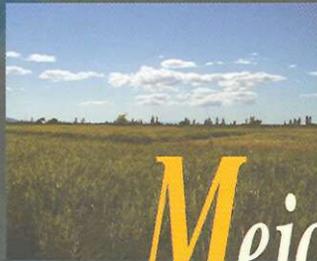




GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INIA - IIA

BOLETÍN INIA N° 75

ISSN 0717- 4829



Mejores Prácticas de Manejo

Cultivos tradicionales de la
zona Centro Sur de Chile



Editora KATTY DIAZ B.

Ministerio de Agricultura
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Centro Regional de Investigación Quilamapu
Chillán, Chile, 2002.



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INIA - IIA

BOLETÍN INIA N° 75
ISSN 0717- 4829



Mejores Prácticas de Manejo

*Cultivos tradicionales de la
zona Centro Sur de Chile*

Editora KATTY DIAZ B.

Ministerio de Agricultura
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Centro Regional de Investigación Quilamapu

Chillán, Chile, 2002.

Editora
Katty Díaz B.
Ingeniero Agrónomo

Director Regional INIA
Hernán Acuña Pommiez

Edición
Hugo Rodríguez A.

Boletín INIA N° 75

Este boletín fue editado por el Centro Regional de Investigación Quilamapu, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura.

Permitida su reproducción total o parcial citando fuente y editora.

Cita bibliográfica correcta:
Díaz B., Katty (Ed). 2002.
Mejores Prácticas de Manejo. Cultivos tradicionales de la zona Centro Sur de Chile.
Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
Chillán, Chile.
Boletín INIA N° 75. 152 p.

Diseño y Diagramación
Ricardo González Toro

Impresión
Trama Impresores S.A.

Cantidad de ejemplares:
1.000.

Chillán, 2002.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Introducción	7
Aspectos metodológicos del proyecto	9
Capítulo 1	17
Mejores prácticas de manejo para la fertilización de suelos arroceros.	
Capítulo 2	37
Mejores prácticas de manejo para la fertilización de cultivos en el valle regado.	
Capítulo 3	71
Mejores prácticas de manejo para la fertilización en precordillera.	
Capítulo 4	97
Medidores de clorofila "usos y potenciales".	
Capítulo 5	113
Mejores prácticas para el manejo de rastrojos en cero labranza.	
Capítulo 6	127
Plaguicidas: usos, efectos y restricciones.	

LISTADO DE AUTORES

- Katty Díaz Bravo** Ingeniero Agrónomo
Investigadora en Fertilidad de Suelos
INIA Quilamapu
kdíaz@quilamapu.inia.cl
- Rodrigo Ortega Blu** Ingeniero Agrónomo. M.S, Ph.D
Profesor
Departamento de Ciencias Vegetales
Facultad de Agronomía e
Ingeniería Forestal
Pontificia Universidad Católica de Chile
raortega@puc.cl
- Jorge Riquelme Sanhueza** Ingeniero Agrónomo, Dr.
Especialista en Mecanización Agrícola
Investigador INIA Raihuén
jriquelm@quilamapu.inia.cl
- M. Paola Luppichinni Blu** Ingeniero Agrónomo
Investigadora INIA La Cruz
pluppich@lacruz.inia.cl
- Gemma Navarrete Ortega** Profesional en Relaciones Públicas

Introducción

GENERALIDADES

El Departamento de Recursos Naturales del Centro Regional de Investigación Quilamapu, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), desarrolló un proyecto tendiente a identificar las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) para los principales cultivos tradicionales. Dicho proyecto fue financiado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), con el propósito de aumentar la eficiencia productiva y disminuir el impacto ambiental asociado a la agricultura, particularmente en las prácticas de fertilización nitrogenada.

Cabe señalar que en el escenario agrícola actual, los productores de nuestro país deben enfrentar el incremento de los costos de producción, la baja de los precios de los productos agrícolas y la rebaja de aranceles a los productos importados debido a los acuerdos comerciales vigentes. Unido a esto, la inexistencia de un marco regulatorio respecto a los límites máximos de fertilizantes nitrogenados permitidos para los recursos suelo y agua, así como la creciente degradación y contaminación de dichos recursos, hacen indispensable desarrollar herramientas de adopción voluntaria y complementarias a la legislación vigente que, por una parte, fomenten el desarrollo de una producción más eficiente y sustentable, y por otra, restrinjan la responsabilidad sectorial que le cabe a la actividad agrícola en los procesos de contaminación.

