



Producción de Trigo Harinero para el Borde Costero de La Araucanía.

EDITOR: Ricardo Campillo R.

BOLETIN N° 281

Temuco, Diciembre de 2013

Directora Regional INIA Carillanca:

Elizabeth Kehr Mellado.

Editor:

Ricardo Campillo R., Ing. Agrónomo M.Sc.

Autores:

Ricardo Campillo R., Ing. Agrónomo M.Sc.

Claudio Jobet F., Ing. Agrónomo Ph.D

Rafael Galdames G., Ing. Agrónomo Dr.

Nelson Espinoza N., Ing. Agrónomo M.Sc.

Comité Editor:

Patricia Navarro, Ing. Agrónomo, M.Sc. Ph.D, Subdirectora I&D INIA Carillanca

Lilian Avendaño Fuentes, Periodista, Licenciada en Comunicación Social

Boletín INIA N° 281

ISSN: 0717-4829

Campillo, R. Producción de Trigo Harinero para el Borde Costero de La Araucanía. Publicación editada en el contexto del proyecto CORFO: "Difusión del Paquete Tecnológico del Cultivo de Trigo Harinero con énfasis en la Tecnología de Fertilización para el Borde Costero, Región de La Araucanía".

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional Carillanca, km 10 camino Cajón Vilcún, comuna Vilcún. (45) 2 297100, Ministerio de Agricultura. Prohibida la reproducción parcial o total de la obra sin permiso de INIA.

Diseño y Diagramación: Ramón Navarrete D.

Impresión: Imprenta América

Cantidad Ejemplares: 500



PRÓLOGO

El Borde Costero de la Región de La Araucanía está constituido por las comunas de Carahue, Saavedra, Teodoro Schmidt y Toltén, que abarcan una superficie total de 3.251,7 km², con una población de 65 mil 395 habitantes, de los cuales el 62,7% es rural y un 46,6% es mapuche.

El trigo harinero ocupa 7.800 ha, y representa el segundo cultivo más importante en superficie después de la papa. Durante la temporada 2012-2013 la Región de La Araucanía alcanzó una superficie sembrada de 266.192 ha de cultivos anuales, de las cuales el trigo alcanzó 105.528 ha, con un promedio de rendimiento de 54.8 qqm ha⁻¹. Sin embargo, los rendimientos del Borde Costero están por debajo del promedio regional y sólo bordean los 35 qqmha⁻¹.

El cultivo de trigo forma parte importante de la rotación de cultivos del sistema productivo en el Borde Costero de La Araucanía. En la actualidad el sector triguero de nuestra región no es competitivo y es altamente vulnerable a la competencia de las importaciones, debido a la estructura productiva, expresada en la pequeña escala de producción y los altos costos de aplicación de insumos, como son los fertilizantes. Adicionalmente, en los últimos años se ha podido constatar una gran diversidad de recomendaciones técnicas en el medio agrícola respecto al manejo de la fertilización nitrogenada del trigo, incluyendo dosis anuales, fuentes y parcializaciones.

En razón de la importancia del tema, se implementó el proyecto INNOVA CORFO ***“Difusión del paquete tecnológico del cultivo de trigo harinero con énfasis en la tecnología de fertilización para el Borde Costero, Región de La Araucanía”***, que planteó transferir y difundir conocimientos para el adecuado diagnóstico nutricional del suelo y la definición de fórmulas de fertilización del cultivo de trigo harinero, para optimizar la gestión del nitrógeno en cultivares de trigo-INIA de alto



potencial de rendimiento, buscando armonizar la productividad y calidad del grano producido. Este tema tiene gran relevancia en el Borde Costero por la superficie dedicada al rubro, por el desconocimiento que existe actualmente entre los productores de trigo sobre la tecnología y gestión adecuada de los fertilizantes nitrogenados y por las brechas productivas y de calidad que limitan la productividad del cultivo de trigo.

Mediante la difusión de tecnologías de fertilización validadas para cultivares de trigo harinero de alto potencial de rendimiento implementadas por este proyecto, se incrementó la productividad y rentabilidad del cultivo de trigo de productores insertos en las comunas del Borde Costero de La Araucanía.

Estos resultados demuestran que una gestión más eficiente de la fertilización nitrogenada de trigos de diferentes hábitos de desarrollo, permite aprovechar en mejor forma las potencialidades del ambiente (clima y suelo) existentes en el territorio, transformando al cultivo de trigo en una nueva e importante alternativa de negocio para los productores de la zona indicada.

En tal sentido, este boletín contribuirá a difundir y masificar el paquete tecnológico definido por INIA, con el fin de optimizar la producción de trigo harinero en el Borde Costero de nuestra Araucanía.

Ricardo Campillo R.



ÍNDICE





CAPITULO 1.

ESTRATEGIAS DE CORRECCIÓN DE SUELOS ACIDIFICADOS MEDIANTE ENMIENDAS CALCÁREAS

Ricardo Campillo R. Ing Agrónomo M. Sc.

rcampill@inia.cl

1. Introducción.

Los fenómenos naturales relacionados a la declinación de la fertilidad y acidificación del suelo pueden ser acelerados con la práctica de la agricultura. Así, una agricultura intensiva, muy extractiva y sin reposición de bases, unido a la utilización masiva de fertilizantes acidificantes, ha agudizado y acelerado la manifestación de este fenómeno natural en los suelos.

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 de aluminio, manganeso e hidrógeno y la deficiencia de nutrientes esenciales, especialmente calcio, magnesio, fósforo y molibdeno. Pero, el factor limitante del crecimiento más importante en estos suelos ácidos, es la toxicidad del aluminio soluble.

Esto cobra mayor validez en nuestra región por la gran superficie de cultivos anuales que presenta, principalmente cereales, que son muy demandantes de fertilizantes. Durante la temporada 2012-2013, la Región de La Araucanía alcanzó una superficie sembrada de 266.192 hectáreas de cultivos anuales, donde sólo el trigo alcanzó las 105.528 hectáreas con un promedio de 54.8qqm/ha.

2. Efectos del encalado en el suelo.

El encalado consiste en agregar cualquier compuesto de calcio al suelo, o bien de calcio y magnesio, el que debe ser capaz de reducir la acidez e incrementar el pH. El objetivo central de las enmiendas calcáreas es desplazar el aluminio intercambiable en las partículas del suelo y neutralizar el aluminio libre en la solución del suelo (Figura 1).

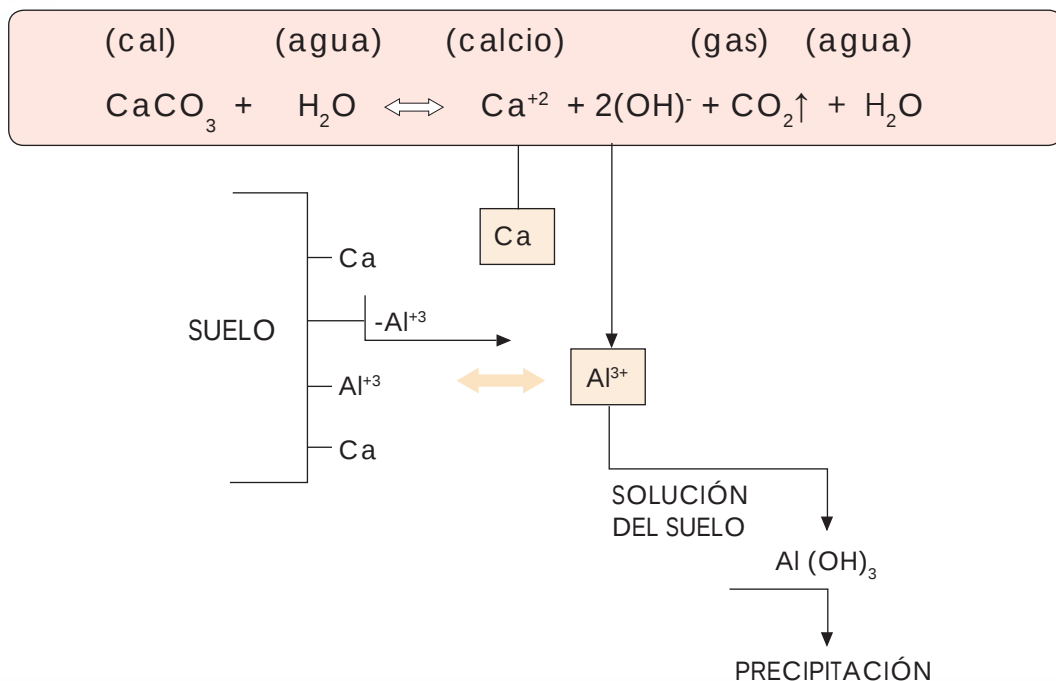


Figura 1. Esquema de la reacción de desplazamiento y neutralización del aluminio de intercambio por efecto del encalado.

Los mecanismos de reacción de los materiales encalantes permiten la neutralización de la acidez, esto al ponerse en contacto la cal con el agua del suelo. Por esta razón, la cal es efectiva solamente cuando existe humedad en el suelo. Adicionalmente, el efecto correctivo de la cal sólo afectará el volumen de suelo donde fue aplicada. Es interesante observar que el calcio proveniente de la disolución de la cal no interviene en las reacciones de incremento del pH. Este nutriente pasa simplemente a ocupar sitios en la superficie de las partículas del suelo y servirá como nutriente de las plantas.

Los iones hidrógeno (H^+) y aluminio (Al^{+3}) liberados a la solución de suelo por el intercambio con Ca, 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. De esta manera, el aluminio tóxico de la solución de suelo queda neutralizado y químicamente inerte.



En el ámbito agrícola se señala erróneamente a varios productos fertilizantes como correctores de la acidez del suelo por presentar contenidos importantes de calcio. Es el caso del yeso agrícola o sulfato de calcio ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) es un producto de reacción neutra. Se tiende a confundir como efecto alcalinizante el hecho de aportar calcio, pero esto no le permite neutralizar la acidez (hidrógeno (H^+) y aluminio (Al^{+3})) del suelo.

Una creencia similar ocurre con la utilización de rocas fosfóricas y del superfosfato triple como fertilizantes fosforados para los cultivos, debido a su aporte adicional de calcio. Al igual que el yeso, estos productos liberan lentamente el calcio como nutriente, pero no son capaces de neutralizar la acidez puesto que no producen iones OH^- y no son enmiendas calcáreas.

3. Clasificación y características de las cales agrícolas.

3.1. Óxido de calcio (CaO): conocido también como cal viva, es un polvo blanco, cáustico, muy difícil de manejar. Este producto se obtiene calcinando piedra caliza (900°C) y la pureza dependerá del material de origen. Cuando se aplica al suelo reacciona de inmediato, por lo cual es útil cuando se requieren resultados rápidos. Debido a sus características y como una forma de evitar daños, este material debe ser aplicado con cierta antelación y mezclado inmediatamente con el suelo, ya que se endurece rápidamente haciéndose inefectivo.

3.2. Hidróxido de calcio (Ca(OH)_2): se conoce también como cal apagada o cal hidratada. Es una sustancia blanca, polvorienta, y difícil de manejar. Se prepara hidratando la cal viva. Este material reacciona también rápidamente en el suelo. Cabe señalar que la cal viva y la cal apagada son productos que normalmente no se utilizan debido a su alto costo y a los riesgos que implica su manipulación en las actividades productivas.

3.3. Carbonatos o Cales Agrícolas: los productos más utilizados por su economía son los carbonatos. Se caracterizan por su baja solubilidad, que determina efectos relativamente lentos en el suelo, (uno a varios meses), dependiendo de la finura del material. Existen dos categorías generales de enmiendas calcáreas:

3.3.1. Carbonato de calcio: normalmente conocido como cal calcítica y cuya fórmula es CaCO_3 .

3.3.2. Carbonato doble de calcio y de magnesio: generalmente conocido como cal dolomítica y su fórmula es $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$.



Las cales calcínicas, dependiendo de su origen, pueden ser clasificadas como:

- **De origen minero.** Estas cales presentan bajos contenidos de humedad, pero con porcentajes de CaCO_3 levemente inferiores a las de conchas marinas, porque poseen mayor contenido de inertes.
- **Residuo o subproducto industrial (azúcar).** Las cales derivadas de la industria del azúcar poseen altos contenidos de humedad y menores porcentajes de CaCO_3 .
- **Moliendas de conchas marinas.** Las cales de conchas marinas poseen los mayores contenidos de CaCO_3 junto con contenidos muy bajos de humedad.
- **Minero industrial.** Calcitas con contenidos de óxido de calcio libre o hidróxido de calcio libre. Ambos productos son de alta solubilidad en agua y reaccionan inmediatamente en el suelo.

Las cales dolomíticas a su vez se pueden diferenciar por su contenido de magnesio en:

- Cal magnesiana, con un contenido de 5,1 a 12% de MgO .
- Cal dolomítica, con un contenido superior al 12% de MgO .

Cuando se evalúa la efectividad agronómica de las cales calcínicas respecto de las dolomíticas, es importante recordar que las calcínicas son el doble más solubles (50 mg/L) que las dolomíticas (25 mg/L), por lo cual su efecto corrector es más rápido.

A su vez, las cales dolomíticas presentan altos contenidos de magnesio (hasta 21% de MgO), el cual también debe ser valorado. En suelos con claras deficiencias de magnesio, las cales dolomíticas presentan ventajas comparativas, puesto que la aplicación de magnesio resultará en incrementos de rendimiento.

3.4 Selección del material encalante.

La calidad de los materiales encalantes depende principalmente de los siguientes factores:

- Grado de finura.
- Valor de neutralización.
- Contenido de otros nutrientes. Costos de producción, transporte y distribución.

3.5 Grado de Finura

Un factor de gran importancia en el encalado de los suelos es el grado de finura o tamaño de las partículas de cal a usar, relacionado con la medida de velocidad en la reacción de cal agrícola. Es decir, la velocidad de reacción de la cal en el suelo depende de la superficie del



producto en contacto con éste. Como el material calcáreo afecta un pequeño volumen de suelo alrededor de cada partícula de cal, mientras más fino es el material, tiene más superficie de contacto con el suelo para neutralizarlo y, por lo tanto, reacciona más rápido.

Cuando se utiliza calcita o dolomita es necesario asegurarse que el material sea molido a un tamaño de partícula adecuado. Las partículas gruesas de cal reaccionan más lentamente, mientras que las partículas finas lo hacen más rápidamente y en forma completa. El costo de la cal aumenta con el grado de fineza de la molienda. Lo ideal es utilizar un material que requiera un mínimo de molienda y que a la vez tenga una cantidad suficiente de material fino que permita un cambio rápido de pH.

El grado de finura es el factor más importante en la elección de un encalante. Las partículas mayores de 2 mm se consideran totalmente inefectivas, entre 0,25 y 2 mm se clasifican como 50 % efectivas y las menores de 0,25 mm como 100 % efectivas. De acuerdo a estos antecedentes, se puede calcular la eficiencia relativa (ER) del grado de finura de un material encalante.

La velocidad del efecto encalante varía notablemente en función del tamaño de las partículas. Al mismo nivel de finura, las calcitas exhiben mayor efecto que las dolomitas, producto de su mayor velocidad de solubilización en agua (Cuadro 1).

Cuadro 1. Eficiencia relativa de calcitas y dolomitas según el grado de finura.

Finura (mallaje ASTM)*	Eficiencia relativa %	
	Calcitas	Dolomitas
20 - 60	19	11
60 - 100	50	25
100 - 200	85	39
>200	100	60

* ASTM: American Society for Testing Materials
Fuente: Suárez, (1994).

Se ha establecido que las cales con finura mayor a 100 mallas son de alta eficiencia agronómica, mientras que las partículas retenidas por malla 10 no tienen valor como enmienda (sin efectividad agronómica). Las partículas retenidas por malla 60 ya presentan limitaciones; en cambio, las partículas que pasan por malla 60 y superiores son de adecuada eficiencia.

La humedad del material encalante le resta efectividad al producto por varias razones. Tiene a diluir el porcentaje real de los componentes químicos presentes en el producto comercial, que corrigen la acidez del suelo. También elevan los costos de transporte y aplicación del producto y finalmente dificultan notoriamente su aplicación en terreno.

3.6 Valor de Neutralización

El valor de neutralización (VN) es la capacidad para neutralizar ácidos que tiene un producto encalante agrícola, que dependerá de su composición química y grado de pureza. Al valor de neutralización del carbonato de calcio puro se le ha asignado el valor 100% y sirve como punto de referencia para calificar el valor de neutralización de los materiales encalantes. Por ello, el VN se expresa como contenido de carbonato de calcio equivalente (CCE), en porcentaje. El CCE representa la cantidad equivalente de CaCO_3 puro, presente en el material encalante.

El valor de neutralización (VN) de algunos compuestos se presenta en el Cuadro 2. Se observa que mientras la cal calcítica tiene un VN de 100 % (equivalente a 100 kg de CaCO_3), la cal viva tiene un valor de 179 %, que es equivalente a 56 kg de producto cal viva. Esto significa que, por ejemplo, se requiere aplicar al suelo una cantidad mayor de cal calcítica que de cal viva para generar una corrección similar de pH.

Cuadro 2. Valor de neutralización (VN) de diferentes productos químicos puros, constituyentes de materiales encalantes.

Producto	Fórmula	VN (%)	Kg de producto equivalente*
Carbonato de calcio	CaCO_3	100	100
Carbonato de calcio y magnesio	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	109	92
Hidróxido de calcio	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	135	74
Oxido de calcio	CaO	179	56
Oxido de magnesio	MgO	250	40

*Cantidad (kg) de producto con un efecto similar a 100 kg de CaCO_3 puro.

Adaptado de Tisdale, Nelson y Beaton, 1985.

Sin embargo, se debe recordar que la eficiencia de un material correctivo es consecuencia de dos características: su reactividad y su efecto residual. El valor de neutralización debe considerar ambas condiciones. Por ejemplo, el hidróxido de calcio o el óxido de calcio tienen un mayor valor neutralizante y una gran eficiencia inicial, traducido en una mayor velocidad de corrección que las cales tradicionales. Sin embargo, su efecto residual o período de duración de la corrección de la acidez es menor. Ambas características del material encalante son antagónicas: a mayor reactividad, menor es el efecto residual y viceversa.

La expresión del contenido de agentes alcalinizantes de un material encalante se obtiene mediante el cálculo de su valor de neutralización (VN). Para ello, se obtiene el producto entre la fracción de cada componente de este material por su correspondiente VN (%) (Cuadro 3). El valor resultante constituye el contenido de CaCO_3 equivalente (CCE) del material encalante.



Cuadro 3. Cálculo del contenido de carbonato de calcio equivalente (CCE) de un material encalante.

Componentes	Contenido %	Valor fraccional	VN %	CCE %
CaCO ₃	75	0,75	100	75,0
CaCO ₃ * MgCO ₃	4	0,04	109	4,4
Ca(OH) ₂	6	0,06	135	8,1
CaO	5	0,05	179	9,0
Agua	10	0,10	0	0,0
Inertes	5	0,05	0	0,0
Total	100	1,0		91,5

De acuerdo a la granulometría del material encalante, se ha definido el Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT). Este PRNT será función del valor de neutralización (VN) y de la eficiencia relativa (ER) o grado de finura del material correctivo:

$$\text{PRNT} = (\text{VN} * \text{ER}) / 100$$

Esto significa que una enmienda con un valor de neutralización (VN) de 95% y una eficiencia relativa (ER) de 88 % tiene un poder relativo de neutralización total (PRNT) de 84 %. Cuando se realizan los cálculos de necesidades de un determinado material encalante se asume que dicho material posee un PRNT de 100%. De acuerdo a esto, la recomendación de la dosis de cualquier material encalante debe corregirse en función del valor de PRNT calculado:

$$\text{Dosis enmienda} = (\text{Dosis recomendada} * 100) / \text{PRNT}$$

3.7 Aporte de otros elementos.

La dolomita es la fuente más barata para corregir una deficiencia de magnesio. Es importante considerar que en suelos con bajos contenidos de bases, la aplicación de grandes cantidades de enmiendas calcáreas puede provocar un desequilibrio entre el calcio y el magnesio, induciendo así una deficiencia de magnesio.

3.8 Costos de producción, distribución y aplicación.

El costo de producción está ligado al grado de elaboración industrial de la enmienda. El carbonato de calcio es la enmienda calcárea más barata porque requiere solamente una molienda. El óxido de calcio es más caro, ya que debe sufrir un proceso de calcinado.

Una adecuada comparación de enmiendas calcáreas requiere considerar el contenido de humedad, contenido y tipos de carbonatos, óxidos e hidróxidos y finura del material. El contenido de agentes alcalinizantes se obtiene mediante el cálculo de su eficiencia relativa

(base CaCO_3 igual a 100). Para ello se multiplica la fracción de cada componente por su valor alcalinizante (ver Cuadro 3). El valor resultante es el porcentaje de CaCO_3 equivalente: a mayor valor, mayor es la magnitud del efecto encalante. Los porcentajes de CaCO_3 equivalentes y otras características de interés de las principales cales agrícolas existentes en el mercado se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Contenido de CaCO_3 equivalente y otras características relevantes de algunas cales comerciales.

Producto comercial	Contenido de CaCO_3 equivalente %	Características del material
CAL IANSA	58	30% de humedad; terrones (por compactación); presenta nutrientes (N, P y otros) al igual que el fango
MAGNECAL	98	Contiene Mg (hasta 15% de MgO); producto seco y de alta finura
SOPROCAL	90	Presenta 0,6 a 1,2% de Ca(OH)_2 (rapidez). Contiene 0,6 a 1,2% de MgO . Seco y de alta finura
CONCHAS MOLIDAS	95	Finura similar a otros productos. Humedad baja a muy baja. Bajo contenido de inertes

Fuente: Suárez, (1994).

3.9 ¿Cuál es la época correcta para encalar el suelo?

El material calcáreo debe ser aplicado en su totalidad en una sola oportunidad. Se ha demostrado que su parcialización en varios años no ofrece ventajas. Al contrario, se deja de elevar los rendimientos en los primeros años y se encarece la utilización, debido al mayor número de aplicaciones.

Las reacciones de neutralización de la cal exigen que el material se hidrolice previamente, determinando que se deba aplicar la cal en un suelo húmedo antes de la siembra. Si no existe humedad en el suelo las reacciones de neutralización no se producirán.

El efecto correctivo de las cales requiere de algún tiempo (uno o más meses) para manifestarse en forma significativa (tiempo de incubación), debido que son materiales poco solubles y no reaccionan de inmediato en el suelo. Por ello, estos materiales **deben ser incorporados en la capa arable (20 cm de profundidad)**, donde se concentra la mayor proporción de raíces de los cultivos.

El período de incubación de estos materiales encalantes es variable y dependerá de la solubilidad del material, temperatura y humedad existente en el suelo. De esta manera, es posible extender su efecto en la capa arable del suelo. En el caso de usar cal calcítica se debe aplicar ojalá 30 a 45 días antes de la siembra. Respecto de la cal dolomítica, como es



de menor solubilidad y más lenta que la cal anterior, debe ser aplicada tres a cuatro meses previo a la siembra del cultivo.

3.9.1 ¿Cómo Aplicar el Encalado?

Una aplicación uniforme y eficiente de la enmienda calcárea se logra aplicando la mitad de la dosis al terreno, previo a la aradura, y el resto de cal antes del rastraje del suelo. La incorporación de la enmienda con la aradura permitirá distribuir el material uniformemente y a la mayor profundidad posible. En el caso de incorporar la cal con una rastra, la reacción del calcio se localizará en los primeros 10 a 15 cm de profundidad. Debe recordarse que este efecto benéfico se circunscribe sólo a la zona de aplicación, puesto que el calcio es retenido por el suelo y es muy poco móvil.

