

6. FERTILIZACIÓN DE AVENA EN LA REGIÓN CENTRO SUR Y SUR DE CHILE

Nicasio Rodríguez S. y Ricardo Campillo R.

6.1 INTRODUCCIÓN

La competencia económica en agricultura ha motivado a los agricultores a obtener producciones económicas y rentables. Este factor, junto con la demanda creciente de alimentos, ha llevado al incremento sostenido de utilización de fertilizantes para suplir el déficit de nutrientes en el suelo, que limitan la obtención de un óptimo desarrollo de las plantas. El rendimiento de avena, como de otros cultivos, debido a la aplicación de fertilizantes depende de varios factores, entre los cuales se puede mencionar el tipo de suelo, variedad, clima y técnicas culturales.

La disponibilidad de nutrientes en el suelo para la nutrición de las plantas es de primordial importancia para determinar el rendimiento de avena. Por tanto, para utilizar los fertilizantes eficientemente se requiere determinar qué nutrientes y en qué cantidad deben aplicarse para obtener una cosecha rentable. Generalmente, las deficiencias nutricionales no pueden detectarse, por lo que es necesario recurrir a herramientas especializadas que permitan evaluar su disponibilidad. El método más empleado es el análisis químico de suelo, que junto con el análisis foliar y la sintomatología visual son herramientas útiles para este objetivo. Para seleccionar el tipo, época y dosis de fertilizante a aplicar, es necesario considerar el efecto de las interacciones de todos los factores de producción.

6.2 SUELOS UTILIZADOS EN PRODUCCIÓN DE AVENA

Los principales factores del suelo que limitan la producción de avena son la textura y profundidad, que a su vez condicionan la disponibilidad de agua, factor crítico en la etapa de llenado del grano. También, la presencia de horizontes compactados (pie de arado) a una profundidad de 20 a 40 cm, incide en la eficiencia de uso del agua y en el eficiente uso de los fertilizantes.

Este cereal se adapta bien a diferentes tipos de suelos, aunque su mayor producción se obtiene en aquellos profundos, de buen drenaje, textura media y alta retención de humedad. No se recomienda su cultivo en suelos arenosos.

En Chile, el área de mayor producción de avena se encuentra ubicada entre las regiones VIII a la X, y se siembra generalmente en andisoles (trumaos) y ultisoles (rojo arcilloso) de las zonas agroclimáticas de la Precordillera Andina y del Llano Central.

En los suelos destinados a la producción de avena en las regiones Centro sur y Sur, la pluviometría anual varía desde 800 hasta 1200 mm.

6.2.1 Andisoles

Los suelos derivados de cenizas volcánicas, pertenecientes a la clasificación de andisoles, se encuentran en la Precordillera y Llano Central. En la Precordillera la topografía es de lomajes suaves a escarpados, susceptibles a erosionarse con el sistema de labranza tradicional.

En estos suelos predominan las arcillas del tipo alofán, mineral no cristalino que determina en gran medida las características químicas (Besoain, 1985), y se han desarrollado a partir de cenizas volcánicas recientes que presentan perfiles profundos. Tienen alta capacidad adsorción de fósforo (P) relacionada con los componentes de hierro (Fe), aluminio (Al) y materia orgánica que se encuentran en cantidades variables en los suelos, y aumentan de norte a sur (Campillo y Sadzawka, 1992).

En su estado natural estos suelos tienen un contenido de P disponible bajo, por lo que es necesario aplicar altas cantidades de fertilizante fosforado. El efecto residual de este nutriente es importante y aumenta progresivamente a medida que incrementa la dosis de fertilización (Rodríguez *et al.*, 1982). También, es característico de estos suelos su alto contenido de materia orgánica y la acumulación de carbono orgánico es un factor determinante de la mayoría de sus propiedades y características físicas (Zunino y Borie, 1985). Entre éstas, su baja densidad aparente, alta porosidad y alta disponibilidad de humedad aprovechable. Requieren mayor cantidad de nitrógeno (N) total para mineralizar la misma cantidad de N disponible, comparado con suelos de otro origen (Tejeda, 1970). Poseen alto potencial de producción cuando son bien fertilizados y se optimizan los factores de manejo.

6.2.2 Ultisoles

Los ultisoles se han formado por meteorización de antiguas cenizas volcánicas (Besoain, 1985). Se ubican en la depresión intermedia en posición de lomajes suaves, poseen alto contenido de arcilla y de óxidos de hierro. Son suelos de contenido de materia orgánica

medio (4 a 10%), textura franco arcillosa, de color pardo rojizo en superficie y humedad aprovechable media. Tienen un potencial de rendimiento inferior a los trumaos en condiciones de secano; en áreas de riego se comportan en forma similar a los trumaos.

6.3 ACIDEZ DE SUELO

Los suelos ácidos se generan por una pérdida de cationes básicos: calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na), y una acumulación de cationes ácidos: aluminio (Al) e hidrógeno (H). La acidez de los suelos limita el crecimiento de las plantas debido a una combinación de factores que incluyen la toxicidad del Al, manganeso (Mn) e H, y la deficiencia de nutrientes esenciales, especialmente Ca, Mg, P y molibdeno (Mo). Pero, en estos suelos ácidos, el Al soluble o intercambiable es el factor más importante que limita el crecimiento (Campillo y Sadzawka, 2003a).