Esperamos que la presente publicación - al estilo de un manual-, constituya una herramienta de real utilidad para productores y entidades vinculadas al trabajo agrícola, al contener un conjunto de prácticas y recomendaciones agronómicas de sentido común denominadas Mejores Prácticas de Manejo MPM, tendientes a aumentar la eficiencia productiva y a disminuir el impacto causado por labores como la fertilización nitrogenada y la aplicación de plaguicidas. Dichas recomendaciones se vinculan a temas como: dosis óptimas de Nitrógeno, Fósforo y Potasio; selección de métodos de recomendación

para fertilizantes nitrogenados; aplicaciones de nitrógeno parcializadas; uso de herramienta de diagnóstico «in situ», como medidores de clorofila y análisis de suelo; y, finalmente, manejo de residuos en Cero Labranza. ↵

El equipo de trabajo vinculado al proyecto agradece sinceramente la invaluable colaboración de los productores de las áreas agroecológicas estudiadas, por permitir instalar en sus predios las unidades de validación tecnológica con los ensayos de campo, y facilitar el desarrollo de todas las labores necesarias para el establecimiento de los cultivos evaluados. En especial lo hacemos presente en los Señores Sebastián Sandoval, Jorge Ocampo, Manuel Solar (área agroecológica de precordillera) y Waldo Retamal (área agroecológica de suelos arroceros); así como también en los funcionarios del Centro Experimental Humán del INIA en Los Angeles (área agroecológica de valle regado).

Extendemos nuestros agradecimientos a todos aquellos que participaron de la etapa de diagnóstico del proyecto, posibilitando la elaboración para cada área en estudio de un perfil de manejo en base a encuestas y al muestreo de suelo en profundidad de numerosos predios de cada sector, todo lo cual orientó el desarrollo de las MPM durante la ejecución del proyecto.

Presentamos a continuación la recopilación de las Mejores Prácticas de Manejo y aquellas validadas durante la ejecución del proyecto en ensayos de fertilidad para los principales cultivos tradicionales, y en los ensayos de manejo de residuos para Cero Labranza.

Los autores

Chillán, marzo de 2002.

ASPECTOS METODOLÓGICOS DEL PROYECTO

Para cumplir con los objetivos planteados por el proyecto, se desarrolló una metodología consistente en tres etapas: 1) etapa de diagnóstico; 2) etapa de generación y validación tecnológica; 3) etapa de difusión, de las cuales las dos últimas se fueron desarrollando a la par.

Durante la etapa de diagnóstico, al inicio del proyecto, se realizó una completa recopilación de los antecedentes publicados, tanto en el país como en el extranjero, sobre los problemas medio ambientales derivados de las prácticas agrícolas. Así mismo, se realizó un completo estudio de la legislación vigente en nuestro país acerca de la manipulación, aplicación y uso de plaguicidas y fertilizantes. Para ello se consultó el material bibliográfico publicado por los organismos técnicos vinculados a la temática medio ambiental y de legislación agrícola, entre ellos CONAMA, SAG, INIA, INN y Universidades, entre otras entidades nacionales; así como también EPA, Colorado State University y Colegio de Ingenieros Agrónomos de España, entre las instituciones extranjeras.

Unido a lo anterior se realizó un diagnóstico *in situ* de las prácticas de manejo intensivo utilizadas por los productores en ese momento (1999), lo cual se materializó a través de la aplicación de una encuesta pormenorizada a diversos productores de las áreas de estudio. Ésta permitió obtener la información técnica necesaria y, a su vez, configurar los rasgos de identidad de los productores, lo que contribuyó a generar adecuadas estrategias comunicacionales al momento de realizar la difusión del proyecto y de sus resultados.