En siembras de cereales con cero labranza ocurre un efecto similar a la aplicación del encalado en cobertera sobre la pradera permanente. En este caso el efecto correctivo de la enmienda se concentra solamente en los primeros 5 cm del suelo. Es evidente que esta corrección superficial es insuficiente para eliminar las limitaciones de acidificación en el suelo, para el crecimiento adecuado de las raíces de los cultivos anuales.

Cuando se quiere iniciar un sistema de cero labranza o siembra directa, es fundamental realizar previamente un análisis nutricional completo del suelo para definir las dosis correctivas de enmienda que se deben aplicar al suelo para eliminar completamente cualquier limitación por acidez. Posteriormente, sólo se deberá complementar este manejo con un encalado de mantención en cobertera, con dosis bajas cada dos a tres años, sobre la rotación de cultivos.

La duración del encalado dependerá del tipo de suelo, precipitación durante el invierno, cantidad de enmienda aplicada y tasa de acidificación producida en ese suelo. En términos generales, **luego de tres años se pierde el 50% del efecto inicial del encalado.**

3.9.2 Determinación de los requerimientos de encalado

La decisión de encalar dependerá de las características del suelo y de la especie o variedad de cultivo. En condiciones de elevada acidez de suelo, se solubiliza una gran cantidad de aluminio activo que puede alcanzar niveles tóxicos, dependiendo de la variedad y especie de planta y del tipo de suelo en que se desarrollen.

La tolerancia de los cultivos a la concentración de aluminio (Cuadro 5), puede deberse a su capacidad para reducir su absorción o para disminuir su actividad luego de su absorción por las raíces. Cultivos como centeno y papa son tolerantes a la actividad del aluminio, presentando productividades adecuadas a pesar de concentraciones altas de aluminio. En cambio, existen otros cultivos como remolacha, cebada y alfalfa que son muy sensibles a la concentración de Al^{+3} y cuya productividad se deprime marcadamente en suelos ácidos. El aluminio de la solución del suelo provoca necrosis en las raíces, afectando su capacidad de absorción

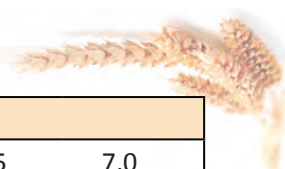
de nutrientes y agua, disminuyendo fuertemente el crecimiento y provocando la aparición de síntomas de deficiencias nutricionales.

Cuadro 5. Niveles críticos y sensibilidad de las plantas al aluminio del suelo.

Especies	Saturación de Al %	Sensibilidad
Alfalfa Medicagos anuales Cebada Remolacha	1 – 5,0	Altamente sensibles
Raps Falaris Trigo	5,1 – 10,0	Sensibles
<i>Lupinus albus</i> Avena (algunas) Trébol blanco Trébol subterráneo Festuca Ballica Triticale (algunos)	10,1 – 20,0	Moderadamente tolerantes
Triticale (algunos) <i>Lupinus angustifolius</i> Pasto ovillo Avenas (algunas) Centeno Papa	20,1 – 30,0	Altamente tolerantes

Adaptado de Cregan, Scott and Cumming, (1986).

La estrategia recomendada para abordar la limitación de acidez de los suelos es reducir el aluminio tóxico disponible para las plantas mediante el encalado. La cantidad de enmienda usada debe ser la suficiente para reducir el aluminio de la solución de suelo a niveles no tóxicos. Sin embargo, se debe tener presente también que la toxicidad del aluminio es relativa, dependiendo del grado de sensibilidad o tolerancia del cultivo. Por esta razón, no es posible definir un nivel crítico único de aluminio en el suelo con el encalado, que sea válido para todas las especies y variedades de cultivo.



Cultivo	pH				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Ajo		←	→		
Alfalfa				←	→
Arveja		←	→		
Avena		←	→		
Ballicas		←	→		
Cebada			←	→	
Centeno	←	→			
Coliflor			←	→	
Lechuga			←	→	
Maíz ensilaje		←	→		
Papa	←	→			
Raps		←	→		
Remolacha			←	→	
Trébol blanco		←	→		
Trébol rosado			←	→	
Trigo		←	→		

Figura 2. Rangos adecuados de pH en agua de suelos ácidos para diferentes cultivos.

Adaptado de Rodríguez, 1993.

De igual manera, las especies tienen distintos requerimientos individuales de pH. Estos valores indican los rangos de pH en los cuales un cultivo en particular crece mejor. Sin embargo, ello no significa que un cultivo no pueda crecer fuera del rango indicado (Figura 2). Por ejemplo, el cultivo de trigo muestra un amplio rango de pH (5.4 a 7.0), dentro del cual se desarrolla sin grandes limitaciones. Esta amplia variación de pH se manifiesta por las distintas tolerancias que poseen los cultivares de trigo que se encuentran en el mercado.

Frente al encalado, los suelos presentan diferencias en su resistencia al cambio de pH. El poder tampón se define como la variación de pH que experimenta un suelo al agregar 1 ton/ha de carbonato de calcio.

En el Cuadro 6 se presenta el poder tampón de pH para diferentes asociaciones de suelos de La Araucanía, considerando 20 cm de profundidad.

Cuadro 6. Poder tampón de pH de agrupaciones de suelos derivados de cenizas volcánicas de La Araucanía.

Agrupación de suelos	Poder tampón de pH ($\Delta \text{pH (CaCO}_3 \text{ ton ha}^{-1})^{-1}$)
Ñadis	0,10
Andisoles (trumaos)	0,12
Transicionales	0,13
Ultisoles (rojos arcillosos)	0,15

3.9.3 ¿Qué Dosis de Cal Usar?.

La definición de la dosis de encalado para corregir la acidez del suelo dependerá de los siguientes factores:

- Tolerancia del cultivo a la acidez.
- Capacidad tampón de pH del suelo.
- Variación entre el valor inicial y final del pH o saturación de Al del suelo, según el cultivo.
- Composición y características de la enmienda calcárea aplicada.
- Profundidad del encalado.

No es posible generalizar dosis de encalado para todos los suelos, dado los diferentes factores que la están condicionando. Es importante reiterar que así como no existe un pH óptimo para todos los cultivos, tampoco existe una misma capacidad tampón para todos los suelos. De esta manera, la dosis de encalado variará en función a la tolerancia de los cultivos y también de acuerdo a la capacidad tampón de pH en los suelos.

El método más certero para definir la dosis de enmienda a aplicar en un suelo con limitaciones por acidez se basa en el parámetro de saturación de aluminio (%). Este criterio es más robusto e integrador puesto que engloba la suma de bases, el aluminio de intercambio y la CICE del suelo:

$$\text{Saturación de Aluminio (\%)} = (\text{Al de intercambio/CICE}) \times 100$$

El “Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios” (SIRSD-S), permite optar a la bonificación de encalado cuando el pH-H₂O es inferior a 5,8 en los suelos (desde la Región del Bío - Bío al norte), o cuando la saturación de aluminio es superior a 5% en los suelos (Región de La Araucanía hacia el sur). Para los productores agrícolas de La Araucanía se han establecido tablas de recomendaciones generales de dosis de enmiendas para diferentes rangos de saturación de aluminio (Cuadro 7).



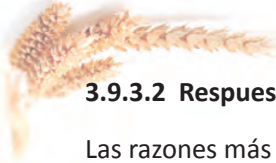
Cuadro 7. Dosis de carbonato de calcio necesario para corregir la saturación de aluminio hasta 5%, en los suelos de la Región de La Araucanía.

<i>Rangos de Saturación Al (%)</i>	<i>Andisol (Trumao) CaCO₃ Ton/ha</i>	<i>Ultisol (Rojoarcilloso) CaCO₃ Ton/ha</i>
≤ 5.0	0	0
5.1 – 7.5	0.5	0.4
7.6 – 10.0	1.0	0.8
10.1 – 12.5	1.4	1.2
12.6 – 15.0	1.8	1.5
15.1 – 17.5	2.2	1.8
17.6 – 20.0	2.5	2.1
20.1 – 22.5	2.8	2.4
22.6 – 25.0	3.2	2.7
25.1 – 27.5	3.5	3.0
27.6 – 30.0	3.8	3.2
> 30.1	4.0	3.5

Fuente: Campillo, R. y A. Sadzawka. 2010.

3.9.3.1 Beneficios del encalado.

- Aumenta el pH del suelo.
- Aumenta el nivel de calcio de intercambio en el suelo.
- Reduce la concentración de aluminio en la solución de suelo.
- Reduce la concentración de manganeso y hierro en la solución del suelo.
- Aumenta la disponibilidad de molibdeno (esto es variable según el tipo de suelo).
- Puede aumentar la utilización de fósforo por el sistema radical de las plantas.
- Favorece la nodulación de algunas leguminosas de zonas templadas cuando el pH del suelo es restrictivo.
- Favorece la presencia de microorganismos deseables y el reciclaje del nitrógeno del suelo y otros nutrientes, mediante el incremento de la actividad biológica.
- Permite un mejoramiento de la cantidad de lombrices de tierra, las que requieren un nivel de calcio superior al que está naturalmente presente en muchos suelos.



3.9.3.2 Respuestas erráticas del encalado.

Las razones más comunes de una respuesta errática al encalado son:

- Diagnóstico incorrecto del problema.
- Aplicación de cal sin la suficiente antelación a la siembra.
- Deficiencias de otros nutrientes esenciales para las plantas, como es el caso del fósforo.
- Tamaño de partículas del material encalante demasiado grueso.
- Luego de la aplicación del encalado en cobertera (caso de praderas establecidas), cualquier respuesta puede no ser medible antes de uno a dos años.

3.9.3.3 Peligros del sobreencalado.

El sobreencalado del suelo puede provocar una serie de problemas como:

- Deficiencia de magnesio.
- Reducción en la absorción de fósforo.
- Deficiencia de los micronutrientes cinc y boro.
- Deterioro de la estructura física del suelo.
- Reducción en la infiltración del agua.

La aplicación de dosis excesivas de enmiendas calcáreas constituye una práctica peligrosa que puede ser nociva para los cultivos, además de encarecer los costos de producción. No debe olvidarse que el objetivo básico del encalado es eliminar sólo aquella acidez tóxica provocada por el aluminio activo de la solución de suelo y no pretender neutralizar toda la acidez natural de los suelos derivados de cenizas volcánicas.



Literatura Consultada

Campillo, R. y A. Sadzawka. 2010. Encalado de los suelos. Caracterización y manejo de enmiendas calcáreas. p. 61-85. *In* R. Campillo R. (ed.) Manejo de los Recursos Naturales en el Sistema de Incentivos para la Recuperación de Suelos Degradados de La Araucanía. Serie Actas N° 38, Temuco, Chile.

Cregan, P.P., B.J. Scott and R.J. Cumming. 1986. Liming problem acids soils. Paginas Department of Agriculture, New South Wales, AGFAGTS.

Halvin, J. L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. 497 p. 6th.ed. Prentice Hall, New Jersey, USA.

ODEPA, 2013. Estadísticas Agropecuarias. Cultivos anuales, frutales y hortalizas. s/p. Departamento de Información Agraria, Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile.

Rodríguez, J. 1993. Enmiendas calcáreas. p. 117-125 *In* J. Rodríguez, J. y J. Donoso (eds.). Manual de Fertilización. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Suárez, D. 1994. Uso de cales y fertilizantes en praderas de la zona sur. p. 39-65 Serie B.-18, *In* L. Latrille, L. (ed.). Avances en Producción Animal. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal, Valdivia, Chile.

Tisdale, S.L., W.L Nelson and J.D. Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers. 4th. ed. Macmillan, New York, USA.





CAPÍTULO 2.

FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DE TRIGO EN EL BORDE COSTERO DE LA ARAUCANÍA, CON ÉNFASIS EN LA GESTIÓN DEL NITRÓGENO

Ricardo Campillo R. Ing. Agrónomo M. Sc.

La productividad y calidad del trigo en el sur de Chile, está condicionada por diversos factores donde el clima, la genética y el manejo del cultivo aparecen como los más relevantes. El mejoramiento genético ha estado principalmente orientado a la obtención de elevados rendimientos de grano y al desarrollo de variedades específicas para las diversas zonas agroecológicas del país. Por otra parte, es importante destacar que la productividad triguera nacional es la más alta del Cono Sur, sustentado en el empleo de variedades de alto potencial de rendimiento las que requieren un uso intensivo de fertilizantes.

Los altos rendimientos son resultado de condiciones ambientales, tecnología, manejo, capital e insumos. En la actualidad el sector triguero en Chile no es competitivo y es altamente vulnerable a la competencia de las importaciones debido a la estructura productiva, expresada en la pequeña escala de producción y los altos costos de aplicación de insumos, como son los fertilizantes. Desde el punto de vista del manejo, es común identificar prácticas agronómicas que se sostienen en el empleo de elevadas dosis de N para fertilizar el cultivo de trigo, que afectan su competitividad, potenciando las pérdidas por lixiviación del nutriente, incrementando la polución y poniendo en riesgo la sustentabilidad ambiental.

La utilización de cantidades altas de N que permitan expresar los potenciales de rendimiento de las variedades existentes actualmente en el mercado, requiere identificar y ponderar adecuadamente las diferencias en el poder de suministro de los suelos de la región, junto con un manejo cuidadoso y eficiente de la parcialización del nutriente. De esta manera, se reducen drásticamente las pérdidas por lixiviación durante el desarrollo del cultivo, evitando así la contaminación de napas freáticas subterráneas y su efecto nocivo sobre la salud humana.

Chile presenta comparativamente altos costos de insumos en fertilizantes y pesticidas, siendo uno de los factores de mayor incidencia en el costo total. En particular el ítem fertilizante representa un 40% de los costos directos en una situación de rendimiento medio (50 a 60 qqm/ha), aumentando por sobre el 50% en manejos de alto rendimiento (80 a 100 qqm/ha).

Aunque en el transcurso del año 2009 los precios de los fertilizantes volvieron a sus precios originales a consecuencia de la grave crisis económica internacional, es muy probable que en el mediano plazo (seis a diez años), el fenómeno se presente nuevamente, dada su dependencia al precio de los combustibles fósiles y su condición de recursos no renovables (Campillo, Jobet y Undurraga, 2010). Entre los insumos fertilizantes utilizados en el cultivo



del trigo, el fertilizante nitrogenado es normalmente el de mayor incidencia en los costos de producción.

La existencia en nuestro país de una economía de mercado abierta, ha propiciado el desarrollo de una agricultura cada día más intensiva y competitiva, donde normalmente se privilegia la relación costo/beneficio y el criterio económico por sobre el criterio técnico para la elección de los insumos fertilizantes y de las dosis utilizadas, favoreciendo así alta extracción de nutrientes e inadecuada reposición de bases al suelo.

Durante los últimos años se ha podido constatar una gran diversidad de recomendaciones técnicas en el medio agrícola de la región, respecto al manejo de la fertilización nitrogenada del trigo, incluyendo dosis anuales, fuentes y parcializaciones. Este fenómeno se ha visto potenciado por la amplia oferta de variedades nuevas, tanto certificadas por INIA como de la competencia, disponibles para los productores trigueros. Este tema tiene gran relevancia en el Borde Costero de La Araucanía por la importante superficie dedicada al rubro y por las brechas productivas y de calidad que se han manifestado. Durante la temporada 2012-2013 esta región tuvo una superficie sembrada de 266 mil 192 ha de cultivos anuales, de las cuales el trigo alcanzó 105 mil 528 ha, con un promedio de rendimiento de 54.8 qqm ha⁻¹.

1. Análisis de suelo.

Existen diferentes herramientas de diagnóstico de la fertilidad de los suelos. Sin duda la más certera y directa es la respuesta de la planta a la condición de suelo en donde se desarrolla. La respuesta productiva del cultivo estará condicionada por la disponibilidad de nutrientes en el suelo (fertilidad natural del suelo) y por el aporte de nutrientes como fertilizante que haga el productor (fertilización de producción).

El análisis de suelo es una herramienta indirecta que permite evaluar su fertilidad natural o disponibilidad de nutrientes. Para ello se analizan distintas fracciones de los nutrientes existentes en el suelo a partir de soluciones químicas. Cuando la agregación de un nutriente al suelo deja de producir aumentos de rendimiento, se dice que alcanzó un nivel crítico de disponibilidad de ese nutriente en el suelo. En general, el nivel crítico de un nutriente se define como el valor del análisis que divide los suelos en dos categorías:

- Suelos donde la probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes es alta (suelos de baja fertilidad).
- Suelos donde la probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizantes es baja (suelos de alta fertilidad).

Normalmente no se aplica fertilizante cuando se está sobre el “nivel crítico”.

Previo a la definición de la fertilización del cultivo se requiere efectuar un análisis de suelo completo para estimar el contenido de nutrientes disponibles, como base del plan de fertilización adecuado para cubrir los requerimientos del cultivo.



2. Necesidades nutricionales del cultivo de trigo.

Se ha establecido que la cantidad de nutrientes que requiere un cultivo es función directa del rendimiento esperado, del índice de suministro del nutriente del suelo y de la eficiencia de uso del fertilizante (Rodríguez, 1991). Así, cuanto mayor sea el rendimiento esperado, mayor será también la necesidad de nutrientes por el cultivo. Sin embargo, en el caso del cultivo de trigo, es fundamental considerar también la variedad y el hábito de crecimiento. En relación a la variedad se observan diferencias en la acumulación de proteínas del grano, indicando así variaciones en el requerimiento de nitrógeno (*N*) de la planta. Respecto al hábito de crecimiento, en general las variedades invernales generan mayores extracciones totales de nutrientes que las variedades primaverales, principalmente por su mayor permanencia en el suelo.

Otros factores que afectan la variabilidad en las necesidades nutricionales del cultivo de trigo son las propiedades físico-químicas del suelo, condiciones climáticas y el manejo agro-nómico. De esta forma, un mismo cultivar de trigo sembrado en diferentes sitios presentará también diferentes necesidades nutricionales para iguales niveles de rendimiento. Por ello, para definir las cantidades de nutrientes a aplicar en este cultivo y en otros cultivos, se deben considerar los factores que influyen en sus necesidades nutricionales. La dosis de fertilización se obtiene a partir del análisis de suelo y de la fertilización con diferentes nutrientes que son sugeridas por el laboratorio, a partir del análisis químico, del precultivo y del próximo cultivo a establecer.

El productor siempre busca aplicar la cantidad de nutrientes que le permita alcanzar los máximos rendimientos (óptimo físico). Sin embargo, la mayor eficiencia se obtiene con la dosis óptima económica, la cual varía según el precio del trigo y el precio del insumo fertilizante. Aplicaciones de nutrientes (fertilizantes), por sobre lo necesario, no se traducirán en mayor rentabilidad. De allí la importancia de calcular correctamente la dosis requerida por el cultivo.

La estrategia de fertilización se define en función del nutriente a usar, las características del suelo y el hábito de crecimiento del cultivo. En relación al nutriente, es importante precisar que el nitrógeno es el único elemento que debe ser aplicado en forma parcializada en todo tipo de suelo. Los demás elementos químicos (fósforo, potasio, magnesio, azufre) presentan mayor estabilidad en el suelo, por lo cual se pueden aplicar en una sola vez al momento de la siembra. Incluso, el potasio puede aplicarse en dos parcialidades siempre que se utilicen variedades de hábito invernal o alternativo.

El cultivo de trigo se caracteriza por su alto requerimiento de nitrógeno (*N*) y potasio (*K*), además de otros nutrientes esenciales como fósforo (*P*), azufre (*S*) y calcio (*Ca*). En general, el *N* y *K* representan cerca del 80 % del total de los nutrientes en las plantas, el *P*, *S*, *Ca* y el *Mg* en conjunto constituyen el 19 %, mientras que el total de los micronutrientes constituyen menos del 1%.



2.1 Gestión del N en la productividad y calidad del cultivo de trigo.

El N juega un rol fundamental en el metabolismo de la planta, puesto que sobre el 90% del N de la planta está como proteína. El grano maduro de trigo presenta hidratos de carbono (el almidón que domina ampliamente, azúcares y celulosa), proteínas, minerales, grasa y vitaminas. Su mayor contenido corresponde al endosperma, parte productora de harina.

La deficiencia de N en las plantas reduce notoriamente la tasa de crecimiento. En el caso de los cereales el macollaje es pobre y el área foliar es pequeño; el número de espigas por unidad de área junto con el número de granos por espiga son reducidos. Como este nutriente es un componente de la clorofila, su deficiencia se visualiza como amarillamiento o clorosis de las hojas, apareciendo primero en las hojas basales, mientras que las superiores permanecen verdes. En casos de deficiencia severa, se manifiesta una clorosis generalizada en toda la planta. Como resultado, disminuye el rendimiento del cultivo y el contenido de proteínas.

Los efectos del exceso de N son menos evidentes que su deficiencia. Ellos incluyen crecimiento vegetativo prolongado, coloración verde oscuro en el follaje, aumento en la susceptibilidad de la planta al ataque de fitopatógenos y un retraso de la madurez del cultivo.

La concentración de N en la planta de trigo disminuye con el transcurso de los períodos fenológicos, alcanzando valores de 3,5 – 4,2 % en el estado de plena macolla, hasta 0,9 – 1,2 % al estado de madurez a la cosecha. En el caso del grano de trigo al momento de la cosecha, la concentración de N fluctúa entre 1,6 – 2,4 %, superando a los otros nutrientes.

El rendimiento de trigo está condicionado fuertemente a la nutrición mineral, donde el N es el nutriente más importante cuantitativamente, el de mayor impacto y a través del cual se logra el mayor retorno económico. Gran parte del N del suelo está en forma orgánica, razón por la cual su disponibilidad para el cultivo depende principalmente de la mineralización de los residuos. Sin embargo, el proceso de mineralización ocurre normalmente en el suelo a una tasa insuficiente para satisfacer la demanda de N de trigos de alto potencial de rendimiento. Por ello, el N es el nutriente que en mayor medida limita el rendimiento del cultivo.

Existe la urgente necesidad de mejorar la eficiencia de uso de N (EUN), esto es, produzcan una mayor cantidad de grano y mantengan niveles medios a altos de proteína, con aplicaciones menores a las actualmente en uso, como una manera de rentabilizar la producción de este cereal y mantener la sustentabilidad de los sistemas de producción. La obtención de alta EUN es de gran importancia en la producción actual de los cultivos. La EUN puede incrementarse a través de selección del ambiente de crecimiento del cultivo (tipo de suelo y clima), prácticas de manejo (fecha de siembra, dosis y parcialización de la aplicación de N) y mejoramiento genético del cultivo.

La dosis y parcialización de la fertilización nitrogenada son las mejores herramientas disponibles para optimizar la productividad del cultivo. El N afecta los tres componentes principales



del rendimiento: espigas por hectárea, granos por espiga y peso de grano, así como también la calidad del grano, representados por la proteína y el gluten húmedo.

La EUN está muy influenciada por la época de aplicación del fertilizante nitrogenado. Cuando se utilizan altas dosis de N en períodos en que el cultivo de trigo tiene baja demanda por su escaso desarrollo, como ocurre durante la siembra o emergencia de la planta, se potencian las pérdidas de N. Para minimizar esto la aplicación del fertilizante nitrogenado debe realizarse en parcialidades que coincidan con el período de utilización del cultivo de trigo. Esto significa que las aplicaciones de N deben sincronizarse con la curva de demanda del trigo. Durante los primeros estadios la absorción de N es muy baja y se incrementa sustancialmente durante el macollaje del trigo. La parcialización de la dosis es la base de un manejo eficiente para lograr el máximo rendimiento económico y de calidad superior. Para el cultivo de trigo producido en la zona sur de Chile, se ha establecido que la aplicación parcializada del N en dos oportunidades, además de la dosis de siembra, durante la temporada y considerando su sincronización con la demanda del cultivo, son suficientes para mejorar significativamente la EUN.