Altas concentraciones de Al en la solución del suelo disminuyen el crecimiento radicular, la respiración de la planta, la síntesis de DNA, el transporte de nutrientes y también de agua. La fitotoxicidad del Al sobre las células de las raíces altera el desarrollo radicular, que limita la exploración del volumen de suelo, la absorción de nutrientes, así como el suficiente abastecimiento de agua. Como consecuencia las plantas presentan deficiencias nutritivas y baja turgencia de las células.

En suelos que reciben una alta pluviometría, la acidificación es progresiva por el reemplazo de las bases cambiables Ca, Mg, K y Na por iones H y Al, debido a la percolación del agua lluvia y extracción de cationes por las plantas, como también por el uso continuado de fertilizantes amoniacales.

El intercambio de cationes es el sistema natural mediante el cual las raíces obtienen elementos nutritivos, atraídos por las superficies cargadas negativamente de los coloides del suelo. Es conveniente estimar la carga negativa desarrollada por el suelo al pH que existe en condiciones naturales. Ello se denomina "CIC Efectiva" (CICE), que es la capacidad del suelo para retener e intercambiar cationes, y corresponde a la suma de los cationes intercambiables (Ca + Mg + K + Na + Al). La determinación de la CICE y la estimación de la saturación de Al (PSAl), contribución en % del Al en la CICE da una buena estimación de la toxicidad de Al en suelos de un mismo tipo y sometidos a condiciones agroclimáticas similares (Sadzawka y Campillo, 1993).

Generalmente, cuando la avena forma parte de las rotaciones con trigo, praderas con leguminosas y leguminosas para grano, los productores mantienen la acidez controlada (pH agua > 5,5 y PSAI < 5%).

Adams (1956) y Robertson *et al.* (1954), concluyeron que la avena sólo tiene respuesta positiva en rendimiento al encalado, cuando el pH es inferior a 5,0. En tanto, Bowen (1983) y Lathwell y Reid (1984) no encontraron respuesta al encalado en suelos de Nueva York, cuando el pH inicial de éste tenía un valor de 5,1. Doll (1964), y también Alam y Adams (1979) determinaron que el rendimiento máximo de avena se obtiene cuando el pH fluctúa entre 5,5 y 5,7.

Una de las prácticas habituales para corregir la acidez del suelo consiste en la aplicación de enmiendas calcáreas. Estrictamente, la cal es el óxido de calcio; sin embargo, el término cal también se aplica a otros materiales encalantes como hidróxidos, carbonatos y silicatos de calcio, o de calcio y magnesio (Campillo y Sadzawka, 2003b).

En la IX Región, Peyrelongue (1994) detectó en andisoles la acidificación progresiva de los suelos cultivados intensivamente y en los que se aplicaron fertilizantes amoniacales, que se manifiesta en la disminución del Ca y en el aumento de Al de intercambio, con incrementos importantes del PSAI. Ensayos realizados por la misma autora dieron respuesta positiva al encalado en un suelo con un PSAI de 36,5% y bajo contenido de Ca de intercambio de 0,46 cmol⁺/kg, concluyendo que para obtener 70 qq/ha de avena, en un suelo con un PSAI entre 4,9 y 10%, la incorporación de dos toneladas de cal aumentó el rendimiento entre 8,7 a 12,5 qq/ha. En tanto, en un suelo con 20% de saturación de Al la aplicación de 4 toneladas de cal determinó un aumento de rendimiento de 14 qq/ha. Estos ensayos se realizaron en suelos con alta deficiencia P, por lo que el encalado podría haber aumentado también la disponibilidad de este nutriente.

6.3.1 Valor neutralizante o equivalente carbonato de calcio

Las enmiendas calcáreas difieren en su habilidad para neutralizar la acidez del suelo. El valor encalante depende de la cantidad de ácido que una unidad de peso del material puede neutralizar, y donde el "carbonato de calcio puro" es el standard comparativo con otros materiales encalantes.

En la selección de las enmiendas calcáreas se debe considerar su valor de neutralización, el porcentaje de humedad, las impurezas y la finura de las partículas de éstos, que

determinan la velocidad de reacción por la mayor superficie de contacto cuando son incorporados al suelo.

Al aplicar la enmienda calcárea, los cationes H^+ y Al^{+3} de la solución de suelo reaccionan con los aniones OH^- provenientes de la hidrólisis de la enmienda, formando agua y precipitando el Al, el cual es reemplazado en los sitios de intercambio con Ca y otros cationes básicos. De esta manera, el Al tóxico de la solución queda químicamente inerte (Campillo y Sadzawka, 2003b).

6.3.2 Recomendación para aplicación de enmiendas calcáreas

En el caso de avena, para incrementar el pH agua, se recomienda utilizar alguna de las enmiendas calcáreas que ofrece el mercado. Aplicaciones excesivas inducen deficiencias de microelementos, como es el caso de Mn, con efectos negativos de producción. La enmienda calcárea finamente molida, se debe esparcir e incorporar con labores de rastraje sobre toda la superficie del suelo previamente removido, para que quede bien mezclada y a la profundidad de aradura.