Asimismo, se realizó un diagnóstico de la fertilidad natural de los suelos en las áreas de estudio, mediante un muestreo de suelo intensivo y en profundidad de algunos predios seleccionados. Para ello se utilizó un barreno hidráulico con el cual fue posible muestrear hasta 120 cm de profundidad, gracias a lo cual se pudo determinar las variaciones de las propiedades de suelo, especialmente de los contenidos de nitrógeno, en las estratas más profundas del perfil, lo que pudiera derivar en problemas de contaminación de las napas de agua subterránea.

Con la información recopilada se orientó el desarrollo de las unidades de investigación en terreno, a objeto de evaluar aquellas áreas temáticas menos estudiadas, y generar información tendiente a orientar a los productores para desarrollar la actividad agrícola de una manera más eficiente y sustentable. Se pretende, de esta manera, complementar la legislación vigente con prácticas de adopción voluntaria por parte de los agricultores.

La etapa de generación y validación tecnológica consistió en establecer líneas de investigación, mediante ensayos de campo en las tres áreas de estudio, correspondientes a las áreas agroecológica de Suelos Arroceros, Valle Regado y Precordillera. En cada una de ellas se establecieron parcelas de ensayo con los cultivos a evaluar en cada área.

Así, en el sector de suelos arroceros se implementaron ensayos de fertilidad en un predio particular, en Titinivilo - Parral, para determinar las Mejores Prácticas de Manejo MPM, en el cultivo de arroz.

En el área agroecológica del Valle Regado, se establecieron ensayos de fertilidad en el Centro Experimental Humán del INIA, en Los Angeles, sobre la rotación de cultivos: remolacha-trigo-maíz para ensilaje.

Finalmente, en el área agroecológica de Precordillera se establecieron los ensayos de fertilidad y manejo de residuos. Los ensayos de fertilidad se establecieron en un predio particular en Quilaco- Santa Bárbara (temporada 1999/2000), y durante la segunda temporada (2000/2001) en un predio particular de la comuna de El Carmen. En ambos se evaluó la rotación raps-avena-trigo. Los ensayos de manejo de residuos se implementaron en un predio particular del sector Quiriquina, en avena y alfalfa.

Previo al establecimiento de los ensayos en cada temporada, se realizó el levantamiento topográfico de cada sector junto a un muestreo intensivo de suelo en profundidad, para determinar la variación de las propiedades de suelo en las distintas estratas del perfil. Durante el desarrollo de los cultivos, y dentro de las posibilidades de cada sector, se realizaron las labores necesarias para asegurar la adecuada expresión de su potencial productivo (por ejemplo fertilizaciones de acuerdo a los tratamientos establecidos, riegos oportunos y

control de malezas y plagas). Finalmente, con posterioridad a la cosecha se realizó un muestreo de suelo a objeto de evaluar las modificaciones ejercidas por los tratamientos en las propiedades del suelo.

Los ensayos de fertilización establecidos en los cultivos mencionados para la zona arrocera de valle regado y precordillera se agrupan en tres tipos:

a) Ensayo de Dosis de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K)

En este ensayo se evaluó el efecto de 6 niveles de NPK sobre los rendimientos de cada cultivo en cada zona evaluada, a objeto de constatar si las dosis utilizadas en la actualidad se ajustan realmente a las necesidades de los cultivos. Los tratamientos establecidos en terreno fueron:

- 1) 100% de la dosis comercial** de NPK recomendada para cada cultivo (dada por los asesores del dueño del predio, por IANSA en el caso de remolacha y por PROMOSOL en el caso del raps)
- 2) 85% de la dosis comercial**
- 3) 70% de la dosis comercial**
- 4) 50% de la dosis comercial**
- 5) 130% de la dosis comercial**
- 6) Testigo sin NPK**

b) Comparación de los métodos de recomendación para N

Las dosis de N recomendadas en base a un mismo análisis de suelo pueden variar sustancialmente de acuerdo al método de recomendación de fertilizantes utilizado para dar tal recomendación. El proyecto MPM comparó diferentes métodos de recomendación de N en los cultivos en estudio. A continuación se describen las principales características de cada uno de los métodos evaluados, los que serán mencionados con posterioridad en cada capítulo.