Es muy importante aplicar N a la siembra, ya que en los primeros estadios de desarrollo del cultivo se determinan los componentes de rendimiento. Cuando se elimina la aplicación de N a la siembra y adicionalmente se atrasa la aplicación del N de inicio de macolla, se genera una baja importante en el rendimiento de grano.

La dosis de N necesaria para fertilizar el cultivo no se obtiene del análisis de suelo, puesto que este valor es muy variable y fluctúa rápidamente en función del clima (humedad y temperatura). Por ello, la dosis se define a partir del precultivo, del rendimiento esperado de trigo y de las características del suelo y de la zona donde se realizará la siembra. En términos generales, la gestión del N debe considerar los siguientes criterios:

Dosis de N según rendimiento esperado:

- Hasta 80 - 90 qqm ha⁻¹: 150 – 160 kg N ha⁻¹ (dosis anual cultivo)
- Hasta 100 - 120 qqm ha⁻¹: 180 – 200 kg N ha⁻¹ (dosis anual cultivo)

Parcialización de la dosis anual de N según cultivar de trigo:

- Trigos invernales y alternativos: 15% a la siembra, 40% al inicio de macolla y 45% en plena macolla.
- Trigos primaverales: 20% a la siembra, 40% al inicio de macolla y 40% en plena macolla.

2.2 Características de los suelos del Borde Costero.

Esta zona de La Araucanía presenta mayoritariamente dos agrupaciones de suelos: trumaos (Andisoles) y rojo arcillosos (Ultisoles). Ambos tipos de suelos tienen en común su evolución a partir de cenizas volcánicas de diferentes antigüedades. El origen volcánico de ambas agrupaciones de suelo es el responsable del proceso de **“retención o fijación del fósforo soluble”** y la necesidad de aplicar dosis altas y localizadas de fósforo a la siembra del cultivo de trigo para obtener buenos rendimientos, producciones de calidad y en forma rentable.

Por otra parte, estos suelos también se destacan por una gran capacidad de mineralizar nitrógeno, preferentemente en los meses de primavera, nutriente que puede ser utilizado por el cultivo de trigo en desarrollo. Este aporte natural de nitrógeno del propio suelo se debe preferentemente a la acumulación de residuos frescos provenientes de la cosecha del cultivo anterior, que normalmente corresponde al cultivo de papa.

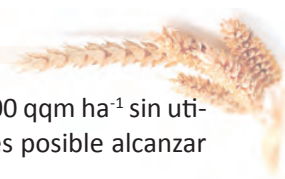
Estos dos procesos (efecto residual del fósforo aplicado y gran capacidad de mineralización de nitrógeno del suelo), explican la ventaja y el impacto del denominado **“Bochán de papa”** en la productividad del trigo, como continuador de la rotación de cultivos.

Con el fin de visualizar el impacto que tiene el suministro natural de nitrógeno del suelo sobre la productividad del cultivo de trigo, en el Cuadro 1 se comparan tres suelos trumaos ubicados en distintas localidades de Cautín. En todos los casos el nivel de fósforo disponible es muy alto.

Cuadro 1. Efecto del suministro de nitrógeno del suelo sobre la productividad de trigo Maxwell-INIA en diferentes localidades. Provincia de Cautín, 2012-2013.

Localidad y condiciones agronómicas	Dosis anual nitrógeno kg ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹	Rendimiento qqm ha ⁻¹
	0	29.3	56.2	98
	140	78.3	101.2	139
Localidad		Carillanca	Vilcún	Tranapuernte
Precultivo		Avena grano	Avena grano	Papa
P inicial (ppm)		28	32	31

Los rendimientos de grano del trigo Maxwell-INIA, sin aplicación de nitrógeno-fertilizante, fluctuaron entre 29.3 qqm ha⁻¹ (Carillanca) y 98 qqm ha⁻¹ (Tranapuernte). Se observa claramente el impacto del aporte natural de nitrógeno del trumao de Tranapuernte, cuya capacidad de mineralización de los residuos de cosecha del precultivo de papa durante los meses de primavera, permitió aportar grandes cantidades de nitrógeno al desarrollo del cultivo de



trigo. De esta manera, se pudo sustentar un rendimiento final cercano a 100 qqm ha⁻¹ sin utilizar fertilizante nitrogenado, lo cual grafica el potencial productivo que es posible alcanzar en este suelo con un precultivo de papa.

Adicionalmente, cuando se fertilizó con 140 kg ha⁻¹ de nitrógeno anual (como urea), hubo incrementos de rendimientos de trigo en todos los casos. Sin embargo, en la localidad de Tranapunte se obtuvo el mayor rendimiento (139 qqm ha⁻¹). En estas condiciones, la intensa mineralización de nitrógeno del suelo permitió disminuir fuertemente la dosis de fertilizante, consiguiendo altos rendimientos de grano y menores costos de producción.

Es importante destacar que estos rendimientos son excepcionales y reflejan el potencial productivo que se puede obtener en la localidad de Tranapunte cuando se aplica el paquete tecnológico correcto. Debe recordarse que los potenciales productivos de trigo en otras localidades y suelos de las comunas del Borde Costero no alcanzan estos niveles, aunque siguen siendo elevados.

2.3 Fertilización del cultivo de trigo harinero en suelos del Borde Costero.

Las comunas del Borde Costero presentan generalmente dos agrupaciones de suelos conocidos como trumaos y rojo arcillosos. Ambos suelos tienen diferencias importantes, desde el punto de vista de sus características físicas como químicas. Los trumaos presentan por ejemplo, gran facilidad para el laboreo de suelo, mayor capacidad de almacenamiento de agua y profundidad del perfil. Sin embargo, también requieren mayores dosis de encalado y de fósforo que los suelos rojo arcillosos, para satisfacer las necesidades del cultivo de trigo.

Respecto a la fertilización nitrogenada, los suelos trumaos poseen una mayor capacidad de suministrar este nutriente en forma natural que los suelos rojo arcillosos. Esta diferencia se debe a su mayor contenido de materia orgánica y de residuos orgánicos fácilmente descomponibles, que pueden ser utilizados por el cultivo de trigo. Por esta razón, las dosis de fertilización nitrogenada recomendada para siembras de trigo harinero en suelos trumaos son menores que las requeridas por los suelos rojo arcillosos.

En los siguientes cuadros se presenta la gestión de la fertilización nitrogenada del cultivo de trigo, considerando las agrupaciones de suelos trumaos y rojo arcillosos. También se distinguen dos ambientes edafoclimáticos que presentan diferentes potenciales productivos:

- Sector de alto potencial y cercano al litoral marino.
- Sector interior del Borde Costero.

2.3.1 Sector de alto potencial y cercano al litoral marino.

Corresponde a un ambiente edafoclimático, representado por una franja del territorio del Borde Costero más cercano al mar y con un ancho aproximado de 20 km hacia el interior de las comunas costeras. Este ambiente productivo se expresa muy claramente en las localidades de Tranapunte (suelos trumaos) y Llarquenco Bajo (suelos rojo arcillosos).

Cuadro 2. Gestión del nitrógeno en siembras de trigo (cultivares de invierno y alternativo), en suelos trumaos del Borde Costero, con un rendimiento potencial alto (90 a 110 qqm/ha).

<i>Labor</i>	<i>Fecha</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Observaciones</i>
Encalado de pre-siembra	abril a mayo	Según Análisis de Suelo	Incorporar 30 a 45 días previo a la siembra
Siembra cv. invernol y alternativo de trigo	junio al 30 julio	200 kg/ha semilla	Usar sembradora cerealera
Fertilización con N a la siembra	junio al 30 julio	30 kg/ ha de N a la siembra	Usar mezcla fertilizante o una fuente nítrica
Fertilización base de trigo a la siembra	junio al 30 julio	Según Análisis de Suelo	Mezcla fertilizante o fuentes individuales
Primera parcialización de N	Inicio de macolla	70 kg/ ha de N (150 kg/ ha urea)	N-fertilizante en cobertura, en trigo desde una macolla
Segunda parcialización de N	En plena o fines de macolla	70 kg/ ha de N (150 kg/ ha urea)	N-fertilizante en cobertura, en trigo con varias macollas (previo al encañado)

En los Cuadros 2 al 5 se detalla la gestión de la fertilización nitrogenada del cultivo de trigo, definida para este ambiente edafoclimático de alto potencial de rendimiento.

Como criterio general, para que la fertilización nitrogenada alcance rendimientos elevados en suelos trumaos y rojo arcillosos sembrados con cultivares de trigo invernol, alternativo y primaveral, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- La rotación de cultivo ideal es usar la papa como precultivo.
- Corrección de las limitaciones de acidez con la incorporación de la enmienda calcárea previa a la siembra.
- Aplicar una fertilización base completa y balanceada según el análisis de suelo inicial.



Cuadro 3. Gestión del nitrógeno en siembras de trigo (cultivares de invierno y alternativo), en suelos rojo arcillosos del Bordo Costero, con un rendimiento potencial alto (80 a 100 qqm/ha).

Labor	Fecha	Cantidad	Observaciones
Encalado de pre-siembra	abril a mayo	Según Análisis de Suelo	Incorporar 30 a 45 días previo a la siembra
Siembra cv. invernol y alternativo de trigo	junio al 15 julio	200 kg/ha semilla	Usar sembradora cerealera
Fertilización con N a la siembra	junio al 15 julio	30 kg/ ha de N a la siembra	Usar mezcla fertilizante o una fuente nitríca
Fertilización base de trigo a la siembra	junio al 15 julio	Según Análisis de Suelo	Mezcla fertilizante o fuentes individuales
Primera parcialización de N	Inicio de macolla	80 kg/ ha de N (170 kg/ ha urea)	N-fertilizante en cobertura, en trigo desde una macolla
Segunda parcialización de N	En plena o fines de macolla	90 kg/ ha de N (200 kg/ ha urea)	N-fertilizante en cobertura, en trigo con varias macollas (previo al encañado)

El retraso en la fecha de siembra recomendada puede afectar el potencial de rendimiento del cv. de trigo debido a eventuales déficit de lluvias en el período crítico de llenado del grano.



Cuadro 4. Gestión del nitrógeno en siembras de trigo con cultivares primaverales, en suelos trumaos del Borde Costero, con un rendimiento potencial alto (85 a 90 qqm/ha).

<i>Labor</i>	<i>Fecha</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Observaciones</i>
Encalado de pre-siembra	julio	Según Análisis de Suelo	Incorporar 30 a 45 días previo a la siembra
Siembra cv. primaveral de trigo	15 de agosto al 30 septiembre	220 kg/ ha	Usar sembradora cerealera
Fertilización con N a la siembra	15 de agosto al 30 septiembre	30 kg/ ha de N a la siembra	Usar mezcla fertilizante o una fuente nítrica
Fertilización base de trigo a la siembra	15 de agosto al 30 septiembre	Según Análisis de Suelo	Mezcla fertilizante o fuentes individuales
Primera parcialización de N	Trigo con 2 a 3 hojas	70 kg/ ha de N (150 kg/ ha urea)	N-fertilizante en cobertera, en trigo desde una macolla
Segunda parcialización de N	En plena macolla	70 kg/ ha de N (150 kg/ ha urea)	N-fertilizante en cobertera, en trigo con varias macollas (previo al encañado)

Cuadro 5. Gestión del nitrógeno en siembras de trigo con cultivares primaverales, en suelos rojo arcillosos del Borde Costero, con un rendimiento potencial alto (80 a 90 qqm/ha).

<i>Labor</i>	<i>Fecha</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Observaciones</i>
Encalado de pre-siembra	julio	Según Análisis de Suelo	Incorporar 30 a 45 días previo a la siembra
Siembra cv. primaveral de trigo	agosto al 15 septiembre	220 kg/ ha	Usar sembradora cerealera
Fertilización con N a la siembra	agosto al 15 septiembre	30 kg/ ha de N a la siembra	Usar mezcla fertilizante o una fuente nítrica
Fertilización base de trigo a la siembra	agosto al 15 septiembre	Según Análisis de Suelo	Mezcla fertilizante o fuentes individuales
Primera parcialización de N	Trigo con 2 a 3 hojas	80 kg/ ha de N (170 kg/ ha urea)	N-fertilizante en cobertera, en trigo desde una macolla
Segunda parcialización de N	En plena macolla	80 kg/ ha de N (170 kg/ ha urea)	N-fertilizante en cobertera, en trigo con varias macollas (previo al encañado)



El retraso en la fecha de siembra recomendada puede afectar el potencial de rendimiento del cv. de trigo, debido a eventuales déficit de lluvias en el período crítico de llenado del grano.

2.3.2 Sector interior del Borde Costero.

Este ambiente edafoclimático se expresa en el resto del Territorio del Borde Costero, con menor influencia marítima y que se extiende hasta el límite interior de las comunas costeras. Este ambiente productivo se expresa en propiedad en las localidades de Carahue, T. Schmidt y Toltén.

La fertilización nitrogenada anual recomendada en los Cuadros 2 al 5 se deberá incrementar en 10 a 15% para alcanzar rendimientos altos de trigo harinero en este sector, considerando que las condiciones edafoclimáticas son de menor potencialidad que el sector cercano al mar.

2.4. Criterios de selección del fertilizante nitrogenado.

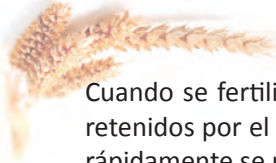
Los principales factores que definen la elección de la fuente de N son:

- Forma del nitrógeno (amonio o nitrato).
- Velocidad de acción del fertilizante.
- Riesgos de pérdidas.
- Cambios en la reacción del suelo.
- Aporte de otros nutrientes.
- Costos de producción, aplicación y almacenaje.

En la elección del fertilizante confluye una óptica económica y otra técnica. El aspecto económico incluye el precio de la unidad de N y los costos de transporte, almacenaje y aplicación. En cambio, el criterio técnico apunta a las características del fertilizante y sus reacciones en el suelo. Ambos criterios tienden a corregir la deficiencia de N en el suelo al menor costo posible.

En general, todos los fertilizantes nitrogenados tienen la capacidad de satisfacer las necesidades de N del cultivo. No obstante, frente a una condición determinada, alguna fuente nitrogenada puede resultar más efectiva que otra en función de un criterio técnico económico.

Los cultivos no tienen una absorción preferencial de las formas de N presentes en el suelo. Los iones nitrato y amonio son absorbidos igualmente por los cultivos, aunque la forma nitrata requiere un gasto mayor de energía por parte de la planta.



Cuando se fertiliza con un producto nítrico en un suelo húmedo, los iones nitrato no son retenidos por el suelo y se distribuyen por todo el perfil del suelo húmedo. Así, los nitratos rápidamente se ponen en contacto con las raíces del cultivo.

En el caso de la incorporación de urea al suelo ocurre una serie de reacciones que llevan finalmente a la acumulación de nitratos. La urea es un compuesto orgánico que en presencia de agua y de la enzima ureasa se transforma inicialmente en amonio, agua y CO_2 . Posteriormente, el amonio se nitrifica y todo el N de la urea se acumula como nitratos.

La hidrólisis de la urea en el suelo es un proceso rápido (3 a 4 días), incluso en condiciones de bajas temperaturas, como ocurre durante las aplicaciones invernales de urea, debido a las parcializaciones de N del cultivo.

La segunda reacción de la urea en el suelo es la nitrificación del amonio, proceso que es realizado por microorganismos específicos del suelo y cuya velocidad depende de la temperatura.

Si la urea se aplica al voleo (parcializaciones a la macolla), queda en la superficie del suelo y se difunde ligeramente en profundidad con el suelo húmedo. Al transformarse rápidamente en amonio, queda retenido en la superficie del suelo y a disposición de las raíces del cultivo. Luego comienza la nitrificación y los nitratos que no son retenidos por el suelo difunden en el perfil y entran en contacto con todo el sistema radicular de la planta.

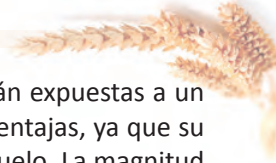
En el caso de los fertilizantes nítricos, ocurre de inmediato una alta concentración de nitratos que se difunden rápidamente por todo el perfil de suelo y entran a mayor velocidad que los amoniacales en contacto con todas las raíces del cultivo.

2.4.1 Riesgos de pérdidas de N.

Las pérdidas del N aplicado como fertilizante se originan en los procesos de desnitrificación, lixiviación y volatilización. En general, los cultivos recuperan sólo alrededor del 50 a 65% del total del N-fertilizante aplicado en la temporada.

La desnitrificación es un proceso en donde los microorganismos anaeróbicos utilizan los nitratos como fuente de oxígeno, formando óxido nitroso o N elemental que se pierde como gases. En cultivos no inundados este proceso de desnitrificación afecta de la misma manera a los fertilizantes nítricos, a los amoniacales y a la urea. Las pérdidas por desnitrificación pueden alcanzar normalmente entre 10 y 15% del N aplicado.

La lixiviación es el descenso de los nitratos en el perfil del suelo, a una profundidad mayor que la alcanzada por las raíces del cultivo. Las lluvias del período invernal potencian el riego de lixiviación. En el caso de los nitratos, como no están retenidos por las partículas del suelo se pierden parcialmente con el agua percolada.



Las parcializaciones de N durante el período de macollaje del cultivo están expuestas a un alto riesgo de lixiviación de N. En este evento, la urea presenta algunas ventajas, ya que su transformación en amonio le permite quedar retenida en las arcillas del suelo. La magnitud de las pérdidas por lixiviación dependerán principalmente de la cantidad de N aplicado y de la intensidad y oportunidad de los eventos de lluvia.

La volatilización del amonio de los fertilizantes amoniacales y de las transformaciones de la urea se origina con el paso del amonio a amoníaco, en un ambiente alcalino y con alta concentración de amonio, que se escapa como gas.

La eventual pérdida por volatilización del amonio deriva de la aplicación en cobertera de la urea. Las condiciones de aplicación de la segunda parcialización de N en la macolla del cultivo favorece el proceso de volatilización, en especial en suelos alcalinos (pH 7 o superiores). Sin embargo, la intensidad y oportunidad de las precipitaciones, solubilizan la urea y facilitan su rápida difusión en el perfil del suelo, reduciendo el riesgo por volatilización.

2.4.2 Efecto sobre la reacción del suelo.

La aplicación de fertilizantes amoniacales (nitrato de amonio, fosfatos de amonio) y amídicos (urea), induce una acidificación del suelo luego de la hidrólisis de la urea a amonio. La intensidad de la acidificación dependerá principalmente de la cantidad de fertilizante aplicado y del manejo del suelo.

El uso de fertilizantes de reacción ácida como es la urea, constituye el manejo que más rápidamente puede acidificar el suelo, si no se toman los resguardos oportunos.

El índice de acidez de un fertilizante representa la cantidad de CaCO_3 necesaria para neutralizar la acidez provocada por su aplicación al suelo. Este índice se expresa como kg de CaCO_3 /kg de N o como kg de CaCO_3 /100 kg de fertilizante. Así, por ejemplo, la aplicación de urea provoca una reacción ácida en el suelo, que requiere ser neutralizada con 1,8 kg de CaCO_3 por cada kg de nitrógeno. En otras palabras, por cada 100 kg de urea se deben aplicar 83 kg de CaCO_3 para neutralizar la acidez de este fertilizante.

Del conocimiento de este factor, se ha generalizado la siguiente recomendación práctica cuando se fertilizan con urea los cultivos:

Por cada kg de urea que recibe el cultivo aplicar un kg de cal (CaCO_3 puro). De esta manera, se evita acidificar el suelo durante las transformaciones de la urea aplicada anualmente al cultivo. Este encalado de neutralización deberá incorporarse con las labores de rastraje, previo a la siembra del cultivo.

La urea es el fertilizante de mayor consumo en los países del llamado “Tercer Mundo”, ocupando también una posición importante en el consumo de los países desarrollados. Su amplio uso se explica por su bajo costo de producción en relación a otros fertilizantes nitrogenados y por su elevada concentración de N.



En la actualidad en el mercado de fertilizantes existen ciertos productos nitrogenados alternativos a la urea, que buscan atenuar o solucionar algunos de los riesgos de pérdidas potenciales de N.

- **Alzon 46:** fertilizante granular a base de urea (46% de N), que posee inhibidores de la nitrificación (Dicyndiamide + 1H-1,2,4-Triazoles). En el suelo Alzon 46 reacciona igual que la urea tradicional y en un plazo breve (una semana), se transforma rápidamente en amonio.

En el caso del amonio derivado de la urea tradicional, la siguiente transformación a nitrato en el suelo durante el invierno (5°C), requiere aproximadamente seis semanas en completarse. En cambio, en estas mismas condiciones ambientales el amonio proveniente del Alzon 46 extiende su transformación en nitrato a 14 semanas por efecto de sus inhibidores de la nitrificación.

La extensión de la transformación del amonio en el suelo es importante porque reduce las eventuales pérdidas de N por desnitrificación, volatilización de amoníaco y lixiviación de nitratos, mejorando así la eficiencia de uso del N por el cultivo.

La evaluación técnica y agronómica del Alzon 46 ha sido realizada en Alemania y otros países tropicales. Por esto, se requiere generar información experimental regional en nuestras condiciones edafoclimáticas, que permitan validar el comportamiento de este fertilizante en cultivos como el trigo.

- **AmiNtec** (Amidic Nitrogen Technology): fertilizante granular de color verde con una base de nitrógeno similar a la urea (46% de N), pero con la ventaja adicional de ser más eficiente al disminuir fuertemente la pérdida por volatilización del N contenido en la urea.

AmiNtec posee mayor flexibilidad en la aplicación al suelo en relación a la urea tradicional porque permite un espacio de tiempo de 14 días para incorporar efectivamente el N, reduciendo así las pérdidas por volatilización en comparación a la urea. Esta ventaja resulta de un inhibidor de ureasa contenido en AmiNtec.

La intensidad de la pérdida del N de la urea por volatilización dependerá de la combinación de varios factores:

- Temperatura del aire y del suelo.
- Humedad relativa del aire y del suelo.
- pH del suelo.
- Flujo de aire (viento).
- Presencia de rastrojos.

Es importante considerar que la evaluación técnica y agronómica de estos nuevos productos fertilizantes disponibles en el mercado debe ser establecida mediante experimentación de campo en los diferentes ambientes o zonas edafoclimáticas de nuestra región.



2.5 Diagnóstico de las necesidades de fertilización.

En la práctica agrícola, normalmente ocurre que la demanda del nutriente es superior al suministro, es decir, las condiciones ambientales y genéticas existentes son susceptibles de generar una demanda de nutrientes que no es satisfecha por el suministro natural del suelo. En estas condiciones, lo que interesa es igualar ambos suministros con la demanda para que no exista déficit nutricional.

En otras palabras, la clave del diagnóstico debiera orientarse a detectar la disponibilidad de los nutrientes en el suelo para corregir el déficit nutricional. Por esta razón, se han definido rangos o categorías de disponibilidad de los diferentes nutrientes (Cuadro 6), a partir de los cuales se caracteriza la fertilidad del suelo que nos interesa.

A partir de una muestra de suelos, el laboratorio central de Análisis de Suelo y Planta de INIA puede entregar una recomendación de fertilización de un cultivo determinado, cuyos rangos de dosis constituyen una orientación para la toma de decisiones de los profesionales y productores agrícolas del Borde Costero que demanden el servicio.