La definición de dosis de encalado para corregir la acidez del suelo depende de los siguientes factores (Rodríguez, 1993): tolerancia del cultivo a la acidez; capacidad tampón del suelo y del pH requerido, según el cultivo; composición y características de la enmienda calcárea aplicada y profundidad del encalado. Resulta evidente la imposibilidad de generalizar la dosis de encalado para todos los suelos, dado los diferentes factores que la condicionan. Así como no existe un pH óptimo para todos los cultivos, tampoco existe una misma capacidad tampón para todos los suelos. Previo a definir la dosis de encalado para la avena se debe realizar un buen diagnóstico de los problemas de acidez a través de un oportuno análisis químico de suelo.

6.4 NUTRICIÓN DE LA AVENA

La obtención de nuevas variedades de avena ha hecho factible aumentar los rendimientos, mejorar la calidad y elevar el contenido de proteína del grano, comparativamente con las variedades que se cultivaban en el pasado, lo que ha originado mayores requerimientos nutricionales, principalmente de N y P en una relación equilibrada.

En suelos de uso intensivo con cultivos anuales el K, Ca, Mg y S (azufre) también pueden ser insuficientes para satisfacer los requerimientos de altas producciones. En estudios recientes los micronutrientes B (boro) y Zn (zinc) presentan valores bajos los críticos en

los análisis de suelo, indicando la necesidad de aplicarlos a la forma de fertilizantes comerciales en la cantidad y época requerida. No hay ensayos nacionales de campo que avalen la respuesta a B y Zn en avena, y de micronutrientes en general.

El K es el segundo elemento en cantidad que requiere la avena, no forma compuestos orgánicos en la planta y es de vital importancia en los procesos de metabolismo.

Peyrelongue (1991), en suelos trumaos del sur de Chile, midió las cantidades de N, P(P_2O_5) y K(K_2O) absorbidos por la avena en tres niveles de N aplicado (0, 50 y 150 kg/ha). Se observa que el incremento de la dosis aplicada determinó una mayor absorción de N y de rendimiento de este cereal (Cuadro 6.1). Sin embargo, las absorciones de P_2O_5 y K_2O del cultivo prácticamente no fueron influenciadas por el incremento de la dosis de N.

6.5 ABSORCIÓN RELATIVA DE NUTRIENTES

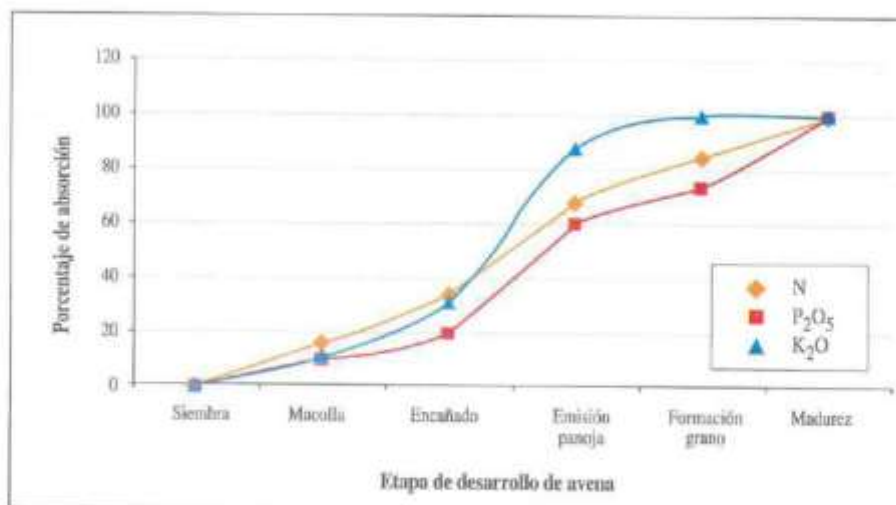
La tasa de absorción de nutrientes es de especial relevancia en la nutrición de los cultivos. En la Figura 6.1 se observa que en avena, la mayor tasa de absorción de N, P y K ocurre entre encañado a emisión de panoja. Sin embargo, a partir de la formación del grano la tasa disminuye considerablemente.

Cuadro 6.1 Absorción de N, P_2O_5 y K_2O con diferentes rendimientos de avena.

Rendimiento qq/ha	N	P_2O_5	K_2O
	Kg de nutriente/ton de producto		
32	19,7	8,7	13,9
46	22,6	7,6	12,8
54	25,4	5,7	13,3
Promedio	22,5	7,3	13,3

Peyrelongue, 1991.

Figura 6.1 Absorción relativa de nutrientes en relación al desarrollo de la avena.



6.6 MANEJO DE LA FERTILIZACIÓN

Estudios realizados en el área de producción de avena muestran que la deficiencia de N se presenta casi siempre en los suelos cultivados con este cereal. Por ello, normalmente hay respuesta cuando se fertiliza con este nutriente, al igual que en los otros cereales de grano pequeño, mejorando el rendimiento de grano, producción de macollos y peso de panoja (Peyrelongue, 1991). Sin embargo, dosis excesivas de aplicación de fertilizantes nitrogenados provocan mayor crecimiento vegetativo, mayor altura de planta, aumentando el riesgo de tendadura del cultivo.