1.- Calibración del análisis de NH_4^+ : Este método relaciona la respuesta del cultivo a la fertilización con el nivel del nutriente en el análisis de suelo. Los

suelos son clasificados en categorías de fertilidad (Cuadro 1) y la recomendación de fertilizantes es acorde con cada categoría. Sobre el nivel de suficiencia no se recomienda la aplicación de fertilizante nitrogenado. La recomendación se basa en la relación entre el nivel de N disponible y la dosis a aplicar. A mayor disponibilidad de N en el suelo, menor es la dosis a aplicar.

Cuadro 1. Categorías de fertilidad según análisis de suelo. Método de la calibración del análisis de NH_4^+ .

N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Materia Orgánica (%)	pH	Categoría
0-10	0-4	0-39	0-2.0	0-5.0	MB
11 - 20	5-8	40-69	2.1-4.5	5.1-5.5	B
21-35	9-12	70-120	4.6-8.0	5.6-6.2	M
36-80	13-20	120-250	8.1-12.0	6.3-7.0	A
> 80	> 20	>250	> 12	>7	S o MA

Fuente: Ortega y Díaz. (1999).

MB: Muy Bajo, B: Bajo, M: Medio, A: Alto, S: Suficiente o MA: Muy Alto

En Chile el INIA ha desarrollado la investigación y difundido preferentemente el método de la calibración. Sin embargo el elevado costo que esto involucra, puesto que requiere de mucha experimentación en ensayos de campo, ha determinado que el método no haya evolucionado más, a excepción del cultivo de arroz donde la calibración se completó (Ortega, 2002. Comunicación personal). En todo caso, la aplicación de éste método es de bajo costo para el productor ya que se basa fundamentalmente en el análisis de suelo y proporciona ajustadas recomendaciones de fertilizantes.

2.- Método del Balance (Rodríguez, 1990): Se basa en un balance entre la demanda de nutrientes del cultivo, determinada a través del rendimiento de grano esperado y la estimación de la oferta de nutrientes desde el suelo, corregido por la eficiencia de uso del nutriente. Matemáticamente esto puede ser expresado de la siguiente forma:

$$\text{DOSIS} = (\text{DEMANDA} - \text{OFERTA}) / \text{EFICIENCIA}$$

- Donde :
- demanda** : extracción del nutriente para un rendimiento dado en qq/ha.
 - oferta** : disponibilidad del nutriente en el suelo en kg/ha (estimación en base al análisis de suelo).
 - eficiencia** : proporción del nutriente absorbido por cada kg de fertilizante aplicado (estimación).

Este método es una excelente aproximación cuando existe poca información de respuesta a la fertilización en el área. En Chile ha sido fuertemente impulsado por la Universidad Católica y es usado en la actualidad por muchas compañías distribuidoras de fertilizantes. Normalmente entrega recomendaciones de dosis más elevadas en comparación a la calibración. (Ortega y Díaz, 1999).

3.- Método del Algoritmo: Este método se desarrolló en Estados Unidos, y fue evaluado en la VII y VIII regiones por el Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente del INIA Quilmapu dentro de las actividades del Proyecto MPM. En este caso la recomendación también se basa en la demanda de N del cultivo, pero se consideran todos los aportes del nutriente. En el caso del N se contabiliza aquel proveniente del riego, la mineralización, las precipitaciones, etc. Se asume, además, que todas las fuentes fertilizantes tienen una eficiencia de 100%. Para utilizarlo se requiere de análisis de suelo en profundidad (por sobre los 120 cm) lo que no es muy práctico para los productores. Matemáticamente esto puede ser expresado de la siguiente forma:

$$\text{DOSIS N} = \text{DNC} - \text{Ns} - \text{Nm} - \text{Np} - \text{Nr} - \dots$$

- Donde:
- DNC** : demanda de N del cultivo por estimación en base al rendimiento esperado
 - Ns** : N del suelo según análisis de suelo
 - Nm** : N mineralizado
 - Np** : N en las precipitaciones
 - Nr** : N en el riego

Este método es ampliamente usado en Estados Unidos y, en términos generales, entrega recomendaciones de dosis bastante moderadas. Sin embargo, en Chile restaría validar su uso por algunas temporadas más para obtener resultados realmente confiables (Ortega y Díaz, 1999).

