014. Hops: Their Cultivation, Composition and Usage. Fachverlag Hans Carl. 335 páginas.

Gingrich G, Hart J, and Christensen N. 2000. Fertilizer Guide: Hops. FG 79. Oregon State University, Corvallis, Oregon.

Iskra AE, Lafontaine SR, Trippe KM, Massie ST, Phillips CL, Twomey M.C., Shellhammer TH, Gent DH. 2019. Influence of Nitrogen Fertility Practices on Hop Cone Quality. Journal of the American Society of Brewing Chemists. VOL. 77, NO. 3, 199-209.

Leskovar L. 1978. El lúpulo. Su cultivo y procesamiento. Ed. Hemisferio Sur. 154 páginas.

Michigan State University Extension. Michigan Hop Management Guide. 2020. Crop Protection and Pest Management Program 2017-70006- 27175. USDA

Neve R A. 1991. Hops. Chapman and Hall, London.

Perez M, Dannel Guerra L, Storniolo R, Vanzolini J, Kloster N. 2019. Comparación de métodos para determinación de fósforo extraíble en suelos de la región semiárida pampeana. Ciencia del Suelo (Argentina) 37 (1): 11-20.

Rybacek V. 1991. Hop Production. Elsevier Science, Amsterdam.

Satti P, MJ Mazzarino, L Roselli, P Crego. 2007. Factors affecting soil P dynamics in temperate volcanic soils of southern Argentina. Geoderma 139:229-240.

Zattler F, Jehl J. 1962. La influencia de las condiciones atmosféricas en rendimientos y la calidad de lúpulos en Hallertau en el período 1926-1961. Traducido del alemán. Hopfen-Rundschau, 13.