6.6.1 Nitrógeno

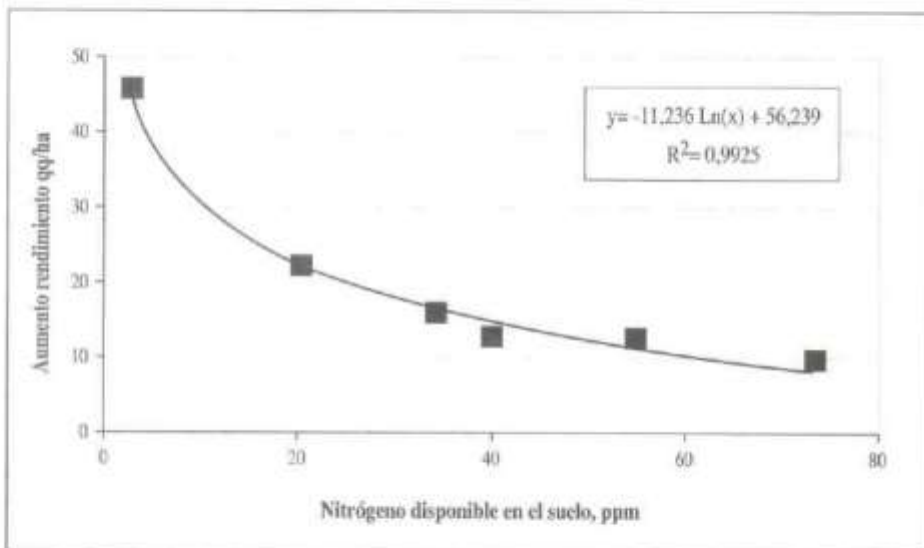
El N es el nutriente más requerido y absorbido por avena, y es decisivo para aumentar el rendimiento y mejorar la calidad del grano de este cereal, lo que ha sido demostrado en investigaciones realizadas en las regiones VIII y IX. Es un componente esencial de los aminoácidos y responsable del contenido de proteína. En el suelo, la mayor parte del N está en forma orgánica (95 a 99%), y solamente 2 a 3% en forma mineral disponible para las plantas, de tal manera que la avena para su nutrición absorbe tanto el N residual que aporta el suelo, como el suministrado por los fertilizantes nitrogenados. La disponibilidad de N depende del tipo de suelo, contenido de materia orgánica, fertilización del cultivo anterior y rotación de cultivos. El uso continuado del suelo, sin intercalar

leguminosas, disminuye la fracción orgánica y en consecuencia la capacidad de mineralización de N en el mediano y largo plazo.

Análisis de suelo realizados en 123 campos de agricultores, en las comunas de la Precordillera de Ñuble, muestran que al momento de la siembra en un 93% de los casos la disponibilidad de N era baja (inferior a 20 ppm de N) y sólo en un 7% la disponibilidad era media (entre 21 y 40 ppm de N) (Ruz *et al.*, 1995). Estos datos permiten estimar que en las rotaciones con avena la fertilización con N es necesaria para obtener rendimientos económicos.

Cuando la fertilización con N es escasa, el rendimiento y proteína del grano están condicionados por la disponibilidad que exista en el suelo. Análisis de ensayos de campo realizados muestran la relación que existe entre el N disponible en el suelo, como N amoniacal (NH_4^+) y N nítrico (NO_3^-), y el aumento de rendimiento de grano (Figura 6.2).

Figura 6.2 Relación entre nitrógeno disponible del suelo y aumento de rendimiento en avena.

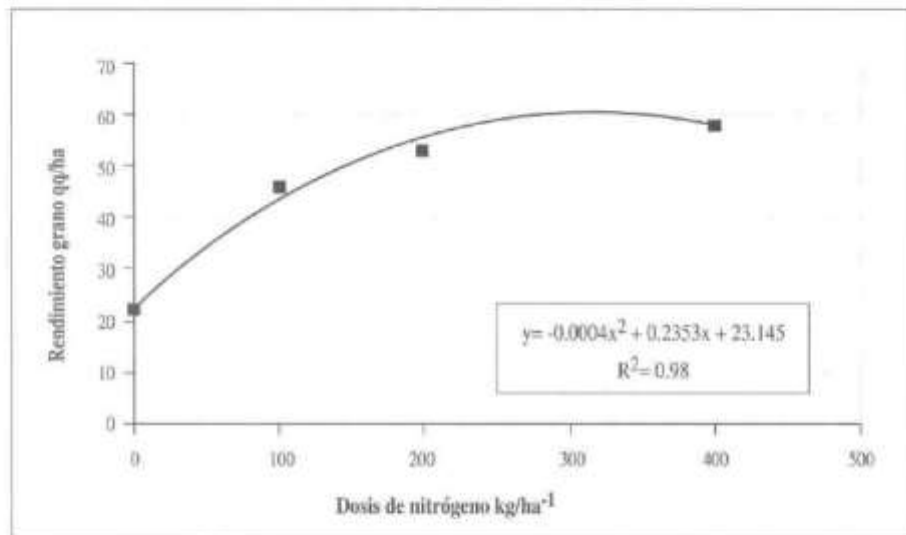


La mayor respuesta al N se obtiene en el rango de 0 y 20 ppm de N en el suelo, entre 20 y 40 ppm ésta disminuye y sobre 40 ppm la respuesta es incierta. El conocimiento de esta relación permite ajustar la dosis de fertilización con N para obtener un rendimiento

económico. Estas categorías se han establecido con los siguientes valores: bajo, menos de 20 ppm; medio, entre 21 a 40 ppm; y alto, mayores de 41 ppm de N disponible.