4.- Starter + Medidores de Clorofila: Este método es ampliamente utilizado en otros países para determinar las necesidades de fertilización nitrogenada. El uso de esta herramienta de diagnóstico ha sido validado en Estados Unidos desde el año 1994, y por presentar resultados muy promisorios en la VII y VIII regiones a través de la investigación generada por el proyecto. Se incluye en la presente publicación un capítulo completo destinado a difundir la metodología de uso de dicho instrumento.

Por lo pronto, basta con señalar que, en la práctica, se basa en aplicar una pequeña dosis de N a la siembra (Starter) y luego determinar si la dosis siguiente es necesaria usando un Medidor de Clorofila (Model SPAD 502, Minolta Camera Co, Ltda.).

5.- Starter +Análisis de suelo *in situ*: Este método es bastante utilizado en países desarrollados, implementándose con la aplicación a la siembra de una dosis moderada de N (Starter) y las aplicaciones posteriores en base a los resultados de análisis de suelo *in situ* mediante kit de terreno importados. La validación de este método ha sido lenta debido a que los kit funcionan bien con suelo seco, sin embargo durante la temporada de cultivo, especialmente en el caso del arroz que se trabaja con suelo inundado, esta condición es difícil de obtener. Aún así, se ha podido determinar que existe una ajustada relación entre los resultados obtenidos con el kit en el campo y los del laboratorio de suelo para una misma muestra, lo que haría bastante seguro su uso.

c) Parcialización de la dosis de N

En este ensayo se evaluó el efecto de una misma dosis de N aplicada en distinto número de parcialidades. Los tratamientos establecidos para este ensayo en cada cultivo y en cada zona fueron:

- ☒ **una parcialidad**
- ☒ **dos parcialidades**
- ☒ **tres parcialidades**
- ☒ **cuatro parcialidades**
- ☒ **testigo sin N**

Los ensayos de manejo de residuos establecidos en el área agroecológica de precordillera serán descritos en el capítulo correspondiente. Estos tuvieron por objetivo evaluar alternativas a la tradicional quema de rastrojos para reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera y los riesgos de incendios forestales.

Finalmente, en la etapa de difusión del proyecto se realizaron diversas actividades, a objeto de capitalizar las actitudes de aceptación de las MPM por parte de los productores de las áreas en estudio. Entre éstas se cuentan numerosas charlas a grupos de transferencia tecnológica y de productores organizados, así como la realización de diversos días de campo en las unidades de investigación para presentar a los agricultores en terreno los ensayos y sus resultados. También se dio la participación del proyecto en diversas instancias del quehacer científico nacional e internacional, tales como Congresos y Seminarios, así como diversas publicaciones con información referente al proyecto: MPM de arroz, uso de medidores de clorofila, uso de plaguicidas, manejo de residuos para cero labranza, etc.

De esta manera, el proyecto pudo enfocarse hacia las reales necesidades de los productores agrícolas, en relación a aumentar la eficiencia productiva y disminuir el impacto ambiental que genera esta actividad.

BIBLIOGRAFÍA

Ortega B., Rodrigo y Díaz B., Katty. 1999. “Análisis de fertilidad de suelos y recomendación de fertilizantes”. Capítulo 6. En: “Agricultura de Precisión. Introducción al Manejo Sitio-Específico”. Ministerio de Agricultura. INIA. Serie Quilamapu N° 129. Agosto, Chillán Chile. p 135 – 146.

Rodríguez S., J. 1990. “La fertilización de los cultivos. Un método racional”. Departamento de Ciencias Vegetales. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile. 406 p.



*M*ejores prácticas de manejo
para la fertilización de
suelos arroceros

*Katty Díaz B.
Rodrigo Ortega B.*

Mejores Prácticas de Manejo para la Fertilización de Suelos Arroceros

Katty Díaz Bravo

Rodrigo Ortega Blu

La agricultura nacional, y particularmente los cultivos tradicionales, se ven enfrentados en la actualidad a crecientes problemas de competitividad, dado el incremento en los costos de producción por un mayor uso de insumos para “asegurar” adecuados rendimientos, así como la disminución en los precios de venta de los productos agrícolas.

Unido a lo anterior, el histórico endeudamiento del sector agrícola y la fuerte presión ejercida por el ingreso de productos extranjeros a menor costo, en el marco de los acuerdos de libre comercio suscritos por nuestro país en el último tiempo (MERCOSUR entre otros), han contribuido a generar un complicado escenario para la agricultura tradicional chilena.