Cuadro 6. Categorías de disponibilidad de nutrientes según análisis de suelo. INIA – Carillanca, Región de La Araucanía.

Análisis	Nivel del suelo	Categorías de disponibilidad
pH agua (1:2,5)	$\leq 5,0$	Extremadamente ácido
	5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
	5,6 – 6,0	Moderadamente ácido
	$> 6,0$	Ligeramente ácido
Fósforo extractable ppm	$\leq 6,0$	Muy bajo
	6.1 – 12.0	Bajo
	12.1 – 20.0	Medio
	> 20.0	Alto
Materia Orgánica %	$\leq 6,0$	Muy bajo
	6.1 – 12.0	Bajo
	12.1 – 20.0	Medio
	> 20.0	Alto
Calcio intercambio cmol (+)/ kg	$\leq 2,0$	Muy bajo
	2,1 – 5,0	Bajo
	5,1 – 9,0	Medio
	$> 9,0$	Alto
Magnesio intercambio cmol (+)/ kg	$\leq 0,25$	Muy bajo
	0,26 – 0,50	Bajo
	0,51 – 1,00	Medio
	$> 1,00$	Alto
Potasio intercambio cmol (+)/ kg	$\leq 0,12$	Muy bajo
	0,13 – 0,25	Bajo
	0,26 – 0,50	Medio
	$> 0,50$	Alto
Suma de bases cmol (+)/ kg	$\leq 3,0$	Muy bajo
	3,1 – 6,0	Bajo
	6,1 – 11,0	Medio
	$> 11,0$	Alto
Aluminio intercambio cmol (+)/ kg	$\leq 0,10$	Muy bajo
	0,11 – 0,25	Bajo
	0,26 – 0,50	Medio
	$> 0,50$	Alto
Saturación de aluminio %	$\leq 1,0$	Muy bajo
	1,1 – 5,0	Bajo
	5,1 – 12,0	Medio
	$> 12,0$	Alto



Literatura Consultada.

Campillo, R., J. Hirzel, y C. Jobet. 2011. Fertilización del cultivo de trigo harinero. p:11-79. *In*: Hirzel, J. (ed.) Fertilización de cultivos en Chile. Colección Libros INIA N° 28, Chillán, Chile.

Campillo, R., Jobet, J. and Undurraga, P. 2010. Effects of nitrogen on productivity, grain quality, and optimal nitrogen rates in winter wheat cv. Kumpa-INIA in Andisols of Southern Chile. *Chilean J. Agric. Res.* 70:122-131.

Campillo, R. y A. Sadzawka. 2010. La acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados. p. 44-60. *In* R. Campillo R. (ed.) Manejo de los Recursos Naturales en el Sistema de Incentivos para la Recuperación de Suelos Degradados de La Araucanía. Serie Actas N° 38, Temuco, Chile.

Fundación Chile. 2005. Una nueva visión para el sector triguero en Chile. 100 p. Fundación Chile, Santiago, Chile.

Hirzel, J. 2004. Fertilización del cultivo. pp:49-75. *In*: M. Mellado (ed). Boletín de trigo 2004. Manejo tecnológico. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 114.

Rodríguez, J. 1993. Manual de fertilización. 362 p. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.

Rodríguez, J., D. Pinochet y F. Matus. 2001. Fertilización de los cultivos. 117 p. LOM Ediciones. Santiago, Chile.

Roy, R.N., Finck, A., Blair, G.J. and H.I.S. Tandon. 2006. Plant nutrients and basics of plant nutrition. pp:25-42. *In*: Roy, R.N. et al., (eds). Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 16, Rome, Italy.

Semenov, M.A., P.D. Jamieson, and P. Martre. 2007. Deconvoluting nitrogen use efficiency in wheat: A simulation study. *Eur. J. Agron.* 26:283-294.





Capítulo 3.

IMPACTO DE LA GESTIÓN DEL NITRÓGENO EN LA FERTILIZACIÓN DE TRIGO DE DIFERENTES HÁBITOS DE DESARROLLO EN EL BORDE COSTERO

Ricardo Campillo R., Ing. Agr. M. Sc.; Paola Ríos A., Ing. Agrónomo;
Carlos Toro C., Ing. Ejec. Agrícola y Lorena Sotomayor T., Téc. agrícola

Introducción.

El trigo forma parte importante de la rotación de cultivos del sistema productivo en el Secano Costero de La Araucanía. En la actualidad, el sector triguero de esta región no es competitivo y es altamente vulnerable a la competencia de las importaciones debido a la estructura productiva, expresada en la pequeña escala de producción y los altos costos de aplicación de insumos, como son los fertilizantes. Este cultivo presenta comparativamente altos costos de insumos en fertilizantes, siendo uno de los factores de mayor incidencia en el costo total. En particular el ítem fertilizante representa el 40% de los costos directos en una situación de rendimientos promedio, aumentando por sobre el 50% en manejos de altos rendimientos.

La utilización de dosis elevadas de nitrógeno que permitan la expresión del potencial de rendimiento de las variedades existentes en el mercado actual, requiere por tanto el manejo cuidadoso y eficiente de la parcialización del nutriente, con el fin de minimizar las pérdidas por lixiviación durante el desarrollo del cultivo.

Durante los últimos años se ha podido constatar una gran diversidad de recomendaciones técnicas en el medio agrícola regional sobre el manejo eficiente de la fertilización nitrogenada del trigo respecto a dosis anuales, fuentes y parcializaciones. Este fenómeno se ha visto potenciado por el amplio espectro de nuevos cultivares, tanto de INIA como de la competencia, que están disponibles para los productores trigueros.

En razón de la importancia del tema, se implementó el proyecto INNOVA CORFO “**Difusión del paquete tecnológico del cultivo de trigo harinero con énfasis en la tecnología de fertilización para el Borde Costero, Región de La Araucanía**”, cuyo objetivo es transferir y difundir conocimientos para el adecuado diagnóstico nutricional del suelo y la definición de fórmulas de fertilización del cultivo de trigo harinero. Lo anterior, para optimizar la gestión del nitrógeno en cultivares de trigo INIA de alto potencial de rendimiento, buscando armonizar la productividad y calidad del grano producido.

Este tema tiene gran relevancia en el Borde Costero de La Araucanía por la superficie dedicada al rubro y por el desconocimiento que existe actualmente entre los productores de trigo sobre la tecnología y manejo adecuado de los fertilizantes para potenciar la productividad del cultivo de trigo.



Mediante la difusión de tecnologías de fertilización validadas para cultivares de trigo harinero de alto potencial de rendimiento se espera incrementar la productividad del cultivo de trigo de productores insertos en las comunas del Secano Costero de La Araucanía.

A continuación se presentan resultados productivos de diferentes cultivares de trigo harinero obtenidos en predios demostrativos localizados en las cuatro comunas del borde costero.

1. Predio Demostrativo de Tranapunte, Comuna de Carahue.

Se estableció una comparación del manejo tradicional versus el manejo INIA del nitrógeno aplicado en cobertera en tres cultivares (cv) de trigo harinero (invernal, alternativo y primaveral). La actividad se realizó en la temporada 2012-2013, bajo condiciones de secano, en un suelo trumao (precultivo de papa) en el predio demostrativo de Tranapunte, comuna de Carahue. El suelo presentó una condición de fertilidad inicial muy buena (altos niveles de fósforo, bases de intercambio y micronutrientes y ausencia de acidez. El manejo INIA consideró una dosis anual de 200 kg ha⁻¹ de nitrógeno equivalente a 430 kg ha⁻¹ de urea, parcializada en tres fechas: siembra (80 kg ha⁻¹) como nitromag, inicio de macolla (180 kg ha⁻¹) y fines de macolla (220 kg ha⁻¹) como urea. El manejo tradicional consistió en 400 kg ha⁻¹ de la mezcla papa a la siembra ($N_{11} - P_{2O_{5\ 30}} - K_2O_{11}$), sin aplicación posterior de nitrógeno en la macolla del cultivo, que corresponde a la práctica tradicional de la zona. Se utilizó una dosis de 200 kg de semilla ha⁻¹ realizándose la siembra el 25 de mayo (invernal y alternativo) y 30 de agosto (primaveral) y la cosecha el 19 de febrero de 2013.

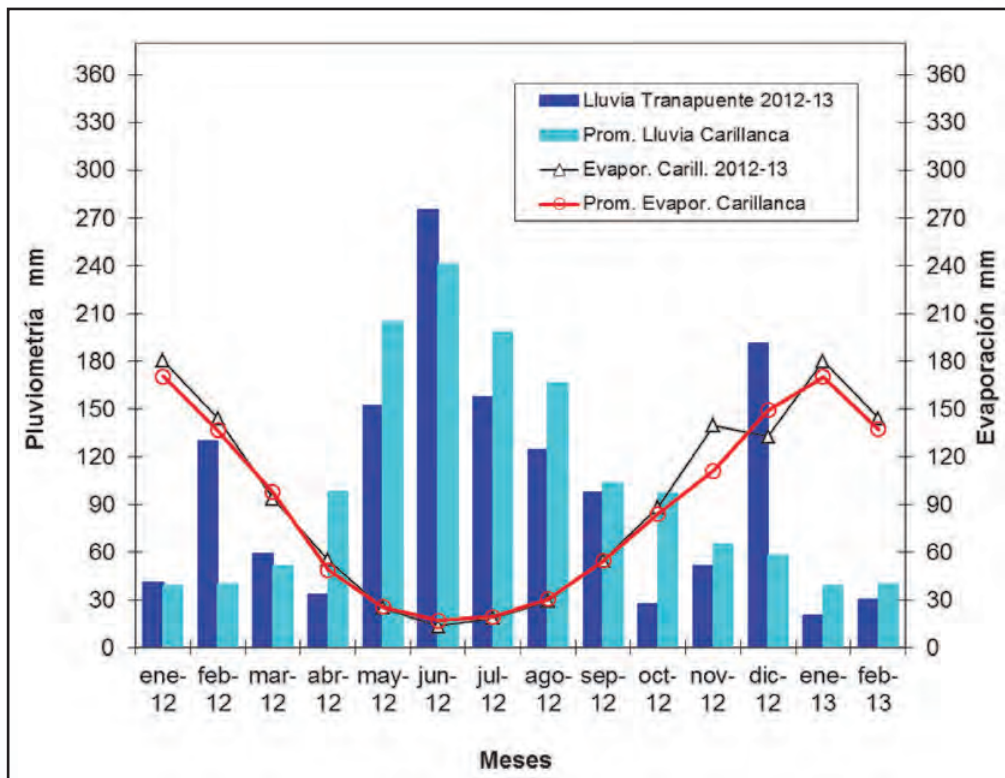
1.1 Resultados de la temporada.

El déficit de precipitaciones durante gran parte de la primavera (Figura 1) afectó la fenología normal del cultivo, adelantando la floración. Adicionalmente, el 24 de noviembre se manifestó una inusual “helada negra”, que afectó masivamente a cultivos y frutales en diferentes zonas de La Araucanía. Sin embargo, estos fenómenos tuvieron un impacto menor en las producciones de los diferentes cv. de trigo localizados en este sector, a diferencia de otras comunas y localidades.

Los rendimientos de grano de trigo de los distintos cv. evaluadas fueron normales (Cuadros 1 y 2), aunque en general estuvieron levemente por debajo de los potenciales productivos de la zona.

En los tres cv. de trigo el manejo INIA fue superior al manejo tradicional (Cuadro 1). Las brechas de rendimiento de grano fueron significativas y fluctuaron entre 17.1 y 26 qqm ha⁻¹, lo cual genera un beneficio económico importante para el productor que utilice esta tecnología.

Figura 1. Evolución climática de la zona de Tranapunte, comuna de Carahue, 2012-2013.



Cuadro 1. Efecto del manejo de nitrógeno en el rendimiento de grano de cv. de trigo harinero. Tranapunte, Carahue, 2012-2013.

Cultivares de trigo	Manejo del nitrógeno	Urea Anual kg ha ⁻¹	Rdto grano qqm ha ⁻¹	Brecha Rdto. qqm ha ⁻¹	Margen bruto \$/ha
Maxwell-INIA	Tradicional	96	118.2		
Maxwell-INIA	INIA	430	135.3	17.0	175.500
Rupanco-INIA	Tradicional	96	93.5		
Rupanco-INIA	INIA	430	113.5	20.0	221.900
Pantera-INIA	Tradicional	96	89.1		
Pantera-INIA	INIA	430	115.2	26.0	318.600

Precio qqm trigo: \$16.000; Precio kg urea: \$293.

Cuadro 2. Efecto del manejo de nitrógeno en el peso hectolitro de grano de cv. de trigo harinero. Tranapunte, Carahue, 2012-2013.

Cultivares de trigo	Manejo de N	Urea Anual kg ha ⁻¹	Peso hectolitro kg hl ⁻¹
Maxwell-INIA	Tradicional	96	73.7
Maxwell-INIA	INIA	430	76.1
Rupanco-INIA	Tradicional	96	80.2
Rupanco-INIA	INIA	430	80.3
Pantera-INIA	Tradicional	96	81.8
Pantera-INIA	INIA	430	82.0

El manejo INIA mostró mayor rendimiento y también una mejor calidad de grano cosechado en comparación al manejo tradicional, lo cual era esperable, producto de la mayor aplicación de nitrógeno durante la temporada. Aunque los mayores rendimientos se obtuvieron con el cv. Maxwell, las mayores brechas de producción entre ambos manejos se lograron con los cultivares primaveral y alternativo. Por la misma razón, el margen bruto mayor (\$/ha, calculado como la diferencia entre el ingreso bruto y el costo de la fertilización nitrogenada) fue obtenido con el cv. Pantera, seguido por los cv. Rupanco y Maxwell.

Aunque el manejo de nitrógeno tradicional consideró solamente la aplicación equivalente a 96 kg ha⁻¹ (como urea), alcanzó rendimientos por sobre los 118 qqm ha⁻¹. Este factor refleja el potencial de suministro de nitrógeno que poseía este suelo trumao que tenía como precultivo a la papa.



Foto 1. Efecto del manejo de nitrógeno en el rendimiento de grano de cv. de trigo harinero. Tranapunte, Carahue, 2012-2013.



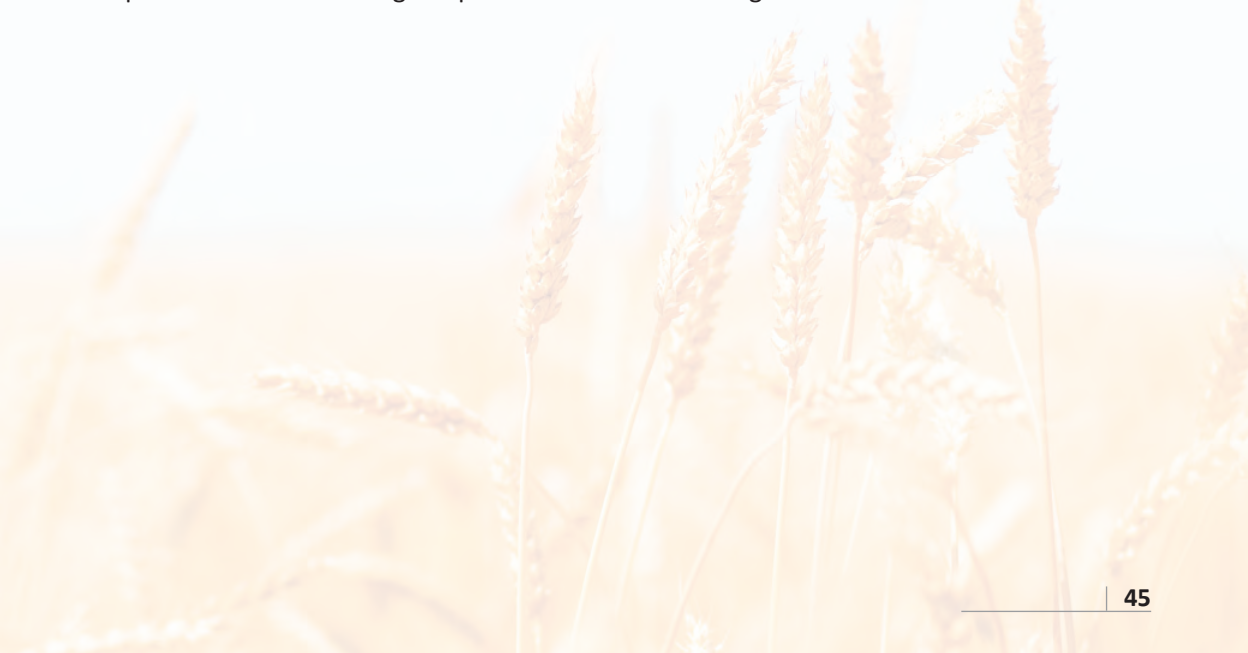
2.- Predio Demostrativo de Llollinco, comuna de Teodoro Schmidt.

Se estableció una comparación del manejo tradicional versus el manejo INIA del nitrógeno aplicado en cobertera en tres cv. de trigo harinero (invernal, alternativo y primaveral). La actividad se realizó en la temporada 2012-2013, bajo condiciones de secano, en un suelo trumao (precultivo de papa), ubicado en el predio de la Cooperativa Llollinco, comuna de Teodoro Schmidt. Previo a la siembra, el suelo fue encalado con 3.5 ton ha^{-1} de cal Soprocal para corregir las limitaciones de acidez.

El manejo INIA consideró una dosis anual de 200 kg ha^{-1} de nitrógeno, equivalente a 430 kg ha^{-1} de urea, parcializado en tres fechas: siembra (80 kg ha^{-1}) como nitromag, inicio de macolla (180 kg ha^{-1}) y fines de macolla (220 kg ha^{-1}) como urea. El manejo tradicional consistió en 400 kg ha^{-1} de la mezcla papa a la siembra ($\text{N}_{11} - \text{P}_{20} \text{O}_{530} - \text{K}_2\text{O}_{11}$), sin aplicación posterior de nitrógeno en la macolla del cultivo, que corresponde a la práctica tradicional de la zona. Se utilizó una dosis de 200 kg de semilla ha^{-1} realizándose la siembra el 26 de junio (invernal y alternativo) y 5 de septiembre (primaveral) y la cosecha el 20 de febrero de 2013.

2.1 Resultados de la temporada.

El déficit de precipitaciones durante gran parte de la primavera (Figura 2) afectó la fenología normal del cultivo, el cual adelantó la floración. A partir de julio la precipitación se redujo drásticamente y en forma lineal, alcanzando en el mes de noviembre sólo 50 mm . Este déficit de precipitaciones afectó la fenología normal del cultivo, el cual adelantó la etapa de anthesis. Adicionalmente, el 24 de noviembre se manifestó una inusual helada, la cual también afectó masivamente a cultivos y frutales en diferentes zonas del sur del país. Estos factores afectaron en algún grado el desarrollo del cultivo y el llenado del grano del trigo, dependiendo de la fenología específica del cultivar de trigo.



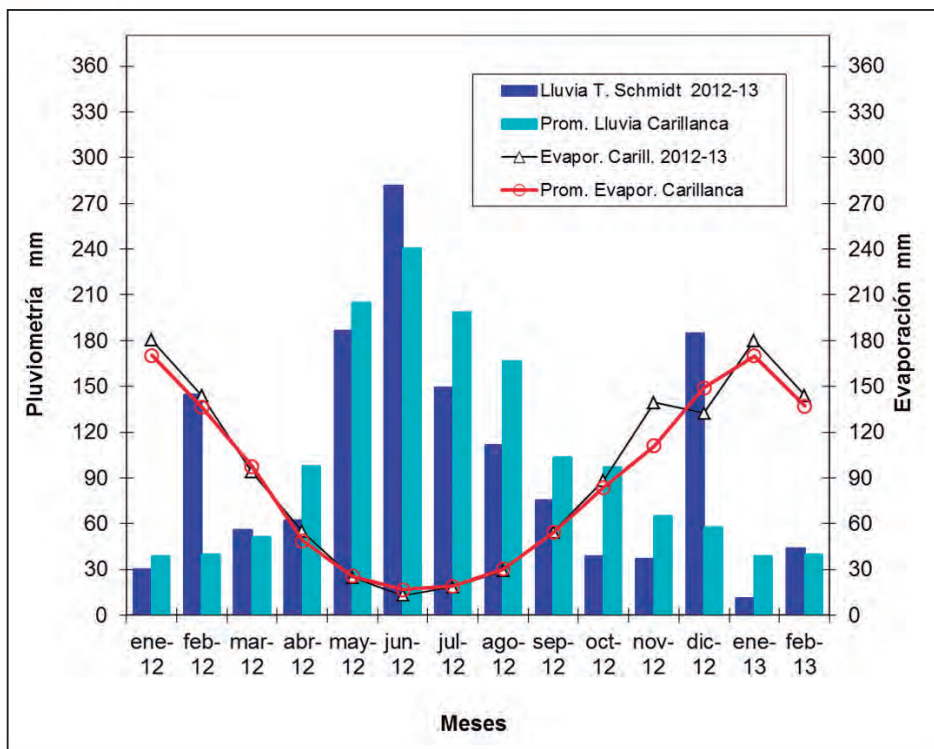


Figura 2. Evolución climática de la zona de Llolllinco, comuna de T. Schmidt, 2012-2013.

Los rendimientos de grano de trigo de los distintos cv. evaluados estuvieron por debajo de lo esperado de los potenciales productivos de la zona (Cuadro 3). La menor precipitación durante gran parte de la primavera y la helada negra ocurrida a mediados de noviembre, tuvieron un impacto negativo en las producciones de los diferentes cultivares de trigo, dependiendo del estado fenológico en que ocurrió este evento climático.

En relación a la comparación del manejo de N, en los tres cv. de trigo el manejo INIA fue superior al manejo tradicional (Cuadro 3). Las brechas de rendimiento de grano fueron significativas y fluctuaron entre 14.2 (Pantera-INIA) y 29.5 qqm ha⁻¹ (Maxwell-INIA), lo cual genera un beneficio económico importante para el productor que utilice esta tecnología.

El manejo INIA mostró mayor rendimiento de grano cosechado en comparación al manejo tradicional, lo cual nuevamente era esperable producto de la mayor aplicación de nitrógeno durante la temporada. En esta oportunidad los mayores rendimientos se obtuvieron con el cv. Maxwell-INIA, al igual que las mayores brechas de producción entre ambos manejos. En segundo lugar se ubicó el cv. alternativo Rupancho-INIA. Por la misma razón, el margen bruto mayor (\$/ha, calculado como la diferencia entre el ingreso bruto y el costo de la fertilización nitrogenada) fue obtenido por el cv. Maxwell-INIA seguido por el cv. Rupancho-INIA.



Cuadro 3. Efecto del manejo de nitrógeno en el rendimiento de grano de cv. de trigo harinero. Lollinco, Teodoro Schmidt, 2012-2013.

Cultivares de trigo	Manejo del nitrógeno	Urea Anual kg ha ⁻¹	Rdto grano qqm ha ⁻¹	Brecha Rdto. qqm ha ⁻¹	Margen bruto \$/ha
Maxwell-INIA	Tradicional	96	58.8		
Maxwell-INIA	INIA	430	88.3	29.5	373.700
Rupanco-INIA	Tradicional	96	60.2		
Rupanco-INIA	INIA	430	83.7	23.5	278.400
Pantera-INIA	Tradicional	96	44.9		
Pantera-INIA	INIA	430	59.2	14.2	129.600

Precio qqm trigo: \$16.000; Precio kg urea: \$293.