La relación entre aumento de rendimiento y fertilización con cuatro dosis de N se observa en la Figura 6.3. La aplicación de 100 kg de N/ha, en un suelo con bajo contenido de N (12 ppm), incrementó el rendimiento en 24 qq/ha, mientras que con la dosis de 200 kg de N/ha se obtuvo un diferencial de 31 qq/ha.

Figura 6.3 Respuesta de avena a aplicaciones de nitrógeno.



Experimentos realizados en suelos trumaos de la IX región para evaluar la influencia de la dosis de N sobre el rendimiento y componentes de calidad de la avena demostraron una relación positiva con el contenido de proteína del grano. Si la avena se fertiliza con 100 kg N/ha, el rendimiento aumenta desde 27 a 53 qq/ha y con 200 kg N/ha se obtienen 62 qq/ha (Cuadro 6.2), cuando la disponibilidad del P en el suelo está en un rango superior a 10 ppm (Peyrelongue, 1991). A su vez, con el aumento desde 100 a 200 kg de N/ha la proteína del grano aumenta de 7,9 a 11%, lo que implica mejor calidad y mejor precio del producto, aunque el peso del hectolitro se mantiene estable.

La deficiencia de N se manifiesta por un menor desarrollo de las plantas y del sistema radicular, como también por una menor producción de macollos y una coloración verde amarilla de las hojas basales, que se extiende hacia las hojas nuevas.

Cuadro 6.2 Rendimiento de grano, proteína, y peso del hectolitro con tres dosis de nitrógeno.

Dosis de Nitrógeno kg/ha	Rendimiento de grano qq/ha	Aumento de rendimiento %	Proteína del grano %	Incremento de proteína %	Peso hectolitro kg/hl
0	27	0	7,9	0,0	48
100	53	50	8,9	11,2	48
200	62	56	11,0	28,2	48

Peyrefongue, 1991.

El incremento de producción, con cantidades crecientes de fertilización, disminuye la eficiencia del fertilizante nitrogenado aplicado a medida que se incrementa el rendimiento.

En cuanto al precio de la avena grano, es variable entre años, dependiendo en gran medida de las exportaciones, por lo cual la dosis de N más rentable está fuertemente influida por la relación insumo producto I/P (costo de la unidad de N y valor del kg de avena). Considerando esta condición, la dosis recomendable de aplicación de N fluctúa entre 100 y 150 kg/ha, cuando el N varía de bajo (< 20 ppm) a medio (21 a 40 ppm), respectivamente.

6.6.2 Forma y épocas de aplicación de nitrógeno

Es recomendable aplicar el N de tal manera que esté disponible, en la cantidad requerida, en todas las etapas de desarrollo de la planta, y que al mismo tiempo tenga las menores pérdidas posibles por lixiviación, debido a las aguas lluvias.

En siembras invernales, es conveniente parcializar la dosis total de N aplicando 1/3 a la siembra y 2/3 al inicio de la macolla, con el fin de aumentar la producción de macollos y evitar las pérdidas por lixiviación. También, en zonas de alta pluviometría es posible parcializar la segunda aplicación en 1/3 a inicio de macolla 1/3 un mes después. Cuando se fertiliza con la dosis total de N al momento de la siembra, disminuye la eficiencia de este nutriente y puede producirse una mayor infestación de malezas.

Dosis superiores a 30 kg de N/ha aplicadas al surco de siembra, al quedar en contacto con la semilla pueden afectar la germinación de la avena por el efecto salino y exceso de NH_3 del fertilizante. Cuando las hojas tienen alto contenido de humedad no es conveniente aplicar salitre sódico, debido a la deshidratación de éstas causada por la

salinidad del fertilizante. Un efecto similar se produce al aplicar urea perlada por la adherencia de partículas finas del fertilizante en las hojas del cultivo.

Un requisito básico para obtener una buena respuesta al N es que el P u otro nutriente no sea limitante de la producción.

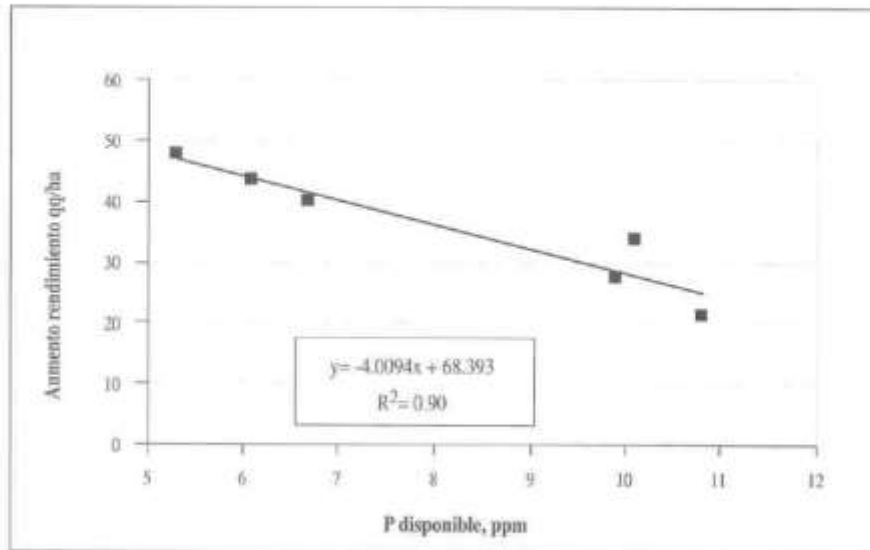
6.6.3 Fósforo

En suelos utilizados para producción de avena, generalmente de origen volcánico, se debe fertilizar con la dosis de P requerida, de acuerdo a la disponibilidad de este nutriente en el suelo.