En el caso del sector arrocerero debemos considerar, además, que los suelos donde se desarrolla el cultivo poseen características tales como mal drenaje, debido a su elevado contenido de arcilla y/o a la presencia de una estrata impermeable en su perfil (Ortega, 1998), lo que dificulta el poder realizar rotaciones con otros cultivos a objeto de diversificar su uso. Estos suelos presentan, en general, una baja fertilidad natural: bajos contenidos de Materia Orgánica, producto del sistema de cosecha con extracción de paja que se realizaba hasta hace poco tiempo, así como también deficiencias de N, P y K. En algunos sectores se han determinado, además, deficiencias de micronutrientes como Cinc y Boro.

Históricamente el cultivo de arroz había sido fertilizado de manera desbalanceada utilizando sólo N. Con el pasar del tiempo, se incorporó el P a la fertilización y sólo durante la década de los años noventa se comenzó a validar el uso del K.

Es importante considerar en este punto que la fertilización representa alrededor de un 10% a 15% de los costos directos de la producción del cultivo (González y otros, 2000). Además, la eficiencia en el uso de los fertilizantes en nuestro país es bastante baja, siendo en el caso del N, por lo general, menor al 50%. Vale decir que de 100 kilos de N aplicado al cultivo, éste aprovecha cuando más la mitad, generando con ello un excedente susceptible de ser lixiviado o “lavado” por el agua hacia las estratas profundas del suelo. Esto puede generar contaminación de las aguas subterráneas con el consiguiente riesgo para la salud de la población que utiliza agua de pozo.

Así, durante el último tiempo se ha manifestado una creciente preocupación por el cuidado del medio ambiente y de la salud humana, aumentando los esfuerzos de investigación para disminuir las fuentes de contaminación difusa generada por la agricultura. En este contexto, el análisis de suelo y el uso de herramientas de diagnóstico como Medidores de Clorofila, son muy adecuados para lograr optimizar el manejo de la fertilización en suelos arroceros.

Es necesario destacar el hecho que la investigación sobre este cultivo en el país se inició en 1954, asumiéndola 10 años más tarde el INIA. Tras todos estos años la productividad del arroz se ha más que duplicado, se han dado origen a más de 15 variedades, se han obtenido notables mejoras en la calidad, precocidad y resistencia del cultivo, así como también se ha incorporado el cultivo mecanizado y nuevas técnicas de control de malezas. Numerosas publicaciones se han generado con toda esta información a cargo de los investigadores Carlos Rojas, Roberto Alvarado y Santiago Hernaiz.

Para potenciar el trabajo anterior se desarrolló el presente proyecto, a objeto de entregarles a los productores herramientas de manejo productivo que les permitan mantenerse en un sector cada vez más competitivo, respetando su histórica vocación y salvaguardando la seguridad alimentaria de las futuras generaciones. Se presentan a continuación algunos antecedentes y las MPM de fertilización para suelos arroceros validadas a través del proyecto.

Diagnóstico y variabilidad espacial de la fertilidad en suelos arroceros

Durante la etapa de diagnóstico del proyecto se realizó un muestreo de suelos en predios arroceros de la zona de Parral, a objeto de tener antecedentes actualizados respecto a la fertilidad natural de los suelos del sector. La Figura 1 muestra las principales características de los suelos evaluados y en ella se aprecia la significativa variabilidad que existe entre los predios de los distintos productores, así como también dentro del potrero muestreado en un mismo predio, como lo demuestra el margen de variación respecto al promedio en cada barra.

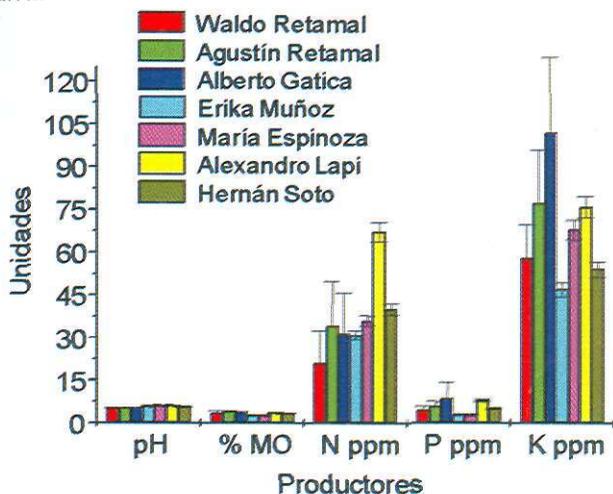


Figura 1. Diagnóstico de la fertilidad natural en suelos arroceros. Parral 1999.