Los rendimientos del cv. Pantera-INIA estuvieron por debajo de su potencial productivo, independientemente del manejo del nitrógeno. La merma productiva de este cv. primaveral se originó en el déficit de precipitaciones durante la primavera y el daño de la helada en su período de floración.

Cuadro 4. Efecto del manejo de N en el peso hectolitro de grano de cv. de trigo harinero. Lollinco, Teodoro Schmidt, 2012-2013.

Nº Tratam.	Cultivares de trigo	Manejo de N	N Anual Kg ha ⁻¹	Peso hectolitro Kg hl ⁻¹
1	Maxwell-INIA	Tradicional	44	76.7
2	Maxwell-INIA	INIA	200	76.8
3	Rupanco-INIA	Tradicional	44	81.2
4	Rupanco-INIA	INIA	200	81.1
5	Pantera-INIA	Tradicional	44	80.9
6	Pantera-INIA	INIA	200	80.6

En relación al peso hectolitro de grano (Cuadro 4), no fue posible establecer una tendencia clara del manejo diferenciado del N en los tres cv. de trigo evaluados. En todo caso, el cv. primaveral presentó valores muy bajos, debido a la influencia negativa de las condiciones climáticas de la temporada.

Es interesante destacar que aunque el manejo de N tradicional consideró solamente la aplicación anual de 44 kg ha⁻¹ (96 kg ha⁻¹ de urea), logró alcanzar rendimientos adecuados que incluso superaron los 60 qqm ha⁻¹. Esta situación grafica el gran poder de suministro de N que posee este suelo trumao que tenía como cultivo precedente a la papa.



Foto 2. Efecto del manejo de nitrógeno en el rendimiento de grano de cv. de trigo harinero. Lollinco, T. Schmidt, 2012-2013.

3.- Predio demostrativo de Llarquenco Bajo, Comuna de Saavedra.

Se estableció una comparación del manejo tradicional versus el manejo INIA del nitrógeno aplicado en cobertera en tres cv. de trigo harinero (invernal, alternativo y primaveral). La actividad se realizó en la temporada 2012-2013, en condiciones de secano, en un suelo rojo arcilloso (precultivo de papa) en el predio demostrativo de Llarquenco bajo, comuna de Saavedra. El suelo presentó una condición de fertilidad inicial buena (altos niveles de fósforo, bases de intercambio y micronutrientes) pero con limitaciones de acidez, que requirió la aplicación de 1.5 ton/ha de cal Soprocál. El manejo INIA consideró una dosis anual de 200 kg ha⁻¹ de nitrógeno equivalente a 430 kg ha⁻¹ de urea, parcializado en tres fechas: siembra (80 kg ha⁻¹) como nitromag, inicio de macolla (180 kg ha⁻¹) y fines de macolla (220 kg ha⁻¹) como urea. El manejo tradicional consistió en 400 kg ha⁻¹ de la mezcla papa a la siembra ($N_{11} - P_2O_{5\ 30} - K_2O_{11}$), sin aplicación posterior de nitrógeno en la macolla del cultivo, que corresponde a la práctica tradicional de la zona. Se utilizó una dosis de 200 kg de semilla ha⁻¹ realizándose la siembra el 5 de junio (invernal y alternativo) y 12 de agosto (primaveral) y la cosecha el 7 de febrero de 2013.

3.1 Resultados de la temporada.

Como el predio demostrativo de Llarquenco bajo está localizado a sólo 10 km de distancia de Tranapunte, es posible utilizar también su información climática para el análisis productivo de esta localidad de la comuna de Saavedra.

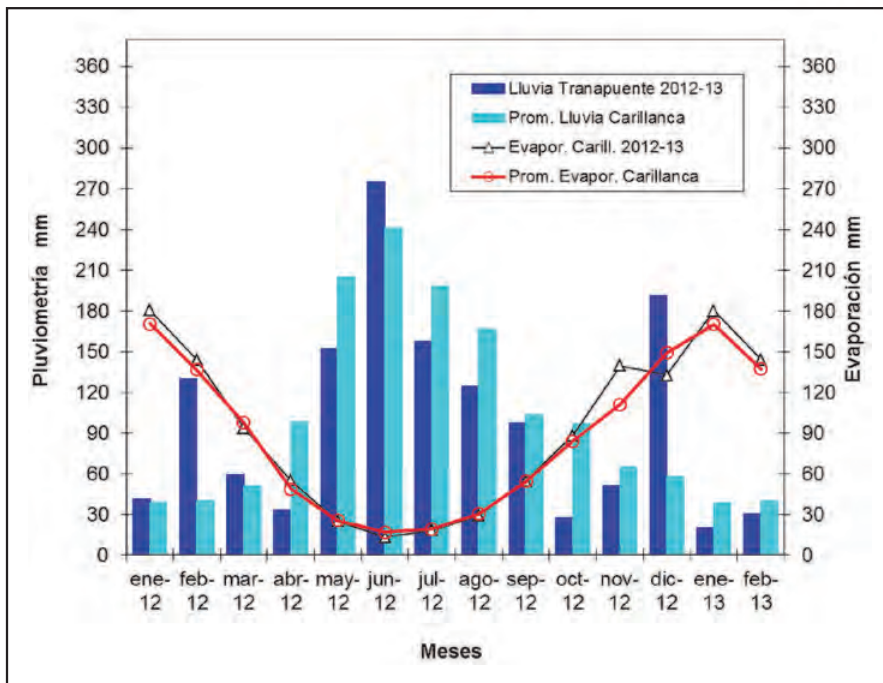


Figura 3. Evolución climática de la zona de Tranapiente, comuna de Carahue, 2012-2013.

El déficit de precipitaciones durante gran parte de la primavera (Figura 3) afectó la fenología normal del cultivo, el cual adelantó la floración. Adicionalmente, el 24 de noviembre se manifestó una inusual “helada negra”, que afectó masivamente a cultivos y frutales en diferentes zonas de La Araucanía. Sin embargo, estos fenómenos tuvieron un impacto diferente en las producciones de los distintos cultivares de trigo, dependiendo de su fenología.

Los rendimientos de grano de trigo de los cv. invernol y alternativo fueron normales (Cuadros 5), aunque en general estuvieron levemente por debajo de los potenciales productivos de la zona. En cambio, el rendimiento del cv. primaveral se mostró fuertemente afectado por las restricciones de lluvia durante la primavera y por el efecto de la helada durante la floración.

En los tres cv. de trigo el manejo INIA fue superior al manejo tradicional (Cuadro 5). Las brechas de rendimiento de grano fueron significativas y fluctuaron entre 11.4 y 23.8 qqm ha⁻¹, lo cual genera un beneficio económico importante para el productor que utilice esta tecnología.

Cuadro 5. Efecto del manejo de nitrógeno en el rendimiento de grano de cv. de trigo harinero. Llarquenco bajo, Saavedra, 2012-2013.

Cultivares de trigo	Manejo del nitrógeno	Urea Anual kg ha ⁻¹	Rdto grano qqm ha ⁻¹	Brecha Rdto. qqm ha ⁻¹	Margen bruto \$/ha
Maxwell-INIA	Tradicional	96	92.2		
Maxwell-INIA	INIA	430	116.0	23.8	283.200
Rupanco-INIA	Tradicional	96	87.7		
Rupanco-INIA	INIA	430	101.1	13.4	116.500
Pantera-INIA	Tradicional	96	41.2		
Pantera-INIA	INIA	430	52.6	11.4	84.300

Precio qqm trigo: \$16.000; Precio kg urea: \$293.

El manejo INIA mostró mayor rendimiento de grano cosechado en comparación al manejo tradicional, lo cual nuevamente era esperable producto de la mayor aplicación de nitrógeno durante la temporada. En esta oportunidad los mayores rendimientos se obtuvieron con el cv. Maxwell-INIA, al igual que las mayores brechas de producción entre ambos manejos. En segundo lugar se ubicó el cv. alternativo Rupanco INIA. Por la misma razón, el margen bruto mayor (\$/ha, calculado como la diferencia entre el ingreso bruto y el costo de la fertilización nitrogenada) fue obtenido por el cv. Maxwell-INIA seguido por el cv. Rupanco INIA.

Los rendimientos del cv. Pantera INIA estuvieron por debajo de su potencial productivo, independientemente del manejo del nitrógeno. La merma productiva de este cv. primaveral se originó en el déficit de precipitaciones durante la primavera y el daño de la helada en su período de floración.

Es interesante destacar que aunque el manejo de N tradicional consideró solamente la aplicación anual de 44 kg ha⁻¹ (96 kg ha⁻¹ de urea), logró alcanzar rendimientos adecuados que incluso superaron los 92 qqm ha⁻¹. Esta situación grafica el gran poder de suministro de N que posee este suelo rojo arcilloso que tenía como cultivo precedente a la papa.



Foto 3. Efecto del manejo de nitrógeno en el rendimiento de grano de cv. de trigo harinero. Llarquenco Bajo, Saavedra, 2012-2013.

4. Predio demostrativo de Pocoyán, comuna de Toltén.

Se estableció una comparación del manejo tradicional versus el manejo INIA del nitrógeno aplicado en cobertera en tres cv. de trigo harinero (invernal, alternativo y primaveral). La actividad se realizó en la temporada 2012-2013, bajo condiciones de secano, en un suelo trumao (precultivo de papa), ubicado en el predio demostrativo de Pocoyán, comuna de Toltén. Previo a la siembra, el suelo fue encalado con 2 ton ha^{-1} de cal Soprocál para corregir las limitaciones de acidez.

El manejo INIA consideró una dosis anual de 200 kg ha^{-1} de nitrógeno, equivalente a 430 kg ha^{-1} de urea, parcializado en tres fechas: siembra (80 kg ha^{-1}) como nitromag, inicio de macolla (180 kg ha^{-1}) y fines de macolla (220 kg ha^{-1}) como urea. El manejo tradicional consistió en 400 kg ha^{-1} de la mezcla papa a la siembra ($\text{N}_{11} - \text{P}_{20} \text{O}_{530} - \text{K}_2\text{O}_{11}$), sin aplicación posterior de nitrógeno en la macolla del cultivo, que corresponde a la práctica tradicional de la zona. Se utilizó una dosis de 200 kg de semilla ha^{-1} realizándose la siembra el 10 de julio (invernal y alternativo) y 6 de septiembre (primaveral) y la cosecha el 7 de marzo de 2013.

4.1 Resultados de la temporada.

El déficit de precipitaciones durante gran parte de la primavera (Figura 4) afectó la fenología normal del cultivo, el cual adelantó la floración. A partir de julio la precipitación se redujo drásticamente y en forma lineal, alcanzando en el mes de noviembre sólo 50 mm . Este déficit de precipitaciones afectó la fenología normal del cultivo, el cual adelantó la etapa de antesis. Adicionalmente, el 24 de noviembre se manifestó una inusual helada, la cual también afectó masivamente a cultivos y frutales en diferentes zonas del sur del país. Estos factores afectaron en algún grado el desarrollo del cultivo y el llenado del grano del trigo, dependiendo de la fenología específica del cv. de trigo.

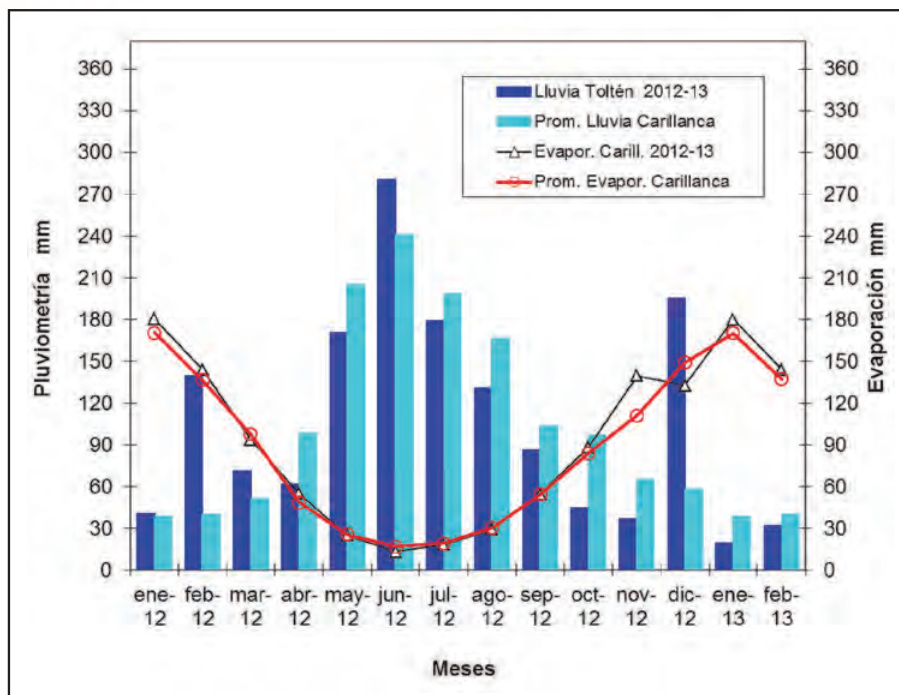


Figura 4. Evolución climática de la zona de Pocoyán, comuna de Toltén, 2012-2013.

Los rendimientos de grano de los distintos cv. de trigo evaluados estuvieron por debajo de lo esperado para los potenciales productivos de estos cv. de trigo en la zona (Cuadro 6).

En relación a la comparación del manejo de N, nuevamente en todos los casos el manejo INIA fue superior al manejo tradicional (Cuadro 6). Las brechas de rendimiento de grano fueron significativas y fluctuaron entre 11.7 (Maxwell INIA) y 21.2 qqm ha⁻¹ (Rupanco-INIA), lo cual de todas maneras genera un beneficio económico importante para el productor que utilice esta tecnología.

El manejo INIA mostró mayor rendimiento de grano cosechado en comparación al manejo tradicional, lo cual nuevamente era esperable producto de la mayor aplicación de nitrógeno durante la temporada. En esta oportunidad los mayores rendimientos se obtuvieron con el cv. Rupanco-INIA, al igual que las mayores brechas de producción entre ambos manejos. Por la misma razón, el margen bruto mayor (\$/ha, calculado como la diferencia entre el ingreso bruto y el costo de la fertilización nitrogenada) fue obtenido por el cv. Rupanco INIA seguido por el cv. Pantera-INIA.



Cuadro 6. Efecto del manejo de nitrógeno en el rendimiento de grano de cv. de trigo harinero. Pocoyan, Toltén, 2012-2013.

Cultivares de trigo	Manejo del nitrógeno	Urea Anual kg ha ⁻¹	Rdto grano qqm ha ⁻¹	Brecha Rdto. qqm ha ⁻¹	Margen bruto \$/ha
Maxwell-INIA	Tradicional	96	63.9		
Maxwell-INIA	INIA	430	75.5	11.7	88.900
Rupanco-INIA	Tradicional	96	59.7		
Rupanco-INIA	INIA	430	80.9	21.2	240.600
Pantera-INIA	Tradicional	96	44.3		
Pantera-INIA	INIA	430	57.3	13.0	110.500

Precio qqm trigo: \$16.000; Precio kg urea: \$293.

Al igual que en las restantes localidades, el manejo de N tradicional consideró solamente la aplicación anual de 44 kg ha⁻¹ (o 96 kg ha⁻¹ de urea). A pesar de ser una dosis baja de N, permitió alcanzar rendimientos adecuados de trigo que incluso superaron los 63 qqm ha⁻¹. Esta situación confirma el gran poder de suministro de N que posee este suelo trumao que tenía como cultivo precedente a la papa.



Foto 4. Efecto del manejo de nitrógeno en el rendimiento de grano de cv. de trigo harinero. Pocoyan, Toltén, 2012-2013.



Conclusiones

Se estableció una comparación del manejo tradicional versus el manejo INIA del nitrógeno aplicado en cobertera en tres cv. de trigo harinero (invernal, alternativo y primaveral). La actividad se realizó en la temporada 2012-2013, bajo condiciones de secano, en suelos trumaos y rojo arcillosos (precultivo de papa) en cuatro predios demostrativo ubicados en las comunas de Carahue, Saavedra, T. Schmidt y Toltén. Los suelos presentaron una condición de fertilidad inicial adecuada (altos niveles de fósforo, bases de intercambio y micronutrientes) y con limitaciones puntuales de acidez que fueron corregidas previo a la siembra del trigo.

En general, los rendimientos de grano de trigo de los distintos cv. evaluados estuvieron por debajo de los potenciales productivos de la zona. El déficit de precipitaciones durante gran parte de la primavera y la llamada “helada negra” ocurrida a mediados de noviembre, tuvieron un impacto variable en las producciones de los diferentes cv. de trigo.

El manejo INIA de los tres cv. de trigo consistentemente alcanzó mayor producción y también una mejor calidad de grano cosechado en comparación al manejo tradicional. Estos resultados eran esperables ya que el manejo INIA consideró una dosis mayor y adecuada parcialización de nitrógeno como urea durante el período de macolla del cultivo.

Los mayores rendimientos se obtuvieron con el cv. Maxwell INIA (invernal), seguido por el cv. Rupanco INIA (alternativo) y Pantera NIA (primaveral), excepto en la localidad de Tranapunte. Las mayores brechas de producción entre ambos manejos se lograron con los cv. de trigo invernal y alternativo. Las condiciones climáticas restrictivas del año 2012, por razones obvias afectaron principalmente al cv. de trigo primaveral. El margen bruto (\$/ha, calculado como la diferencia entre el ingreso bruto y el costo de la fertilización nitrogenada) fue mayor con los cv. invernal y alternativo en Saavedra y T. Schmidt. En cambio, en las localidades de Tranapunte y Toltén, el margen bruto mayor se expresó con los cv. Pantera-INIA y Rupanco-INIA, probablemente por la mejor distribución de la precipitación.

Estos resultados demuestran que una gestión más eficiente de la fertilización nitrogenada de trigos de diferentes hábitos de desarrollo, permite aprovechar en mejor forma las potencialidades del ambiente (clima y suelo) existentes en el territorio, transformando al cultivo de trigo en una nueva e importante alternativa de negocio para los productores del Bordo Costero.

VARIEDADES DE TRIGO RECOMENDADAS POR INIA PARA EL BORDE COSTERO DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA.

Claudio Jobet Fornazzari, Ing. Agr. Ph.D.
cjobet@nia.cl

1. Introducción.

El trigo es el cultivo más importante para Chile, en términos de volumen, superficie y valor económico de la producción, presentando una particular gravitación en las regiones del sur del país, donde se concentra gran parte de su producción y superficie de siembra. Este cultivo, además posee significativos componentes sociales y laborales debido al gran requerimiento de mano de obra que genera, así como también por las numerosas empresas agrícolas para quienes, el trigo, representa un recurso esencial de rotación, producción y comercialización.

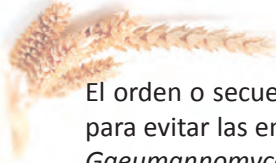
2. Características de la zona.

El clima en la zona se caracteriza por una elevada precipitación, que en las diversas áreas sobrepasa en promedio los 1200 mm anuales. La precipitación se concentra principalmente entre mayo y agosto, con niveles usualmente superiores a los 200 mm mensuales, declinando con posterioridad a niveles cercanos o inferiores a los 30 mm en los meses de verano. Sin embargo, en algunos años, ocurren precipitaciones abundantes y frecuentes en verano, las que en trigos maduros inducen la brotación del grano en la espiga, con grave deterioro de su calidad. Las temperaturas medias mensuales son moderadas, sobrepasando los 6°C en invierno y alcanzando 14 a 17°C en verano. Los promedios invernales permiten un continuo, aunque moderado crecimiento del trigo y el suave incremento de la temperatura en primavera, unido a lo anterior, favorece un muy buen desarrollo del tamaño de la espiga, de sus partes florales y el proceso de fecundación, produciéndose un elevado número de granos por espiga. Las heladas son frecuentes en los meses invernales, alcanzando promedios de 10 heladas por mes, por lo general no producen daños en las sementeras cuando están en pleno período vegetativo.

Una alta proporción del área triguera en el Secano Costero son suelos derivados de cenizas volcánicas que, de acuerdo a su edad, se clasifican como rojo-arcillosos los más antiguos, transicionales algo más reciente, y trumaos los más nuevos. Al mismo tiempo, la plasticidad del suelo húmedo aumenta de acuerdo a la antigüedad, con las consiguientes mayores dificultades de laboreo.

2.1 Rotaciones para sembrar trigo.

Una rotación es un sistema productivo que alterna diversos cultivos en un mismo suelo y que entre otros beneficios mejora la fertilidad del suelo, corta el ciclo de algunas enfermedades y se logra mayor estabilidad productiva.



El orden o secuencia de los cultivos que se lleva en un mismo potrero es muy importante, para evitar las enfermedades radicales del trigo, como el mal del pie (causado por el hongo *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) y la fusariosis (causada por hongos *Fusarium* spp.), así como disminuir la población de malezas y la incidencia de plagas.

Jamás se debiera sembrar trigo después de trigo, cebada, centeno, triticale o después de una pradera antigua constituida principalmente por gramíneas.

Por el contrario, es muy recomendable sembrar trigo después de una pradera de leguminosas de unos tres años de antigüedad ya que estas especies aportan nitrógeno al suelo. Usando buenas rotaciones que alternen cultivos como raps –trigo, lupino-trigo, arveja-trigo, lenteja-trigo, garbanzo-trigo, poroto-trigo, papa-trigo, remolacha-trigo, maíz-trigo, avena-trigo, praderas de leguminosas-trigo, entre otros, el suelo siempre se mantendrá vital y las plantas de trigo crecerán sin problemas en sus raíces.

2.2 Variedades de trigo.

La variedad mejorada de trigo es un componente fundamental para lograr éxito en la producción, ya que ha sido desarrollada para alcanzar un comportamiento óptimo en cuanto a rendimiento, calidad industrial y resistencia a enfermedades. La zona comprometida cuenta con un grupo de variedades recomendadas, inscritas en el Registro Nacional de Variedades y sometidas a los controles oficiales en el proceso de producción de semillas. En ellas están representados los tres hábitos de desarrollo y precocidad, permitiendo al productor la elección de la que más se adapte a sus condiciones.

2.2.1 Elección de la variedad.

Para seleccionar correctamente una variedad es fundamental, en primer término, considerar la zona de cultivo y la fecha de siembra. En el caso de los trigos primaverales su siembra se concentra entre los meses de agosto hasta octubre, dependiendo de las localidades y disponibilidad de agua en el suelo. Las variedades de tipo alternativo, se recomienda sembrarlas fundamentalmente a partir de junio hasta comienzo de primavera, no posponiendo su siembra más allá de mediados de agosto. Las variedades de tipo invernal, por ser las que tienen mayores requerimientos de horas frío, deben sembrarse solamente a principios de otoño hasta inicios de invierno, dependiendo de la precocidad de éstas.

2.2.2 Fecha de siembra.

Sembrar un trigo en su fecha óptima no representa ningún costo adicional al agricultor. La fecha de siembra está relacionada con el tipo de variedad y el sector dentro de la región,



además de ser un factor muy importante a considerar para el éxito del cultivo, pues permitirá que la variedad exprese su máximo potencial. La siembra se debe hacer a una profundidad de 3 a 5 cm, ya que aquellas muy profundas implican que muchas veces las reservas del grano se agoten antes que emerja la nueva planta.

2.2.3 Dosis de semilla.

La dosis de semilla varía según variedad, tamaño y calidad del grano, pero principalmente según el hábito de crecimiento. En trigos de invierno y de hábito alternativo generalmente se siembran entre 160 y 200 kg/ha según el tamaño de la semilla, lo que en promedio asegura una población inicial de unas 350 plantas/m². En variedades de primavera la dosis de semilla puede variar entre 200 y 220 kg/ha, dichas dosis permiten obtener una población de plantas iniciales de 400 plantas/m². Lo importante es tratar que en todos los casos se logre una población de espigas a la cosecha que oscile entre 500 y 600 espigas/m², así se podrá alcanzar un rendimiento superior y comercialmente atractivo.