Generalmente los suelos trumaos tienen baja disponibilidad de P (< 8 ppm de P-Olsen). Éste debe ser determinado con un análisis de suelo antes de la siembra, para así aplicar la dosis óptima económica. La eficiencia del P como fertilizante fluctúa entre 8 y 15% con relación a la dosis utilizada. Una fracción importante del fósforo aplicado y no utilizado por la planta (P residual) queda en la fracción no disponible inmediata, y una pequeña proporción aumenta el P disponible del suelo y también de la solución del suelo. En estudios realizados por Rodríguez *et al.* (1999) con cultivos sembrados convencionalmente, incluidos en rotaciones de largo plazo, en suelos de Precoordinera y Llano Central de la VIII Región, se determinó que para aumentar en 1 ppm la disponibilidad de P en el suelo es necesario aplicar 178 kg de P_2O_5 /ha en rotaciones que incluyen praderas, y 238 kg de P_2O_5 /ha en rotaciones sólo con cultivos.

En tanto, en ensayos de calibración de P en el área de producción de avena se obtuvo una buena asociación entre el valor de P Olsen con el aumento de rendimiento de grano de avena. Se observa una relación lineal inversa entre la disponibilidad de P y el rendimiento del cultivo (Figura 6.4).

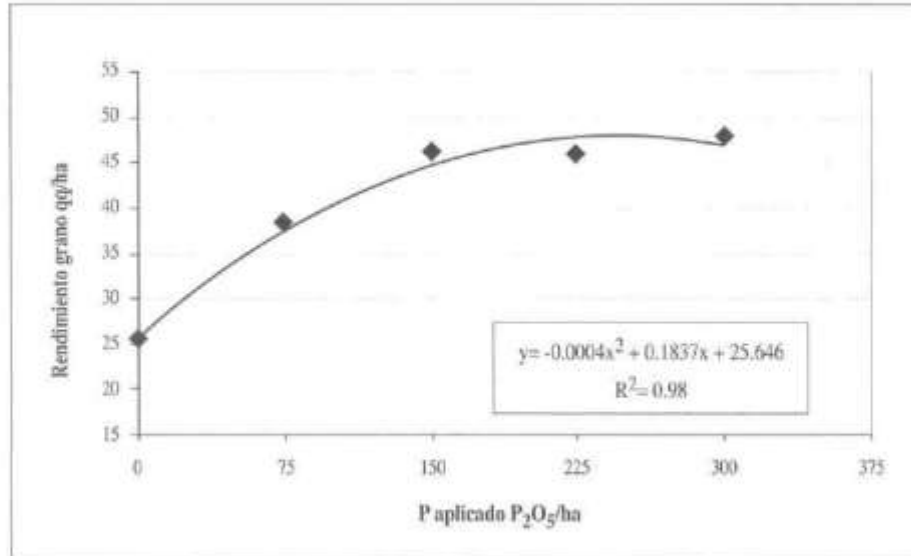
Figura 6.4 Relación entre disponibilidad de fósforo en el suelo y el aumento de rendimiento en avena.



Si el valor de P del suelo es de 5 a 8 ppm, el rendimiento aumenta entre 50 y 30% respectivamente, y disminuye cuando la disponibilidad del fósforo aumenta hasta 11 ppm (Figura 6.4). Esta relación entre P del suelo y aumento de rendimiento permite ajustar la fertilización fosforada basándose en el contenido de P del suelo, tendencias similares fueron obtenidas por Peyrelongue (1991).

También se estudió la respuesta de la avena a dosis de P fertilizante. En suelos de baja disponibilidad de P (6 ppm de P Olsen) se determinó un aumento de rendimiento de grano con la aplicación de P hasta 150 kg de P_2O_5 /ha (Figura 6.5). Basados en estos antecedentes, la dosis económica de aplicación de fósforo se encuentra en el rango de 75 a 150 kg de P_2O_5 /ha. La dosis a aplicar en siembras comerciales deberá ajustarse en base a la disponibilidad de P en el suelo y a las expectativas de precio del grano a la cosecha.

Figura 6.5 Respuesta de avena a la aplicación de fósforo.



Los fertilizantes fosforados (superfosfatos de 40 a 48 % de P₂O₅) de uso común en fertilización de avena tienen similar eficiencia de utilización a igualdad de unidades aplicadas, no encontrándose grandes diferencias entre ellos cuando se aplican en el surco al momento de la siembra. Si se fertiliza al voleo y la disponibilidad de P del suelo es baja, la eficiencia de utilización disminuye entre un 20 y 30%.