Se pudo determinar que, a pesar de la cercanía geográfica entre los predios muestreados, existen notorias diferencias en la fertilidad natural de los suelos evaluados. Esto se manifiesta principalmente en los contenidos de P donde los rangos encontrados van desde Muy bajo (1 a 5 ppm) a Medio (9 a 13 ppm). Algo similar ocurre con N y K. Estas diferencias naturales explican a su vez las variaciones productivas entre los campos muestreados, donde claramente los mejores suelos de los predios 3 y 6 aumentan la posibilidad de obtener buenos rendimientos.

La variabilidad espacial de las propiedades del suelo, presentada en la Figura 1 como la línea que indica el rango de valores encontrados en cada predio para

cada propiedad, se refuerza al apreciar las Figuras 2 y 3, donde queda de manifiesto la gran variabilidad de la fertilidad del suelo aún en sectores cercanos, lo que confirma la actual necesidad de realizar las aplicaciones de fertilizantes en base a un acucioso muestreo y en la forma más "sitio-específica" posible, dejando atrás la tendencia de fertilizar todo el campo con una misma recomendación y pasando a manejar el predio por unidades de características homogéneas. De esta manera, el uso de insumos se hace más eficiente, dado que se fertiliza de acuerdo a las reales necesidades de cada sector, y con ello se puede optimizar la producción, tal como lo muestra la Figura 4.

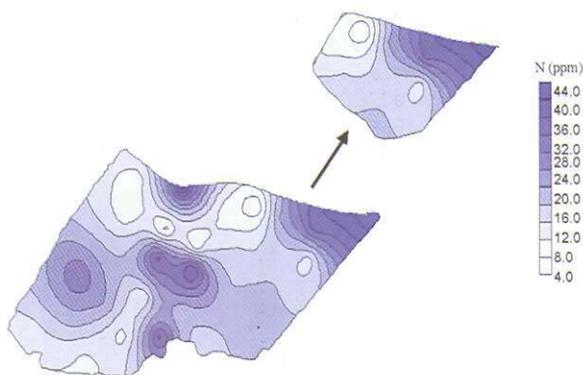


Figura 2. Variabilidad espacial del N disponible (ppm) en un potrero de 6 ha. Parral, 1999

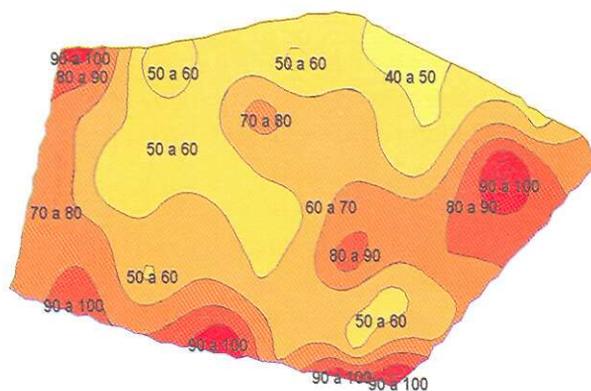


Figura 3. Variabilidad espacial del K extractable (ppm) en un sector de 2.5 ha. Parral 1998.

Variabilidad espacial del rendimiento de arroz
en un sector de 6.5 hectáreas. Titinvilo, Parral.