2.2.4 Uso de semilla certificada.

La semilla es uno de los insumos de producción más importantes en el establecimiento de una buena siembra de trigo, por lo que el uso de una mala semilla es un error difícil y caro de corregir. La semilla certificada asegura al productor un material que tiene **alta pureza** varietal, es decir, sabe exactamente qué variedad está sembrando, le confiere buen **vigor**, o sea, la capacidad que tiene la futura planta de desarrollarse hasta lograr un completo establecimiento en el suelo; y le da un alto **porcentaje de germinación**, asegurando al productor un número adecuado de plantas por metro cuadrado. Finalmente esto se reflejará en el rendimiento de grano obtenido.

2.2.5 Profundidad de siembra.

Por una mala regulación de la máquina sembradora, inadecuada preparación de suelo, entre otras razones, puede depositar la semilla a una profundidad inadecuada, o muy superficial o muy profunda, razón por la cual se afecta el desarrollo de las estructuras del embrión generando, en la mayoría de los casos, tardanza en emerger, plantas débiles y de poco vigor. En la Foto 1 se observa con claridad la diferencia entre sembrar a una profundidad adecuada, versus una profundidad excesiva.

Para obtener una profundidad de siembra correcta es necesario que la cama de siembra tenga un grado de compactación adecuada. Si al caminar sobre la cama de semilla el zapato no se entierra más allá de la suela, la preparación de suelo fue realizada correctamente. En general, en suelos arcillosos la semilla debe quedar a menor profundidad que en suelos arenosos. Sin embargo, si la superficie del suelo está seca y no se dispone de agua para regar, es conveniente sembrar a mayor profundidad.



Foto 1. Efecto de la profundidad de siembra sobre el desarrollo de la plántula de trigo

Fuente: M. Stapper, 2007 (Fundación Chile, 2011)

3. Calidad industrial del trigo.

La calidad industrial del trigo producido en la zona sur es muy importante, por la proporción que representa a nivel nacional y por la competencia con el trigo importado. Desde hace años la zona sur cuenta con variedades comerciales de calidad adecuada para los usos de la industria que, al generalizar su uso, han mejorado el promedio de calidad, incentivando las compras de la molinería de otras zonas. La calidad se ha visto favorecida también por el uso de mayores dosis de fertilizantes nitrogenados y mejores épocas de aplicación por parte de los productores. Con ello se ha mejorado la cantidad y calidad de la proteína del grano y comienza a extenderse la práctica de aplicar una cantidad adicional de nitrógeno en la etapa de dos a tres nudos, mejorando apreciablemente la calidad del grano.



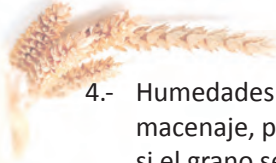
Cuadro 1. Pruebas y requisitos para la clasificación del trigo establecidas por la Norma NCh1237 Of2000.
Las propiedades indicadas están asociadas a la calidad de los productos finales que se desean elaborar con las harinas producidas.

Clases de Trigo	Gluten Húmedo (%)	Sedimentación Corregida (ml)	Contenido de Proteína (%)	Fuerte
≥30	≥33	≥10.5	Intermedia	25 - 29.9
27 - 32.9	9 - 10.4	Suave	18 - 24.9	17 - 26.9
7 - 8.9	Sub estándar	<18	<17	<7

Fuente: Zúñiga, J., 2013, Manual de Manejo para el Cultivo de Trigo INIA-Copeval, 2013.

3.1 Análisis de calidad.

- 1.- **Gluten húmedo (GH):** residuo insoluble que queda luego de lavar una cantidad de harina con una solución salina mediante un amasado controlado. El GH se expresa como porcentaje en base a 14% de humedad. Debido a que la mayor parte de los sólidos del GH son proteínas, su contenido depende fundamentalmente del contenido de proteína del grano. El GH en trigo varía entre 17% y 60%. La norma NCh1237 Of 2000 distingue cuatro clases de trigo de acuerdo al GH.
- 2.- **Volumen de sedimentación (VS):** volumen de sedimento que origina una cantidad estandarizada de harina por tratamiento con una solución de ácido láctico. El VS se expresa en mililitros de sedimento (ml) previa corrección por la humedad de la muestra, y varía entre 20 y 70 ml. La norma NCh1237 Of 2000 distingue cuatro clases de trigo de acuerdo al VS, aunque hoy en día prácticamente no se utiliza para fines de comercialización.
- 3.- **Contenido de proteína (CP) del grano:** corresponde a las proteínas totales del mismo y se expresa como porcentaje en base a una humedad del 14%. El CP del trigo varía entre 5% y 15%. La norma NCh1237 Of 2000 distingue cuatro clases de trigo de acuerdo al CP, aunque normalmente no es utilizado para estos fines.

- 
- 4.- Humedades de grano por encima de 14.5% afectan negativamente la seguridad en el almacenaje, por lo que deben ser sometidos a secado. Esto es especialmente importante si el grano se almacena en silos bolsa, debido a que disminuye el período de almacenamiento seguro y obliga a un monitoreo constante para evitar el deterioro del grano y su calidad.
 - 5.- Falling Number: también conocido como Número de Caída. Esta prueba mide el contenido de la enzima alfa-amilasa, que aparece en el grano producto de la germinación, expresándolo en segundos de caída o simplemente segundos. Se utiliza para tipificar el deterioro de la calidad del trigo por efecto de las lluvias de pre-cosecha, siendo 250 segundos el valor de corte para ello.

4. Variedades de trigo recomendadas por INIA.

Las variedades actualmente recomendadas por INIA para zona del Borde Costero de La Araucanía y algunas de sus principales características, se exponen a continuación.

4.1 MAXWELL INIA.

Es un trigo de hábito de desarrollo invernal (requiere vernalización), muy rastrero al estado de plántula, macollaje débil en sus inicios y de lento crecimiento. Sus hojas son de color verde oscuro, con hoja bandera delgada y semierecta. La espiga es de color blanco amarillo, semi curvada a la madurez, forma paralela, densa, compacta y con barbas. El grano es de forma redondeada, tamaño mediano, color café oscuro, pudiendo presentar ocasionalmente ciertos cambios de pigmentación en el endosperma, dependiendo del ambiente y/o temporada. La altura de planta adulta varía entre los 70 y 95 cm, con un promedio de 90 cm, siendo considerado un trigo semienano a enano y significativamente más bajo que otras variedades de trigo. Tiene un tallo hueco de longitud media con una muy buena resistencia a la tendadura. Resistencia a polvillo estriado de la hoja (*Puccinia striiformis* West. f. sp. *tritici* Erikss.) y susceptibilidad a polvillo colorado de la hoja (*Puccinia triticina* Erikss). Buena tolerancia a septorios (*Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt.), y resistente a oidio causado por el hongo *Blumeria graminis* D.C. f sp. *tritici* Marchal. Variedad que ha mostrado moderada sensibilidad a suelos con problemas de acidez, por lo que se recomienda corregir esta situación. Del mismo modo, tiene sensibilidad a enfermedades radicales por lo que se sugiere incorporarlo dentro de una adecuada rotación de cultivos.

En ensayos de rendimiento efectuados en diferentes localidades desde Chillán hasta Purranque, incluyendo la zona del Borde Costero de la Región de La Araucanía, la variedad Maxwell INIA ha demostrado tener un rendimiento estable y superior a muchas variedades comerciales dentro de una gran zona triguera, con diversas características agroclimáticas.

Desde el punto de vista de calidad industrial un trigo de peso del hectolitro entre 76 y 80 kg/Hl, de textura de grano dura a semidura, presenta un porcentaje de proteína promedio superior al 9,0%, una cifra de sedimentación de alrededor de 32 cc, y su contenido de gluten



húmedo puede ser cercano a un 26%, variando de 24 a 30% o más, dependiendo de la localidad y del manejo de la fertilización, que lo ubican en la categoría de tipo intermedio (NCh 1237-2000). Respecto a la harina, esta es de color crema, que tiene la particularidad de que se puede blanquear.



Foto 2. Siembra de Maxwell INIA.

Cuadro 2. Antecedentes técnicos de la variedad de trigo Maxwell INIA para el Borde Costero de la Región de La Araucanía.

Variedad	Hábito de desarrollo	Época de siembra	Dosis de semilla (kg/ha)	Sanidad	Peso hectolitro (kg/Hl)	Altura planta (cm)	Calidad
Maxwell	Invernal	Mayo-Julio	180-200	Media	76-80	80-90	Intermedia

4.2 RUPANCO INIA

Variedad de hábito de desarrollo alternativo, cuya respuesta a los cambios en la época de siembra en la zona sur es más acentuada que la de otras variedades. La planta presenta hábito de crecimiento semirastrero a la macolla, con buena capacidad de macollaje y baja altura, que varía entre 95 y 105 cm, con un promedio de 93 cm. En etapa de espigadura su hoja bandera se presenta semiencontrada. Su espiga tiene color amarillo a castaño, es semidecumbente, fusiforme, de densidad media y con barbas de largo medio sobre toda



la espiga. El grano es ovoide, de color rojo, de tamaño mediano, con un peso promedio de 1000 granos de 39 g. Ha presentado moderada resistencia al ataque del polvillo estriado y polvillo de la hoja.

Rupanco-INIA se ha incluido en ensayos de rendimiento que se han sembrado en invierno (mayo-junio) y en primavera (agosto-septiembre). Los resultados obtenidos indican que es una variedad de buen rendimiento y estable, tanto para siembras de invierno como de primavera.

Sus características de calidad, lo presentan de grano más blando, menor valor de sedimentación y menor porcentaje de gluten húmedo, clasificándolo como un trigo de clase suave y de harina muy blanca.

La variedad ha demostrado, sin embargo, tener un muy buen comportamiento en suelos ácidos y con alto contenido de aluminio fitotóxico.



Foto 3. Siembra de Rupanco INIA.



Cuadro 3. Antecedentes técnicos de la variedad de trigo Rupanco INIA para el Borde Costero de la Región de La Araucanía.

Variedad	Hábito desarrollo	Época de siembra	Dosis de semilla (kg/ha)	Sanidad	Peso hecto-litro (kg/Hl)	Altura planta (cm)	Calidad
Rupanco	Alternativo	Mayo-Septiembre	180-200	Media	80-82	95-105	Suave

4.3 PANTERA INIA Clearfield®

Es un trigo de hábito de desarrollo primaveral, crecimiento erecto al estado de plántula. La altura varía entre 90 y 95 cm, y normalmente presenta algunas plantas con mayor altura que el promedio, lo que es muy común en trigos semienanos. El grano es de tamaño intermedio a grande, color café oscuro, aspecto vítreo, y forma ovada y el peso de 1.000 semillas es de 48 a 50 g. La espiga es de densidad media, aproximadamente de 10 a 11 cm de largo, color blanco, semidecumbente a la madurez, forma piramidal y barbas largas distribuidas en toda su extensión. Es un trigo con moderada susceptibilidad a la roya estriada y colorada de la hoja. Ha presentado moderada resistencia al oidio causado por el hongo *Blumeria graminis* D C. f. sp. *tritici* Marchal., y cierta susceptibilidad a Septoriosis de la hoja, por lo que es necesario observarlo detenidamente en campo por posible aplicación de fungicida.

En ensayos efectuados en el Borde Costero durante varios años y en diferentes localidades ha rendido satisfactoriamente.

Es un trigo de alto peso del hectolitro (85 kg/hL) y de textura semidura. Los valores de sedimentación, gluten húmedo y de proteína lo clasifican como trigo fuerte. Esto, sumado al buen volumen del pan, lo ubican en la categoría de un trigo de panificación directa.

Variedades Clearfield®: consiste en el uso de variedades resistentes a herbicidas del grupo de las imidazolinonas (IMI). Los trigos Clearfield® pueden ser manejados con herbicidas convencionales, pero las variedades convencionales NO pueden ser manejadas con herbicidas Clearfield®.

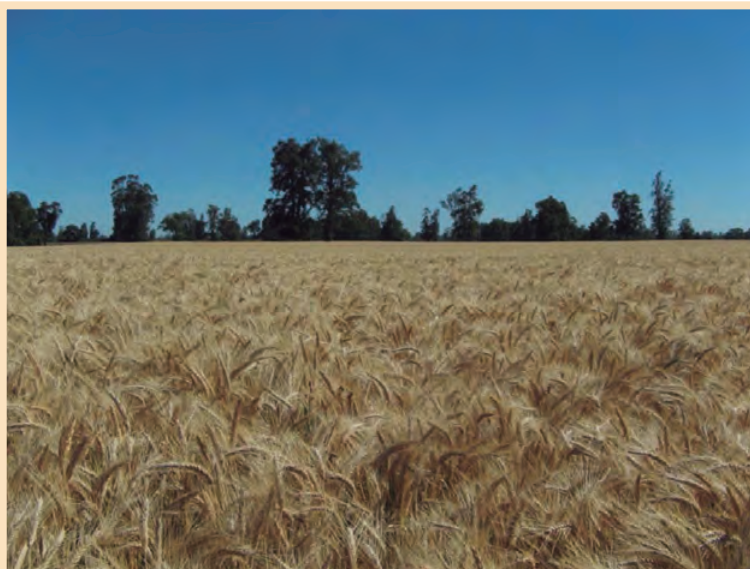


Foto 4. Siembra de Pantera INIA Clearfield®.

Cuadro 4. Antecedentes técnicos de la variedad de trigo Pantera INIA Clearfield® para el Borde Costero de la Región de La Araucanía.

Variedad	Hábito de desarrollo	Época de siembra	Dosis de semilla (kg/ha)	Sanidad	Peso hectolitro (kg/Hl)	Altura planta (cm)	Calidad
Pantera	Primaveral	Agosto-Octubre	200-220	Media	81-84	90-95	Fuerte

5. Resultados obtenidos en el Borde Costero. (Promedio tres años)

Agricultores y profesionales del Borde Costero de La Araucanía se han unido a la nueva apuesta de transferencia tecnológica que ejecuta el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) a partir de 2010, con la metodología CTE, donde se trabaja en el proyecto Centro de Transferencia Tecnológica y Extensión CTE Borde Costero, importante herramienta que permitirá impactar fuertemente en el desarrollo económico, ambiental y social del territorio costero, a través de un aumento de la competitividad del principal sistema productivo de las familias campesinas. El CTE tiene su área de influencia en las comunas de Saavedra, Carahue, Toltén y Teodoro Schmidt, focalizando su accionar en los rubros de papa y trigo, con el fin



de aumentar la productividad de los sistemas y mejorar el nivel organizacional y comercial de los pequeños y medianos productores del sector.

Las acciones directas de difusión que se han implementado son capacitaciones, charlas técnicas, días de campo y edición de material divulgativo audiovisual. Especial mención requiere el establecimiento de unidades demostrativas establecidas en predios de productores donde se validan las tecnologías bajo las condiciones locales, constituyendo un importante instrumento para demostrar y comparar el efecto de las tecnologías propuestas por INIA, bajo la dotación de recursos que posee el productor.

En base a lo anterior, durante el desarrollo del CTE tres variedades están siendo recomendadas para la zona, ellas son Maxwell INIA, Rupanco INIA y Pantera INIA, resultado de las evaluaciones que se realizaron en distintas localidades y temporadas dentro del Territorio Costero (Cuadro 5).

Cuadro 5. Resultados obtenidos de tres variedades de trigo para diferentes localidades y temporadas en el Bordo Costero de la Región de La Araucanía.
(Promedio de tres temporadas)

Variedad	Hábito desarrollo	Época de siembra	Altura planta (cm)	Peso hectolitro (kg/Hl)	Rendimiento Promedio (qqm/ha)	Gluten (ml)	Proteína grano (%)
Maxwell	Invernal	mayo-julio	90-100	76-80	104	25	8,6
Rupanco	Alternativo	mayo-agosto	100-105	80-84	95	21	8,1
Pantera	Primaveral	agosto-octubre	95-100	81-84	82	31	9,8

Datos obtenidos de parcelas demostrativas

6. Establecimiento y manejo de trigo en bases a Cropcheck.

El Cropcheck es un sistema de transferencia tecnológica basado en la observación y monitoreo del cultivo de acuerdo con determinados “*puntos de chequeo*”, que se han definido como críticos para alcanzar una meta de rendimiento por hectárea y calidad de grano. A partir del análisis de los resultados obtenidos en los puntos de chequeo y de la comparación con los resultados obtenidos por otros productores, los agricultores aprenden de su propia experiencia y de la experiencia de otros productores, lo que les permite ir mejorando gradualmente las prácticas en el manejo de sus cultivos.

La implementación del Cropcheck involucra una activa participación de los productores ya que requiere se realicen metódicamente actividades de observación, medición, registro de datos, interpretación e implementación de acciones correctivas, todo lo cual permite identificar las fortalezas y debilidades en el manejo y que se deben traducir en lograr mejores

resultados productivos (Figura 1). De esta forma, realizando un seguimiento y aplicando el manejo agronómico apropiado, de acuerdo a cada punto crítico establecido, por ejemplo: PH del suelo y acidez, época de siembra, profundidad de siembra, población establecida, control de malezas, población de macollos, fertilización del cultivo, humedad del suelo a la floración, control de enfermedades, hojas verdes en floración, población de espigas y humedad del grano a la cosecha, durante el desarrollo del cultivo en base a su fenología (Escala de Zadok et al, 1974), se podrá alcanzar un nivel productivo económicamente aceptable y con una calidad industrial superior.

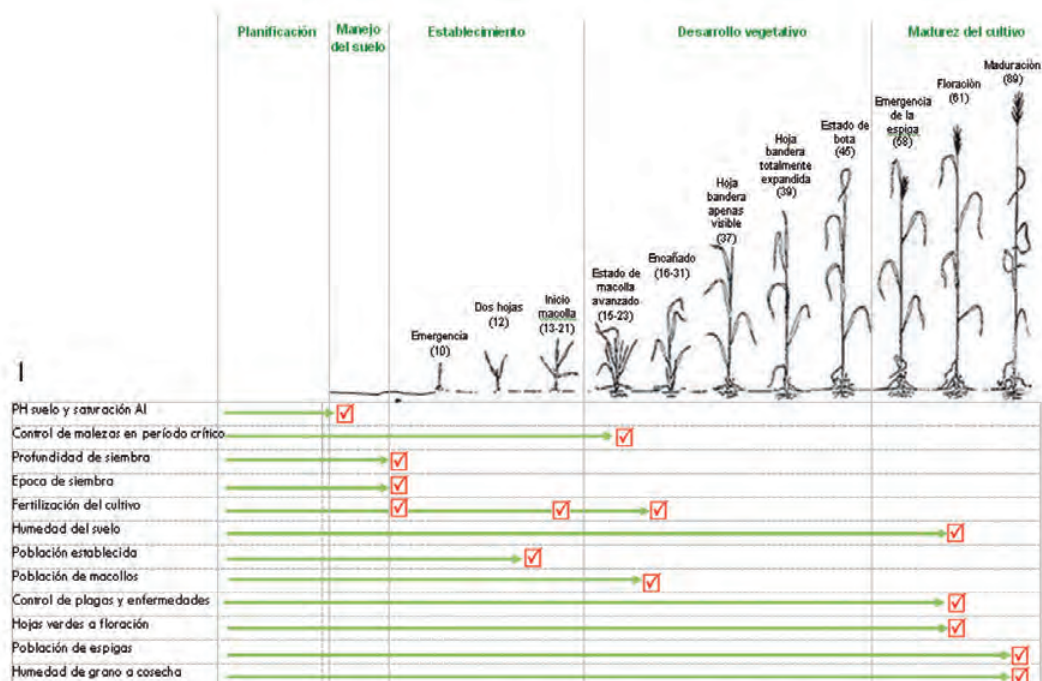


Figura 1. Estados de desarrollo del cultivo y momento Cropcheck.

Fuente: Fundación Chile (2011)



Literatura Consultada.

Mellado, M. 2004. Boletín de trigo, 2004. Manejo tecnológico. Ministerio de Agricultura. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Carillanca. 185p.

Zúñiga, J. 2013. Boletín de trigo, 2013. COPEVAL. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Carillanca. 185p.

Stapper, M. 2007. ICF Report–High-Yielding Irrigated Wheat Crop Management. Csiro.

Fundación Chile. 2011. Crop Check. Manual de recomendaciones cultivo de trigo. 46 pp.

Zadoks, J., Chang, T y Konzak, C. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Researches 14:415-421p.





CAPÍTULO 5.

PRINCIPALES ENFERMEDADES DEL TRIGO EN EL BORDE COSTERO DE LA REGIÓN DE LA ARAUCANÍA

Rafael Galdames G., Ing. Agrónomo Dr.
rgaldame@inia.cl

1. Introducción.

El cultivo de trigo en Chile es afectado por numerosas enfermedades ocasionadas por agentes infecciosos, dentro las que destacan por su mayor número e importancia los hongos fitopatógenos. Durante cada temporada agrícola las enfermedades representan un factor de riesgo en el cultivo, cuyo impacto en el rendimiento y calidad del grano dependerá fundamentalmente, entre otras causas, de: enfermedad específica, características climáticas de la temporada, época de siembra y variedad empleada.

Las estrategias que permiten controlar y/o evitar las pérdidas para la mayoría de las enfermedades que afectan al cultivo de trigo, dependen fundamentalmente de una adecuada elección de la variedad, un preciso y oportuno diagnóstico de las eventuales enfermedades presentes, de tal forma de emplear, cuando existan, las mejores opciones fungicidas disponibles en el mercado. Desafortunadamente, no todas las enfermedades pueden ser controladas de manera efectiva a través de una adecuada elección de una variedad, así como también no para todas las enfermedades existen opciones fungicidas disponibles.

En el presente capítulo se entregan antecedentes de las enfermedades más importantes que afectan al trigo en el Borde Costero de la Región de La Araucanía. Para cada enfermedad se indica su agente causal y se describe la sintomatología, factores predisponentes, pérdidas y las medidas de control.

Finalmente, se entrega un listado de los productos fungicidas que poseen registro en Chile como tratamientos foliares y de semilla (Cuadro 1 y 2), para ser empleados en el control de las diferentes enfermedades descritas. Se sugiere que el agricultor se informe de las características específicas del producto, considerando los antecedentes entregados por el fabricante en la etiqueta.

2. Enfermedades que afectan al trigo.

2.1 SEPTORIOSIS DE LA HOJA O MANCHA FOLIAR

- **Agente causal:** *Septoria tritici* (*Mycosphaerella graminícola*)
- **Sintomatología:** los primeros síntomas pueden detectarse tempranamente durante la macolla. Se caracterizan por la formación de manchas levemente amarillentas y luego oscuras o necróticas en las hojas (Foto 1 y 2). Sobre las machas necróticas se forman

picnidios, los que a simple vista se ven como pequeños puntos negros. Los síntomas de esta enfermedad siempre comienzan en las hojas inferiores y avanzan progresivamente a hojas superiores, pudiendo llegar a la hoja bandera (patrón de infección ascendente, foto 3). En ataques severos puede incluso afectar a las espigas.