6.6.4 Potasio

El requerimiento de K de la avena es inferior a otras especies, como leguminosas de grano y forrajeras. No hay información nacional sobre la respuesta de avena a dosis de K, pero se estima que un valor de análisis de suelo inferior a 40 a 50 ppm de K disponible, indica que la disponibilidad de este nutriente es insuficiente para obtener un alto rendimiento de grano.

En rotaciones intensivas de cultivos en suelos trumaos, sin fertilización con K, se ha observado que en un plazo de seis años la disponibilidad disminuye a valores inferiores a 50 ppm de K (Rodríguez *et al.*, 1993). En estas condiciones existe una alta probabilidad de respuesta del cultivo a la fertilización con potasio.

El K para ser absorbido por las raíces necesita de adecuada humedad en el suelo. Si el suministro de este nutriente es insuficiente, la planta requerirá de altas cantidades K disponible. Caso contrario, la planta disminuye su crecimiento y manifiesta deficiencia de este elemento (McNeill y Frey, 1969), que en suelos trumaos puede corregirse con la aplicación de 50 a 70 kg de K_2O / ha. Whitney (1966) indica no haber encontrado respuesta a dosis de K incluso en aquellos suelos con valores deficientes de K. Una buena nutrición con K incrementa el número de macollos. La intensidad de uso del suelo, a través de rotaciones extractivas de nutrientes y altas producciones que no han sido fertilizadas con K, pueden presentar insuficiente disponibilidad de este elemento cuando el suelo se ha fertilizado con N y P, y el rendimiento obtenido es alto.

6.7 NUTRIENTES SECUNDARIOS Y MICRONUTRIENTES

La avena tiene bajos requerimientos de Ca y Mg, debido a su escasa sensibilidad a la acidez del suelo. La deficiencia de S no es común en suelos trumaos, pero puede presentarse en aquellos bajos (<10%) a muy bajos (<5%) en materia orgánica, como los rojos arcillosos y arenosos. El nivel crítico de análisis de suelo se estima en 16 ppm de S, e indica que con valores inferiores se espera respuesta y se recomienda fertilizar con este nutriente. La deficiencia de S puede corregirse aplicando 10 a 20 kg de S/ha en la forma de sulfato, generalmente yeso agrícola (sulfato de calcio 18% de S), de acuerdo a la magnitud de la deficiencia.

En Chile no se ha reportado deficiencias de micronutrientes en avena, ni respuesta a la aplicación de ellos. En otros países, la principal deficiencia de micronutrientes en este cereal corresponde a Mn, que no es común en las áreas de producción de las regiones VIII a la IX. Esta deficiencia, y de la mayoría de los micronutrientes, está asociada a suelos de alto pH, en los cuales el porcentaje de materia orgánica también es elevado.

También se señala que la avena es susceptible a deficiencia de Zn y B, para ambos se establece un nivel crítico de 1 ppm. Cuando se determina la deficiencia de estos nutrientes es imprescindible corregirla y tener la precaución de efectuar aplicaciones con las dosis adecuadas que no produzcan toxicidades, las que se manifiestan por decoloración generalizada de las hojas. La aplicación de estos micronutrientes requiere de cuidados especiales, como la distribución uniforme y homogénea, cuando se aplican en el surco de siembra.

6.8 MÉTODOS PREDICTIVOS DE DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

El análisis de suelo es el método generalizado para estimar el nivel nutricional de éstos. Los más usados son calibración y balance nutricional. El método de calibración predice el aumento de rendimiento de la avena a diferentes dosis de un determinado nutriente, basado en el resultado del análisis de suelo. La recomendación de la dosis se expresa en un rango, y es válida para un área agroecológica determinada con clima, suelo y rendimientos similares. Los valores analíticos se dividen en categorías: bajo (mayor respuesta), medio y alto (menor respuesta). La metodología analítica es igual para todos los laboratorios en Chile e incluye macronutrientes (N, P, K), nutrientes secundarios (Ca, Mg, S) y micronutrientes (Zn, B, Cu, Mn, Fe).

Para estimar la acidez del suelo se analiza el pH agua y el Al de intercambio que se expresa como PSAI con respecto a la CICE.

El método de balance nutricional considera que las plantas generan demandas de nutrientes para satisfacer sus necesidades, las que no siempre pueden ser aportadas por el poder de suministro del suelo, lo cual genera un déficit de nutrientes que debe ser corregido con una adecuada fertilización, y así poder obtener producciones óptimas. Además, el cultivo no recupera en un 100% el fertilizante suministrado, ya que existen una serie de pérdidas en su interacción con el suelo. Por ello, se debe considerar una cierta eficiencia de la fertilización para cada uno de los agrosistemas. Esta eficiencia está determinada por las interacciones suelo-fertilizante y cultivo-fertilizante. Así, las normas de fertilización están dadas por la demanda de nutrientes del cultivo, el suministro de nutrientes del suelo y la eficiencia de la fertilización (Rojas, 2003).

LITERATURA CITADA

- Adams, F. 1956. Response of crops to lime in Alabama. Bull. 301. Alabama Agr. Exp. Sta. Alabama, USA.
- Alam, S.M., and W. A. Adams. 1979. Effect of soil pH on the growth and mineral content of oats. *Pakistan Journal Science Research* 22(3): 471-151.
- Besoain, E. 1985. Los suelos. p. 25-106. *In*: J. Tosso (ed.), Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Bowen, W. T. 1983. Crop response to initial and maintenance lime applications over those crop rotations cycles. M.S. thesis. Cornell University. Ithaca, New York, USA.
- Campillo, R., y Sadzawka, A. 1992. Influencia del carbonato de calcio y dosis de fósforo sobre una pradera permanente, evolución de parámetros productivos y químicos del suelo. *Agríc. Téc. (Chile)* 52: 381-387.
- Campillo, R., y Sadzawka, A. 2003a. La acidificación y su impacto en la degradación de los suelos. p. 80-90. Serie Carillanca N° 75. *In*: R. Campillo (ed.), Técnicas para el manejo de los recursos naturales en el Programa de Recuperación de Suelos Degradados en la Novena Región. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación, Carillanca, Temuco, Chile.
- Campillo, R., y Sadzawka, A. 2003b. Uso de enmiendas calcáreas para la recuperación de suelos acidificados. p. 91-105. Serie Carillanca N° 75. *In*: R. Campillo (ed.), Técnicas para el manejo de los recursos naturales en el Programa de Recuperación de Suelos Degradados en la Novena Región. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación, Carillanca, Temuco, Chile.
- Doll, E. C. 1964. Lime for Michigan soils. Bulletin 471. Michigan Agricultural Station Extension, Michigan, USA.
- Frageria, N. K., V. C. Baligar, and R. J. Wright. 1988. Aluminum toxicity in oats plants. *J. Plant Nutr.* 11: 303-319.
- Lathwell, D. J., and W. S. Reid. 1984. Crop response to lime in the northeastern United States. p. 305-332. *In*: F. Adams (ed.), Soil Acidity and liming. 2nd. ed. Agronomy Monograph. 12. American Society of Agronomy, Crops Science Society of America and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- McNeil, M. J., and K. J. Frey. 1969. Root and foliage growth of oats at several levels of fertility and moisture. *Agr. J.* 61: 461-464.
- Peyrelongue, A. 1991. Fertilización de avena para producción de grano en Andisoles de la IX Región de Chile. 24 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Carillanca, Temuco, Chile.

- Peyrelongue, A. 1994. Manejo de la fertilización de avena para producción de grano en suelos ácidos del Sur de Chile. p. 60. *In*: Second South American Oats Congress. octubre 5. Porto Alegre, Passo Fundo, Brasil.
- Robertson, W. K., J. R. Neller, and F. D. Bartlett. 1954. Effect of lime on the availability of phosphorus in soils of high to low sesquioxide content. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 18: 184-187.
- Rodríguez, N., Chavarría, J. y Belmar, C. 1982. Efecto residual del fósforo aplicado al cultivo de remolacha sobre el rendimiento de trigo. *Investigación y Progreso Agropecuario Quilamapu* N°12. p. 22-23.
- Rodríguez, J. 1993. Enmiendas calcáreas. p. 117-125. *In*: J. Rodríguez, y J. Donoso (eds.). *Manual de Fertilización*. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Rodríguez, N., Chavarría, R. y Ruz, E. 1993. Comportamiento del trigo a la aplicación de potasio en una rotación trigo-lenteja. P. 220. 44° Congreso Anual de la Sociedad Agronómica de Chile, Valdivia, Chile. 17-19 Nov. Sociedad Agronómica de Chile. *Simiente* 63(4):220 (Resumen).
- Rodríguez, N., Ruz, E. y Belmar, C. 1999. El efecto de largo plazo de distintas rotaciones de cultivos en la materia orgánica y nutrientes en suelos volcánicos de la Precordillera Andina de la VIII región de Chile. P.392. *In*: 50° Congreso Agronómico, 14° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. 9° Congreso Nacional de las Ciencias del Suelo. Pucón, Chile. 8-12 Nov. 1999. Sociedad Agronómica de Chile, Santiago, Chile.
- Rojas, C. 2003. Criterios de estimación de las necesidades de fertilización en cultivos y praderas. p. 19-46. *Serie Carillanca* N° 75. *In*: R. Campillo (ed.). *Técnicas para el manejo de los recursos naturales en el Programa de Recuperación de Suelos Degradados en la Novena Región*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Carillanca, Temuco, Chile.
- Ruz, E., Rodríguez, N. y Velasco, R. 1995. Análisis de la política de precios agrícolas y su impacto en los cambios de uso del suelo. Efectos en parámetros de sustentabilidad en la precordillera andina de la provincia de Ñuble. *Convenio de Cooperación Agrícola INIA-IICA. Proyecto IICA-GTZ*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Sadzawka, A., y Campillo, R. 1993. Problemática de la acidez de los suelos de la IX Región. I. Génesis y características del proceso. *Investigación Agropecuario Carillanca (Chile)* 3: 3-7.
- Tejeda, H. 1970. Factores que afectan la mineralización del nitrógeno en suelos trumaos. *Agríc. Téc.(Chile)* 30: 126-132.

FERTILIZACIÓN DE AVENA EN LA REGIÓN CENTRO SUR Y SUR DE CHILE

- Withney, D.L. 1966. Oat fertilization experiments summary, 1963-1965. Fact Sheet Ag-48K. Iowa State University, Ames, Iowa, USA.
- Zunino, H., y Borie, F. 1985. Materia orgánica y procesos biológicos en suelos alofánicos. p. 435-490. *In*: J. Tosso (ed.). Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.