- **Factores predisponentes:** se favorece principalmente por factores asociados al manejo así como factores ambientales. Las siembras tempranas (mayo-junio), monocultivo, siembras en cero labranza sobre rastrojo, siembras tempranas de variedades precoces, alta fertilización nitrogenada y alta densidad de plantas, representan los principales factores de manejo que la favorecen. Por otra parte, las precipitaciones primaverales abundantes es el factor ambiental crítico para su desarrollo.
- **Nivel de pérdidas:** pérdidas significativas ocurren cuando los síntomas comprometen el tercio superior de la planta. Evaluaciones experimentales han permitido de estimar caídas de rendimiento entre 9,9% y 41%. En la mayoría de los casos se producen disminuciones significativas en el peso de grano.



Foto 1. Clorosis y necrosis inicial en hojas basales, al estado de macolla, donde se observan los picnidios (Fotografía Dr. Orlando Andrade)



Foto 2. Necrosis severa en hoja al estado de planta adulta, donde se observan picnidos en el tejido afectado. (Fotografía: G.H.J. Kema)



Foto 3. Síntomas en plantas espigadas, mostrando un patrón de infección foliar de tipo ascendente.

2.1.1 Prevención y control

- **Resistencia genética:** no existen altos niveles de resistencia en las variedades disponibles. Las variaciones de susceptibilidad entre variedades están asociadas a la fecha de siembra y hábito de crecimiento. Variedades de invierno de largo ciclo vegetativo son menos afectadas que las más precoces.

- 
- **Rotación de cultivos y manejo del rastrojo:** la rotación de cultivos y la incorporación profunda y/o quema del rastrojo puede disminuir la cantidad de inóculo disponible para el nuevo ciclo de la enfermedad. Sin embargo, como el hongo puede diseminarse a largas distancias a través de sus ascosporas, esta práctica será efectiva en la medida que se implemente de manera coordinada en superficies o áreas extensas de siembra.
 - **Época de siembra:** en la medida que las siembras se atrasan la incidencia de la enfermedad se reduce. En La Araucanía, siembras desde mediados de julio en adelante, la enfermedad normalmente no incide.
 - **Fertilización:** evitar aplicar dosis excesivas de nitrógeno, ya que este nutriente aumenta la succulencia del tejido y favorece la infección.
 - **Control químico:** existen diversas opciones de fungicidas foliares. En siembras tempranas y temporadas de alta pluviometría primaveral, dos aplicaciones de fungicidas foliares son requeridas para un control satisfactorio: la primera al estado de 2 nudos y la segunda 35-40 días después.

2.2 ROYA AMARILLA O POLVILLO ESTRIADO

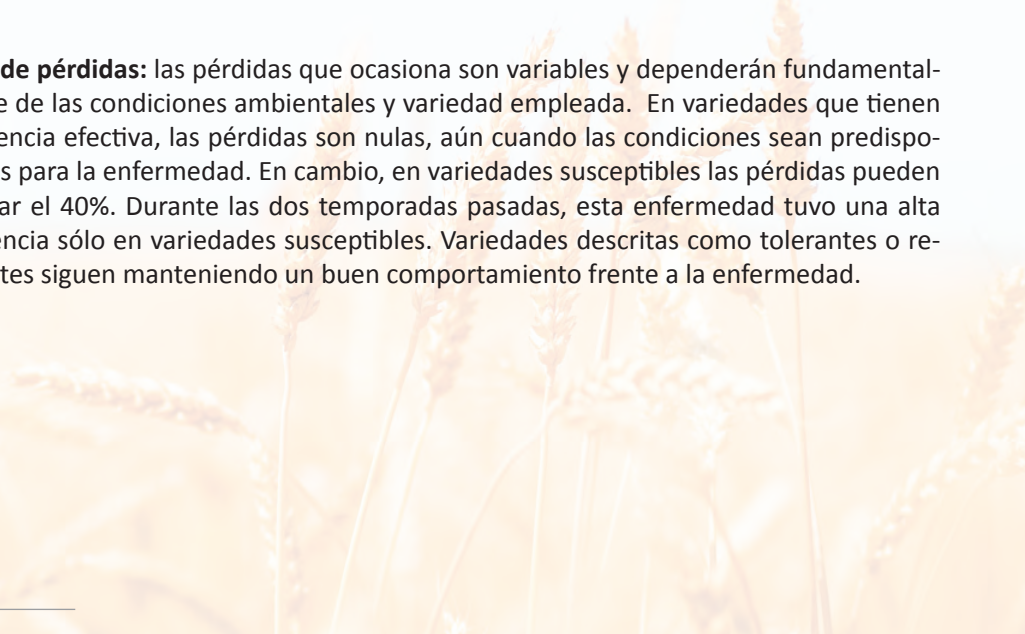
- **Agente causal:** *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*
 - **Sintomatología:** pústulas de color amarillo anaranjado, distribuidas como estrías lineales y paralelas en las hojas (Foto 4). Las pústulas también pueden presentarse en las espigas (Foto 5).
 - **Factores predisponentes:** empleo de variedades susceptibles. Condición ambiental con períodos de temperaturas moderadas (10°C-15°C) y húmedas. Fertilización nitrogenada alta.
 - **Nivel de pérdidas:** las pérdidas que ocasiona son variables y dependerán fundamentalmente de las condiciones ambientales y variedad empleada. En variedades que tienen resistencia efectiva, las pérdidas son nulas, aún cuando las condiciones sean predisponentes para la enfermedad. En cambio, en variedades susceptibles las pérdidas pueden superar el 40%. Durante las dos temporadas pasadas, esta enfermedad tuvo una alta incidencia sólo en variedades susceptibles. Variedades descritas como tolerantes o resistentes siguen manteniendo un buen comportamiento frente a la enfermedad.
- 



Foto 4. Pústulas de color amarillo anaranjado, distribuidas como estrías lineales y paralelas en las hojas.



Foto 5. Presencia de pústulas en la espiga (glumas y barbas). (Fotografía Dr. Ricardo Madariaga)



2.2.1 Prevención y control.

- **Resistencia genética:** existen varios genes que confieren resistencia efectiva contra el polvillo estriado, algunos de los cuales han sido incorporados en variedades recientes. Por lo anterior, el empleo de variedades resistentes es la mejor medida de control de esta enfermedad. Como el hongo tiene la capacidad de generar variantes patogénicas o nuevas razas, la característica de resistencia en una variedad no es permanente. Por lo anterior, la renovación con nuevas variedades resistentes es recomendable.
- **Fertilización:** evitar aplicar dosis excesivas de nitrógeno, ya que este nutriente aumenta la succulencia del tejido y genera follaje más frondoso, favoreciendo la infección.
- **Control químico:** varios fungicidas foliares muestran muy buena efectividad en el control de esta enfermedad.

Al emplear variedades susceptibles a esta enfermedad, es recomendado realizar un tratamiento fungicida inmediatamente detectadas las primeras pústulas. Una segunda aplicación puede ser requerida, siempre y cuando las plantas no hayan alcanzado el estado de grano pastoso.

2.3 ROYA COLORADA DE LA HOJA.

- **Agente causal:** *Puccinia triticina* (= *Puccinia recondita* f.sp. *tritici*)
- **Sintomatología:** produce pústulas de color anaranjado a rojizo, que se distribuyen de manera irregular principalmente en la lámina (fotos 6 y 7) y vainas de las hojas. Cuando la infección es avanzada, pústulas de color negro aparecen en ambas caras de las hojas senescentes. En nuestra zona se observan síntomas de esta enfermedad tanto en trigo como en triticale.

En La Araucanía, los primeros síntomas de roya colorada aparece a fines de noviembre, es decir alrededor de un mes más tarde que la roya amarilla.



Foto 6. Inicio de la infección donde se aprecia una pústula en formación.



Foto 7. Infección avanzada donde se observan abundantes pústulas de color anaranjado a rojizo, distribuidas principalmente en la lámina y vainas de las hojas. (Fotografía : Investigador Javier Zuñiga).

- **Factores predisponentes:** empleo de variedades susceptibles. Condiciones ambientales templadas, con temperaturas diurnas de 20-25°C y nocturnas de 15 a 20°C, acompañadas de humedad en forma de rocío.

- 
- **Nivel de pérdidas:** las pérdidas que ocasiona son variables y dependerán fundamentalmente de las condiciones ambientales y de la variedad empleada. Experimentalmente, en la zona donde esta enfermedad es más prevalente (Región del Bío Bío), se han determinado caídas de rendimiento de 17%, en una variedad susceptible, no así en variedades resistentes, donde las pérdidas no son significativas

2.3.1 Prevención y control

- **Resistencia genética:** existen varios genes que confieren resistencia efectiva al polvillo colorado. Similar a lo que ocurre con la roya estriada, el hongo tiene la capacidad de generar muchas variantes patogénicas o razas, quebrando rápidamente la resistencia varietal. Por lo anterior, es importante elegir una variedad reciente con un buen nivel de resistencia.
- **Control químico:** varios fungicidas foliares muestran muy buena efectividad en el control de la roya colorada y estriada. Se sugiere realizar aplicaciones de fungicidas foliares tan pronto como se detecten los primeros síntomas. Si éstos aparecen tardíamente o en un estado muy avanzado de desarrollo del cultivo (después de grano pastoso), la relación costo beneficio del tratamiento se hace muy estrecha y/o negativa.

2.4 OIDIO

- **Agente causal:** *Oidium monilioides* (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*)
- **Sintomatología:** se caracteriza por la presencia de micelio superficial blanco-grisáceo de apariencia algodonosa principalmente en hojas (Foto 8), aunque también puede observarse en las espigas, afectando glumas y barbas (Foto 9). Sobre el tejido infectado maduro y/o senescente se observan pequeños puntos negros, que corresponden a los cleistotecios. Normalmente los síntomas avanzan desde las hojas basales a las superiores, cuando hay condiciones de alta humedad.

Los síntomas se observan frecuentemente en cultivos de áreas con baja ventilación, alta densidad de plantas, alta fertilización nitrogenada y ambiente con alta humedad relativa.



Foto 8. Desarrollo de micelio superficial en las hojas ((Fotografías CIMMYT)



Foto 9. Micelio en la espiga (glumas y barbas), (Fotografía Dr. Ricardo Madariaga)

- **Factores predisponentes:** empleo de variedades susceptibles. Excesiva fertilización nitrogenada. Siembras muy densas y ambientes con alta humedad relativa y temperaturas moderadas (15-22° C).

- 
- **Nivel de pérdidas:** las pérdidas que ocasiona el oídio son variables y muy dependientes de la variedad, condiciones ambientales y manejo de la fertilización nitrogenada. Experimentalmente, empleando una variedad susceptible, se han estimado pérdidas de rendimiento de 5% y 12 %, para niveles de fertilización nitrogenada de 150 y 225 kg/ha, respectivamente.

2.4.1 Prevención y control

- **Resistencia genética:** se dispone de variedades que poseen un alto nivel de resistencia a oídio. Por lo anterior, el empleo de variedades con dicha característica, es la mejor medida de control. Sin embargo, el hongo tiene la capacidad de generar variantes patogénicas o nuevas razas, determinando que la resistencia de una variedad no sea una característica permanente en el tiempo. Las variedades deben ser renovadas para mantener un buen control.
- **Fertilización nitrogenada:** evitar dosis excesivas de nitrógeno, ya que aumenta la succulencia del tejido, generando follaje más frondoso y favoreciendo la infección.
- **Dosis de siembra:** ajustarse a la dosis de semilla recomendada para la variedad, ya que poblaciones de plantas muy altas o densas generan un ambiente muy propicio para esta enfermedad.
- **Rotación de cultivos y manejo del rastrojo:** la rotación de cultivos y la incorporación profunda y/o quema del rastrojo puede disminuir la cantidad de inóculo disponible para el nuevo ciclo de la enfermedad. Sin embargo, como las conidias son transportadas a grandes distancias por el viento, esta práctica es más efectiva en la medida que se implemente de manera coordinada en superficies o áreas extensas de siembra.
- **Control químico:** productos fungicidas efectivos en el control de roya y septoriosis representan buenas opciones de control del oídio. Al emplear una variedad susceptible, dándose las condiciones de ambiente y manejo mencionadas, la aplicación de un fungicida foliar puede ser requerido siempre y cuando se presente infección en las hojas superiores y/o espigas.

2.5 MAL DEL PIE

- **Agente causal:** *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*.
- **Sintomatología:** los síntomas son variados y dependen del estado de desarrollo de las plantas afectadas. En ataques tempranos las plantas presentan clorosis foliar y ennegrecimiento de raíces (Foto 10). En estados avanzados, el ennegrecimiento es más intenso comprometiendo el cuello de las plantas. Además, durante la madurez de la planta es común observar la presencia de espigas blancas (Foto 11). En el campo, la enfermedad se presenta como sectores o áreas de extensión variable, con plantas que presentan amarillez foliar, menor desarrollo y menor población.



Foto 10. Clorosis foliar y ennegrecimiento de raíces en estados iniciales (Fotografía Dr. Orlando Andrade).



Foto 11. Espigas blancas y ennegrecimiento de cuello y raíces en planta adulta (Fotografía CIMMYT)

- **Factores predisponentes:** condiciones como alta pluviometría y mal drenaje del suelo favorecen la enfermedad, y entre los factores de manejo, el monocultivo de trigo, siembras tempranas, presencia de malezas gramíneas y deficiente fertilización. En la medida que todos estos factores se conjugan, el riesgo de la enfermedad incrementa notoriamente.

- 
- **Nivel de pérdidas:** las pérdidas pueden ser extremadamente variables, lo cual está condicionado a las diversas y complejas interacciones entre los factores que influyen en el desarrollo de la enfermedad. En evaluaciones experimentales realizadas bajo inoculación artificial con *G. graminis*, las pérdidas han fluctuado entre 19,8 y 80,1%.

2.5.1 Prevención y control.

- **Resistencia genética:** no se han identificado fuentes de resistencia genética a esta enfermedad. Todas las variedades son afectadas por mal del pie.
- **Rotación de cultivos:** evitar monocultivo. Rotación con avena, raps, lupino, son opciones para La Araucanía. Lo anterior reducirá de manera importante el riesgo de infección por mal del pie en la medida que también se realice un buen control de malezas gramíneas, ya que muchas de ellas actúan como reservorio del hongo. Rotaciones largas son más efectivas.
- **Época de siembra:** en siembras tempranas la incidencia es mayor. En la medida que las siembras se atrasan el riesgo reduce, especialmente en suelos pesados o con mal drenaje.
- **Fertilización:** cultivos con balanceada nutrición de nitrógeno, fósforo y potasio son menos afectados, por tanto se aconseja ajustar la fertilización a las necesidades que indique el análisis de suelo.
- **Control químico:** algunos tratamientos químicos aplicados a la semilla han mostrado disminución en la incidencia de la enfermedad. Sin embargo, para ataques severos no hay tratamientos efectivos.

2.6 CARBONES (Volador y Cubierto).

- **Agente causal:** *Ustilago tritici* (carbón volador); *Tilletia tritici* (= *T. caries*) y *Tilletia leavis* (= *T. foetida*) (Carbón cubierto).
- **Sintomatología:** en el carbón volador o desnudo, los síntomas se observan claramente durante espigadura, ya que las espiguillas son destruidas completamente y se hacen evidentes las masas de esporas negras de aspecto carbonoso (Foto 12).

El carbón cubierto es menos evidente; la espiga enferma muestra sólo cierto grado de deformación y las glumas abiertas. Sin embargo, los granos en su interior están llenos de esporas de aspecto carbonoso (Foto 13), a veces con olor apestoso como pescado descompuesto (*T. leavis*).



Foto 12. Carbón volador: desintegración de espigas con abundantes masas de esporas de aspecto carbonoso (Fotografía CIMMYT).



Foto 13. Carbón cubierto: espiga afectada junto a granos completamente reemplazados en su interior por masas de esporas de aspecto carbonoso (Fotografía Dr. Orlando Andrade).

- 
- **Nivel de pérdidas:** no adquieren importancia en la medida que se emplee semilla de buena calidad y se desinfeste con fungicidas.
 - **Factores predisponentes:** uso de semilla infectada y/o empleo de semilla corriente.

2.6.1 Prevención y Control.

- **Calidad de semilla:** prácticamente se evita la enfermedad al emplear semilla certificada.
- **Control químico:** ambos carbones son controlados eficientemente mediante el empleo de fungicidas desinfectantes de semillas. El carbón volador se disemina al emplear semilla infectada en su interior (embrión), por lo que requiere necesariamente el empleo de fungicidas de acción sistémica.



Cuadro 1. Algunos fungicidas registrados y recomendados según fabricante o importador, en aplicaciones foliares en el control de enfermedades aéreas.

Nombre Comercial	Fabricante o Importador	Nombre Técnico	Royas	Septorio- sis de la hoja	Oidio
Apache Plus 535 SC	BAYER	Trifloxystrobin+Cyproconazole	x	x	x
Artea 330 EC	SYNGENTA	Propiconazole + Cyproconazole	x	x	x
Atlas 25 ew	ARYSTA	Tebuconazole	x	x	X
Aviator Xpro 225 EC	BAYER	Bixafen y Protiocanazole	x	x	x
Caramba 90 SL	BASF	Metconazole	x	x	x
Duett	ANASAC	Epoxiconazole+Carbendazim	x	x	x
Diamant	BASF	Fenpropimorph, Pyraclostrobin y Epoxiconazole	x	x	x
Impulso 25 SC	ANASAC	Azoxistrobina	x	x	x
Swift-T 25	ARYSTA LIFE- SCIENCE CHILE	Triadimefón	x	x	x
Indar 2F	DOW	Fenbuconazole	x	x	
Juwel Top	BASF	Fenpropimorph+Kresoxim metil +Epoxiconazole	x	x	x
Prosaro 250 EC	BAYER	Prothioconazole+Tebuconazole	x	x	x
Priori xtra	SYNGENTA	Azoxystrobin + Cyproconazole	x	x	x
Punch C	DUPONT	Flusilazol + Carbendazim	x	x	x
Tacora 25 EW	ANASAC	Tebuconazole	x	x	x
Tacora 25 WP	ANASAC	Tebuconazole	x	x	x
Tacora Mas	ANASAC	Tebuconazole+ Carbendazima	x	x	x
Ventur	BASF	Epoxiconazole +Boscalid	x	x	x
Stereo 312,5 EC	SYNGENTA	Propiconazole+Cyprodinil	x	x	x
Zenit 400 EC	SYNGENTA	Propiconazole+Fenpropidina	x	x	x

Cuadro 2. Algunos fungicidas registrados y recomendados según fabricante o importador, en aplicaciones a la semilla para el control de carbones.

Nombre Comercial	Fabricante o Importador	Nombre Técnico	CARBÓN VOLADOR	CARBÓN CUBIERTO
Anagran Plus	ANASAC	Carbendazima + Mancozeb	x	x
Indar Flo	ANASAC	Fenbuconazole	x	x
Baytan 150 FS	BAYER	Triadimenol	x	x
Celest	SYNGENTA	Fludioxonil	x	x
Celest XL O35 FS	SYNGENTA	Fludioxonil + Mefenoxam	x	x
Chambel	ARYSTA	Tebuconazole	x	x
Dividend 030 FS	SYNGENTA	Difeconazole	x	x
Galmano Plus 198.2 FS	BAYER	Fuquinconazole + Prochloraz	x	x
Raxil 060 FS	BAYER	Tebuconazole	x	x
Real 200 SC	BASF	Triticonazole	x	x

Literatura Consultada.

Andrade, O. y E, Contreras. 2007. La mancha foliar o Septorios de la hoja del trigo. Informativo INIA Carillanca, 2p.

Andrade, O. y E, Contreras F. 2007. La roya amarilla o polvillo estriado del trigo. Informativo INIA Carillanca, 2p.

Andrade O. 2003. La pudrición radical o mal del pie del trigo, en la zona sur de Chile. En: Pudrición radical del trigo: experiencia mundial en el manejo y prevención de la enfermedad. INIA Carillanca.

Hacke E y Auger J. 2009. Enfermedades del trigo y otros cereales. 1^{era} ed. 232 p. LOM Ediciones , Santiago, Chile.

Latorre B. Enfermedades de las plantas cultivadas. 6ta. ed. 637 p. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

www.sag.cl. Lista de plaguicidas con autorización vigente. Fecha de actualización: 11 de Marzo de 2013.

Ponomarenko A., S.B. Goodwin, and G.H.J. Kema. 2011. *Septoria tritici* blotch (STB) of wheat. *Plant Health Instructor*.DOI:10.1094/PHI-I-2011-0407-01



CAPITULO 6.

CONTROL DE MALEZAS EN TRIGO PARA EL BORDE COSTERO DE LA ARAUCANIA

Nelson Espinoza Neira
Ing. Agr. M.Sc.
nespinoz@inia.cl

El control de malezas en trigo es uno de los factores más importante por su impacto directo en la productividad y calidad del cultivo de trigo en La Araucanía. En la actualidad, el agricultor cuenta con una amplia oferta de herbicidas que pueden controlar eficazmente las malezas. La estrategia de control para incrementar la productividad del trigo, debe basarse en un adecuado diagnóstico del problema, considerando factores como: especies de malezas existentes, presencia o ausencia de biotipos resistentes, tipo de suelo y clima, rotación de cultivos y tipo de labranza. Adicionalmente, es fundamental conocer aspectos básicos de los herbicidas existentes en el mercado, como ser: eficacia y espectro de control de malezas, dosis y época de aplicación, modo de acción, entre otros.

Las malezas compiten con las plantas de trigo afectando negativamente el rendimiento y la calidad del grano. Existe una diversidad de malezas que pueden infestar el cultivo de trigo, las que se agrupan en gramíneas y hoja ancha, y según su ciclo de vida, en anuales, bianuales y perennes (Cuadro 1). A continuación se incluyen fotografías al estado de plántula de algunas malezas gramíneas y hoja ancha comunes en el cultivo de trigo.



Ballica



Cola de Zorro



Avenilla



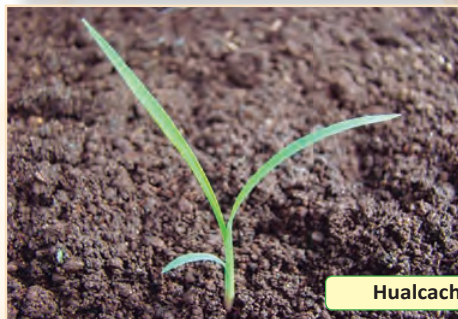
Vulpia



Tembladerilla



Pata de Gallina



Hualcacho



Pasto de Perdiz

Foto 1. Malezas gramíneas al estado de plántula comunes en trigo en las zonas centro sur y sur de Chile.



Manzanillón



Rábano



Crepis



Sanguinaria



Calabacillo



Viola



Vinagrillo



Pasto pinito



Diente de león



Quiloi quiloi



Hierba de la Culebra



Hierba azul



Hierba hedionda



Ambrosia



Quinguilla

Foto 2. Malezas de hoja ancha al estado de plántula comunes en trigo en las zonas centro sur y sur de Chile.

1. ¿De qué depende la densidad y el tipo de malezas en el cultivo?

La cantidad de malezas que puede infestar el cultivo de trigo es muy variable y depende del número de semillas de malezas existentes en el suelo y de la eficacia del control de malezas previo a la siembra. Cuando en la rotación hay diversidad y un control eficaz de las malezas antes y después de sembrar cada cultivo, debería esperarse su disminución progresiva en el tiempo. Resultados similares deberían obtenerse al cabo de varios años con cero labranza, ya que se evita trasladar semillas de malezas a la superficie. El clima también puede determinar la presencia de algunas malezas en el cultivo debido a distintos requerimientos de temperatura. Así, en trigos invernales las malezas más comunes deberían ser las anuales de invierno, mientras que en trigos primaverales las malezas anuales de verano. El ciclo de vida del cultivo que precede al trigo también puede influir en el tipo de malezas. Así, en una rotación de cultivos anuales, las malezas prevalentes en cada cultivo deberían ser las anuales, mientras que cuando al trigo le precede una pradera permanente, natural o sembrada, las malezas más comunes en el trigo serán las perennes.

Cuadro 1. Malezas de trigo más comunes en el Borde Costero.

Tipo	Nombre común	Nombre científico	Ciclo de vida y reproducción
Gramínea	Avenilla	<i>Avena fatua</i>	Anual, semillas
	Ballica	<i>Lolium multiflorum</i>	Anual, semillas
	Cola de zorro	<i>Cynosurus echinatus</i>	Anual, semillas
	Tembladerilla	<i>Briza minor</i>	Anual, semillas
	Pata de gallina	<i>Digitaria sanguinalis</i>	Anual, semillas
	Pasto de la perdiz	<i>Panicum capillare</i>	Anual, semillas
	Hualcacho	<i>Echinochloa spp.</i>	Anual, semillas
	Piojillo	<i>Poa annua</i>	Anual, semillas
	Vulpia	<i>Vulpia bromoides</i>	Anual, semillas
	Chépica	<i>Agrostis capillaris</i>	Perenne, semillas, rizomas
	Pasto cebolla	<i>Arrhenatherum elatius</i>	Perenne, semillas, cormos

Hoja ancha	Bledo	<i>Amaranthus spp.</i>	Anual, semillas
	Manzanillón	<i>Anthemis cotula</i>	Anual, semillas
	Quilloi quilloi	<i>Stellaria media</i>	Anual, semillas
	Calabacillo	<i>Silene gallica</i>	Anual, semillas
	Pasto pinito	<i>Spergula arvensis</i>	Anual, semillas
	Arvejilla	<i>Vicia sativa</i>	Anual, semillas
	Crepis	<i>Crepis capillaris</i>	Anual, semillas
	Senecio vulgar	<i>Senecio vulgaris</i>	Anual, semillas
	Rábano	<i>Raphanus sativus</i>	Anual, semillas
	Yuyo	<i>Brassica rapa</i>	Anual, semillas
	Mostacilla	<i>Sysimbrium officinale</i>	Anual, semillas
	Hierba hedionda	<i>Coronopus didymus</i>	Anual, semillas
	Bolsita del pastor	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Anual, semillas
	Quinguilla	<i>Chenopodium album</i>	Anual, semillas
	Duraznillo	<i>Polygonum persicaria</i>	Anual, semillas
	Tomatillo	<i>Solanum nigrum</i>	Anual, semillas
	Ambrosia	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Anual, semillas
	Sanguinaria	<i>Polygonum aviculare</i>	Anual, semillas
	Porotillo	<i>Fallopia convolvulus</i>	Anual, semillas
	Verónica	<i>Veronica persica</i>	Anual, semillas
	Viola	<i>Viola arvensis</i>	Anual, semillas
	Lengua de gato	<i>Galium aparine</i>	Anual, semillas
	Cardo negro	<i>Cirsium vulgare</i>	Anual, semillas
	Cardo blanco	<i>Sylibum marianum</i>	Anual, semillas
	Hierba de la culebra	<i>Fumaria capreolata</i>	Anual. Semillas
	Hierba azul	<i>Echium vulgare</i>	Bianual, semillas
	Siete venas	<i>Plantago lanceolata</i>	Perenne, semillas
	Diente de león	<i>Taraxacum officinalis</i>	Perenne, semillas
	Hierba del chanco	<i>Hypochaeris radicata</i>	Perenne, semillas
	Chinilla	<i>Leontodon saxatilis</i>	Perenne, semillas
	Vinagrillo	<i>Rumex acetosella</i>	Perenne, semillas, rizomas
	Correhuela	<i>Convolvulus arvensis</i>	Perenne, semillas, rizomas
	Mil en rama	<i>Achillea mellifolium</i>	Perenne, semillas, rizomas
	Margarita	<i>Leucantemun vulgare</i>	Perenne, semillas

Fuente: adaptado de Matthei (1995)



2. Control de Malezas antes de Sembrar.

Durante la preparación de la cama de semilla las malezas pueden controlarse mecánicamente con implementos de labranza del suelo como arados, rastras y vibrocultivador, y con herbicidas no selectivos como glifosato y paraquat. Los mejores resultados de control de malezas con implementos de labranza se obtienen cuando existe poca humedad en el suelo y en días con calor y viento. La principal ventaja al emplear glifosato, es que puede obtenerse un control eficaz y barato de malezas, anuales y perennes, jóvenes y adultas. El paraquat, por ser de contacto, es eficaz solamente cuando se aplica en malezas jóvenes, con poco desarrollo aéreo y radicular.

Algunas malezas de hoja ancha, principalmente perennes, son naturalmente menos susceptibles al glifosato (Foto 3), y esta susceptibilidad puede incluso disminuir cuando son tratadas en estados avanzados del desarrollo vegetativo y la floración. En este caso, es recomendable utilizar alguna de las siguientes estrategias de control: a) incrementar la dosis de glifosato; b) repetir la aplicación de glifosato 1 a 2 meses después; o c) mezclar glifosato con algunos herbicidas específicos para malezas de hoja ancha (Cuadro 2).

Al utilizar sólo glifosato no hay riesgos para el normal establecimiento y crecimiento de las plantas de trigo u otros cultivos, cualquiera sea el período entre la aplicación y la siembra, ya que glifosato se inactiva en contacto con el suelo. Sin embargo, al mezclarlo con herbicidas que controlan malezas de hoja ancha, se debe tener especial cuidado debido al efecto residual de estos productos. Cultivos como el trigo son más sensibles a estas mezclas.

3. Control de Malezas Después de Sembrar.

Después de sembrar las malezas pueden controlarse con diversos herbicidas selectivos aplicados en pre-emergencia o pos-emergencia del cultivo de trigo, de las malezas, o de ambos.

3.1. Herbicidas pre-emergentes (PRE)

La mayoría se aplica directamente al suelo después de sembrar pero antes de la emergencia de las plantas. Los mejores resultados de control de malezas se obtienen cuando se aplican más cerca de la fecha de siembra. Controlan malezas durante la germinación de sus semillas en el suelo y la emergencia de las plántulas.

Actualmente, los herbicidas PRE, por tener un mecanismo diferente de acción, constituyen una estrategia de gran valor para controlar malezas con resistencia, tales como ballica, avenilla y cola de zorro. Además, extienden la ventana de aplicación de los herbicidas pos-emergentes.



Diente de león



Trébol blanco



Margarita



Siete venas



Vinagrillo



Alfilerillo

Foto 3. Algunas malezas de hoja ancha adultas menos susceptibles a glifosato durante el barbecho químico.

Cuadro 2. Herbicidas recomendados mezclar con glifosato para controlar malezas de hoja ancha menos susceptibles durante el barbecho para trigo.

Maleza	Situación	Herbicida
Hierba del chanco, chinilla, diente de león y crepis.	con roseta de hojas bien desarrollada o en floración.	clopiralid (Lontrel 3A, Pirel 40.9 SL), 2,4-D amina (DMA 6 y otros), 2,4-D éster (Esteron Ten Ten), picloram (Tordon 24-K, Twin 24 SL).
Siete venas, rábano y raps voluntario.	con roseta de hojas bien desarrollada o en floración.	2,4-D amina, 2,4-D éster.
Manzanillón.	con 10 o más cm altura o en floración.	clopiralid.
Margarita.	plantas de un año o más.	picloram, clopiralid.
Vinagrillo y sanguinaria.	vinagrillo con rizomas; sanguinaria con varias ramas o en floración.	metsulfuron (Ally 60 DF, Ajax 50 WP, Aliado), picloram.
Trébol blanco y trebol rosado.	trébol blanco con estolones; trebol rosado de un año o más.	clopiralid, picloram, fluroxypir (Starane Xtra).
Mil en rama y alfilerillo.	mil en rama con rizomas; alfilerillo con roseta de hojas bien desarrollada.	metsulfuron, picloram.
Viola.	con 10 o más cm de altura o en floración.	fluroxypir, triasulfuron (Logran 75 WG, Terrano).
Verónica.	con 10 o más cm de altura o en floración.	fluroxypir.
Cardo blanco y cardo negro.	con roseta de hojas bien desarrollada.	clopiralid.

Existen herbicidas PRE recomendados en trigo que destacan por su mayor eficacia en gramíneas, mientras otros destacan en hoja ancha (Cuadro 3). Esta información es fundamental para hacer una elección correcta de los productos cuando se aplican solos o en mezcla. Un buen herbicida PRE aplicado en trigo sembrado en otoño e invierno, controla eficazmente las malezas durante un período de tres a cuatro meses, mientras que en trigo primaveral requiere uno a dos meses.

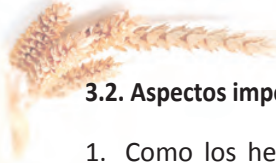
La mención de nombres comerciales de los herbicidas apunta a facilitar y clarificar la lectura. La inclusión de nombres comerciales no implica la recomendación de productos o marcas en particular, así como la exclusión de otros no implica su desaprobación.



Cuadro 3. Herbicidas pre-emergentes recomendados en trigo y tipo de malezas que controlan.

Nombre común	Nombre comercial (dosis)	Malezas que controla	Aplicación	
			Pre	Pos-T
propisaclor	Proponit 720 EC (0,7 L/ha)	Gramíneas y algunas hoja ancha	Sí	
diuron	Dazzler 50 SC (1,8 kg/ha) Karmex 80 WG (1,0 kg/ha)	Hoja ancha	Sí	
trifluralina	Treflan (3,0 L/ha)	Gramíneas y algunas hoja ancha	Sí	
flufenacet+ flurtamone+ diflufenican	Bacara Forte 360 SC (0,8-1,0 L/ha)	Hoja ancha y gramíneas	Sí	Sí
flumioxazin	Pledge 50 WP (0,1 kg/ha)	Hoja ancha y algunas gramíneas	Sí	
prosulfocarb	Falcon (5,0-6,0 L/ha)	Gramíneas y algunas hoja ancha	Sí	
prosulfocarb+ metolacoloro	Falcon Gold (4,0 L/ha)	Gramíneas y algunas hoja ancha		Sí
metolacoloro	Dual Gold 960 EC (0,6 L/ha)	Gramíneas		Si
isoproturon	Fuego 50 EC (4,0 L/ha)	Gramíneas y algunas hoja ancha	Si	
clorsulfuron+ metsulfuron	Finesse (15-18 g/ha)	Hoja ancha	Sí	

Pre y Pos-T: Indica aplicar en pre-emergencia y pos-emergencia temprano, respecto al cultivo y las malezas, respectivamente.



3.2. Aspectos importantes de considerar al usar herbicidas PRE.

1. Como los herbicidas PRE se aplican antes que las malezas sean visibles, la elección correcta del producto requiere conocer el historial de malezas del potrero. El monitoreo de las malezas antes de sembrar también ayuda a cumplir este objetivo.
2. La eficacia y el espectro de control de malezas gramíneas y hoja ancha de los herbicidas PRE es variable, dependiendo del producto (Cuadro 3).
3. Son absorbidos por todas las partes de las malezas que absorben activamente agua, tales como semillas en germinación, raíces y brotes de plántulas durante la emergencia, y raíces de plántulas emergidas.
4. Deben aplicarse sobre suelo húmedo para que puedan movilizarse y ser absorbidos por las malezas. La paja, capotillo, cenizas o restos vegetales en la superficie del suelo pueden impedirlo.
5. Existe riesgo de fitotoxicidad en el cultivo cuando la semilla queda descubierta, mal tapada o muy superficial. En general, una capa de tres cm de suelo sobre la semilla de trigo garantiza una adecuada selectividad de los PRE.
6. Algunos cultivos son más sensibles a los residuos de los herbicidas PRE existentes en el suelo. En general, los herbicidas que controlan más eficazmente malezas gramíneas tienen mayor potencial para afectar a cultivos que también son gramíneas como el trigo.
7. Existen herbicidas PRE que también pueden aplicarse en pos-emergencia pero muy temprano respecto al desarrollo del cultivo de trigo y las malezas (Foto 6). Esta práctica se conoce como aplicación “pos-emergencia temprano”. En trigo los herbicidas flufena cet+flurtamone+diflufenican (Bacara Forte 360 SC) y prosulfocarb+metolacoloro (Falcon Gold) son recomendados en pre y pos-emergencia temprano, mientras que metolacoloro (Duald Gold 960 EC) solamente en pos-emergencia temprano. El resto de los herbicidas PRE para trigo son recomendados sólo en pre-emergencia (Cuadro 3).

3.3. Herbicidas pos-emergentes (POS).

Se aplican directamente al follaje de las malezas y el trigo. Entre los herbicidas pos-emergentes recomendados en trigo, algunos controlan solamente malezas de hoja ancha como los hormonales y algunos inhibidores de ALS (Cuadro 4), otros controlan solamente malezas gramíneas como los inhibidores de ACCasa y otros controlan ambos grupos de malezas como algunos inhibidores de ALS (Cuadros 5 y 6).

3.3.1. Herbicidas inhibidores de ACCasa:

Inhiben la enzima acetilcoenzima A carboxilasa (ACCasa) impidiendo la síntesis de ácidos grasos. Controlan exclusivamente malezas gramíneas. Los herbicidas ACCasa recomendados en trigo se incluyen en el Cuadro 5.



3.3.2. Herbicidas inhibidores de ALS:

Inhiben la enzima acetolactato sintasa (ALS) impidiendo la síntesis de proteínas. Algunos controlan sólo malezas de hoja ancha, mientras que otros gramíneas y hoja ancha. Los herbicidas ALS recomendados para controlar malezas gramíneas y hoja ancha en trigo se presentan en el Cuadro 5.

Cuando se requiere controlar malezas de hoja ancha y gramíneas con herbicidas POS en trigo existen dos modalidades:

1. Controlar primero un tipo de malezas (por ejemplo hoja ancha), y esperar al menos cinco días para controlar gramíneas o, viceversa.
2. La segunda implica controlar hoja ancha y gramíneas simultáneamente, lo que puede lograrse con un solo herbicida o mezcla de herbicidas. La principal ventaja de controlar hoja ancha y gramíneas a la vez, es la mayor rapidez y menor dependencia del clima. Al utilizar una mezcla de herbicidas, es preferible que los productos tengan un distinto mecanismo de acción, de lo contrario las malezas pueden desarrollar rápidamente resistencia a ellos.

3.4. Aspectos importantes de considerar al usar herbicidas POS .

1. Para seleccionar adecuadamente un herbicida POS es necesario identificar correctamente las especies de malezas presentes en el cultivo.
2. La eficacia de los herbicidas POS para controlar las malezas gramíneas y hoja ancha es variable, dependiendo del producto (Cuadros 4, 5 y 6).
3. Los herbicidas POS deben aplicarse considerando el desarrollo del cultivo y las malezas, y el nivel de infestación. Lo ideal es encontrar la mejor combinación entre un estado de desarrollo del cultivo relativamente tolerante al herbicida y un estado de crecimiento de la maleza relativamente susceptible al herbicida.
4. Las malezas gramíneas anuales como ballica, avenilla y cola de zorro son más susceptibles a los herbicidas POS, cuando se aplican en los estados de 3 hojas a 1 macolla, y el trigo es más tolerante durante el estado de macolla (Foto 5). En trigos muy enmalezados el control debe ser lo más temprano posible para evitar pérdidas de rendimiento (Foto 6).
5. La eficacia de los herbicidas POS es mayor cuando se aplican con humedad relativa alta, debido a que aumenta el tiempo de absorción en las hojas, disminuye la evaporación y mejora la penetración.
6. Después de aplicar un herbicida POS se requiere un período sin lluvias para evitar sea lavado desde la superficie de las hojas, generalmente de 6 a 8 horas.

7. No deben aplicarse herbicidas POS si el cultivo y las malezas están en condiciones de estrés debido a sequía, excesiva humedad en el suelo por períodos prolongados, heladas o déficit nutricional.



Foto 5. Izquierda: planta de trigo iniciando la macolla; centro: ballica con eje principal y 2 macollas; derecha: avenilla con eje principal y una macolla.



Foto 6. Izquierda: cultivo de trigo en plena macolla, donde las malezas fueron controladas eficaz y oportunamente. Derecha: cultivo a fines de macolla, sin control de malezas y reducción del rendimiento futuro.



Cuadro 4. Susceptibilidad de diferentes malezas de hoja ancha a herbicidas hormonales y ALS recomendados en trigo.

Maleza	Hormonales				Inhibidores de ALS		
	MCPA 2,4-D	clopirald	dicamba	picloram	metsulfuron	triasulfuron	clorsulfuron+ metsulfuron
Cardo negro	S	S	S	S	MS	----	MS
Cardo blanco	S	S	S	S	MT	----	MT
Chinilla	S	MS	S	S	MS	MS	MS
Diente de león	S	MS	S	S	MS-S	MS	S
Hierba del chanco	S	MS	S	S	MS-S	S	S
Manzanillón	MT-MS	S	MT-MS	MT-MS	S	S	S
Margarita	T	T	MT-MS	MS	MS	MS	MS
Crepis	MS				MT	MT	MT
Hierba azul	MT	T	MT-MS	MT	MS	S	S
Mostacilla	S	T	T	T	S	S	S
Rábano	S	T	T	T	MS-S	S	S
Yuyo	S	T	T	T	S	S	S
Calabacillo	T-MT	T	MT-MS	MT-MS	S	S	S
Pasto pinito	T-MT	T	MT-MS	MT-MS	S	S	S
Quilloi-quilloi	T	T	MT	MT	S	S	S
Arvejilla	MS	S	S	S	S	MS-S	S
Siete venas	S-MS	S	S	S	MS-S	MT	MS-S
Duraznillo	T	T	S	MS-S	MS-S	MS-S	S
Enredadera	T	T	MS	MS	MS	S	MS
Sanguinaria	T	T	MS-S	MS-S	MS-S	MT	MS-S
Vinagrillo	T	T	S	S	S	MS	S
Lengua de gato	T	T	MT	MT	T	T	T
Verónica	T	T	T	T	MT-MS	T-MT	MT-MS
Viola	T	T	T-MT	MT-MS	MT	MS-S	MT

Escala susceptibilidad: **S**=susceptible 91 a 100% control; **MS**=moderadamente susceptible, 71 a 90% control; **MT**= moderadamente tolerante, 50 a 70% control; **T**=tolerante, control inferior a 50% o sin control.

Cuadro 5. Herbicidas ACCasa para controlar malezas gramíneas y ALS para controlar gramíneas y hoja ancha en trigo.

Mecanismo de acción	Grupo químico	Nombre común	Nombre comercial	Dosis comercial
Inhibidores de ACCasa	Ariloxifenoxi-propionato (FOP)	clodinafop	Topik 240 EC, Hummer 24 EC	0,3 L/ha
		diclofop	Cascabel 28 EC	2,0 L/ha
	Fenilpirazolina (DEN)	pinoxaden	Axial 50 EC	0,8-1,0
	DEN + FOP	pinoxaden + clodinafop	Traxos	2,0-2,4 L/ha
Inhibidores de ALS	Sulfonilurea (SU)	iodosulfuron	Hussar 20 WG, Ovassion 5.26 WP	0,3 kg/ha
		idosulfuron + mesosulfuron	Cossack 150 WG	0,4 kg/ha
	Sulfonil carboniltri-azolinonas (SCT)	flucarbazone	Vulcano 70 WG	0,08-0,1 kg/ha
	Imidazolinona (IMI)	imazamox + imazapyr	Eurolightning	1,3-1,5 L/ha
	Triazolopirimidina (TP)	pyroxulam	Admitt	0,32 kg/ha



Cuadro 6. Susceptibilidad de diferentes malezas gramíneas a herbicidas ACCasa y ALS recomendados en trigo. Esta información puede diferir en presencia de biotipos de avenilla, ballica y cola de zorro resistentes.

Maleza	Inhibidores de ACCasa			Inhibidores de ALS					
	clodinafop	diclofop	pinoxaden	pinoxaden+ clodinafop	iodosulfuron	iodosulfuron+ mesosulfuron	flucarbazone	imazamox+imazapyr ¹	pyroxulam
Ballica	MS-S	S	S	S	S	S	S	S	S
Cola de zorro	S	T	T	S	T	T	MS-S	MS-S	MS-S
Avenilla	S	S	S	S	MS-S	S	S	S	S
Vulpia	T	T	T	T	T-MT	MS-S	MT	S	MT-MS
Tembladerilla	T	MS	MS-S	MS-S	MS	S	MS	S	MT-MS
Hualcacho	S	S	MS	S	S	S	S	S	MT-MS
Pata de gallina	MS	T	S	S	T	T	T	MS	T
Piojillo	T	T	T	T	S	S	MS-S	S	T-MT
Pasto de la perdiz	S	MT	S	S	T	T	MS	S	MS
Chépica	MS	T	MS	S	T	MT	MT	S	MT
Pasto cebolla	MS	T-MT	MS	MS	T-MT	MS	MS	MS	MS

Escala susceptibilidad: **S**=susceptible, 91 a 100% control; **MS**=moderadamente susceptible, 71 a 90% control; **MT**= moderadamente tolerante, 50 a 70% control; **T**=tolerante, control inferior a 50% o sin control.

¹ Sólo para trigos Clearfield.



4. Estrategias de control de malezas resistentes específicas

En la zona sur, principal productora de trigo del país, la resistencia de las malezas a los herbicidas, ha sido un proceso muy frecuente a partir de los años 90. Las primeras fueron gramíneas como ballica (*Lolium multiflorum* y *Lolium rigidum*), avenilla (*Avena fatua*) y cola de zorro (*Cynosurus echinatus*) y las más recientes corresponden a hoja ancha como rábano (*Raphanus sativus*), manzanillón (*Antemis cotula* y *Antemis arvensis*) y calabacillo (*Silene gallica*). A la fecha, la resistencia se ha generado a los herbicidas ACCasa (avenilla, ballica y cola de zorro), herbicidas ALS (ballica, cola de zorro, rábano, manzanillón y calabacillo) y a glifosato (ballica). Se han propuesto varias estrategias para controlar malezas resistentes en cultivos anuales extensivos, incluyendo trigo, tales como el uso de herbicidas pos-emergentes con diferente mecanismo de acción a los que ya existe resistencia, labranza del suelo, uso de herbicidas pre-emergentes, diversidad de cultivos en la rotación y épocas de siembra, entre otras. Dichas estrategias pueden diferir según la situación en que la maleza resistente está presente. Obviamente, los mejores resultados se han obtenido empleando varias estrategias de control.



Literatura Consultada.

Espinoza, N. 2002. Avances en control de malezas en trigo. 49p. En: Boletín INIA N° 83, Centro Regional de Investigación Carillanca, Temuco, Chile.

Espinoza, N.; C. Rodríguez. 2011. Carry over de clethodim y tepraloxymid en cultivos de trigo (*Triticum aestivum*), avena (*Avena sativa*) y ballica (*Lolium multiflorum*). p. (Resumen). In Congreso de la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM). Viña del Mar, Chile.

Espinoza, N.; C. Rodríguez; G. Contreras. 2012. Ten years since the outbreak of resistance to glyphosate in *Lolium multiflorum* in Chile. p 87. In International Workshop. European status and solutions for glyphosate resistance. 3-4 Mayo 2012. Universidad de Córdoba, Córdoba, España.

Matthei, O. 1995. Manual de las malezas que crecen en Chile. 545 p. Editorial Alfa Impresores, Santiago, Chile.

Newman, P., Walsh, M. 2005. The art of burning p. 9-12. In Proceedings of Agribusiness Crop Updates Weeds Western Australian Department Agriculture, Perth, Western Australia.