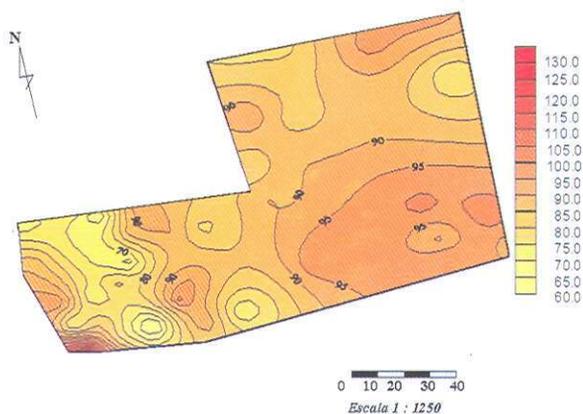


Figura 4. Variabilidad espacial del rendimiento de arroz en un sector de 6.5 ha. Parral, 1999.

Desafíos en términos de fertilización en arroz

Desde un punto de vista global respecto al sector de suelos arroceros, los principales desafíos en términos de fertilización son:

- **Mejorar la baja fertilidad del suelo.** Principalmente a través de una fertilización balanceada que incluya P y K, así como mediante un adecuado aprovechamiento de los rastrojos provenientes de la cosecha anterior.
- **Mejorar la eficiencia de uso de los fertilizantes.** Resulta esencial determinar las dosis adecuadas para cada sector de manejo homogéneo, así como los fertilizantes, forma y época de aplicación más apropiados. El uso de herramientas de diagnóstico como Medidores de Clorofila, kits de terreno para Análisis *in situ*, sensores remotos y modelos para predecir mineralización, son comunes en zonas como California en Estados Unidos y Australia desde hace ya bastante tiempo. Generar la investigación necesaria para validar estas técnicas en nuestro país es una necesidad

que responde a la tendencia general de realizar un manejo de fertilizantes sitio y tiempo específicos.

- ▣ **Producir amigablemente con el medio ambiente.** Derivado del punto anterior, en la medida que las aplicaciones de fertilizantes sean en las dosis y momentos realmente apropiados para el cultivo, éste utilizará los nutrientes de manera óptima, con el consiguiente beneficio económico y medio ambiental al reducir las dosis de agroquímicos en contacto con el entorno.

A través de la adopción voluntaria de las MPM validadas durante la ejecución del proyecto, se puede contribuir a la superación de los desafíos aquí planteados, toda vez que ellas representan lo mejor del conocimiento agronómico actual sin ser necesariamente perfectas.

Manejo adecuado del N

Es sabido que el N es clave para la obtención de altos rendimientos y que el arroz responde muy bien a las aplicaciones de éste elemento. Algunos ensayos han permitido determinar que la aplicación de N como Urea (46%N) produce un aumento en rendimiento de hasta 85% sobre el testigo sin fertilizar. La respuesta es siempre mayor en suelos que han sido cultivados por años con arroz y, a su vez, un manejo óptimo del agua en los cuadros, sin producir “secas”, y un control de malezas temprano aumentan la respuesta al N por parte del cultivo. (Ortega, Díaz y otros, 1999).

Debido a que las mayores dosis de fertilizantes que se aplican al cultivo de arroz corresponden a este elemento, constituye una alta proporción de los costos directos de producción, lo que refuerza la necesidad de hacer un uso eficiente del N.

Respecto a las fuentes y métodos de aplicación del N la investigación ha permitido determinar que las fuentes amoniacales (la Urea es la más recomendada) presentan una mayor eficiencia de aprovechamiento que las fuentes que contienen nitrato. La planta de arroz, a diferencia de la gran mayoría

de los cultivos, absorbe el N del medio principalmente a la forma de amonio, puesto que en las condiciones de inundación en que se encuentra el cultivo, el oxígeno (O₂) necesario para el proceso de nitrificación es escaso.

Por otra parte, las aplicaciones del N a la siembra deben incorporarse ya sea con suelo seco o mediante «fangueo», evitando las aplicaciones al voleo que favorecen el contacto con O₂ y las posteriores pérdidas de N por volatilización y desnitrificación. El Cuadro 1 muestra que los mejores rendimientos se obtienen con este tipo de aplicaciones.

Cuadro1. Comparación de métodos de aplicación de N a la siembra. Parral, 1998.

Tratamiento	Rendimiento (qq/ha)
Incorporado en suelo seco	129.5 a
Incorporado con fangueo	126.6 a
Voleo en suelo seco	120.7 a
Voleo sobre el agua	103.1 b
Testigo	99.5 b
CV(%)	9.4

Fuente: Ortega (1998) (no publicado) INIA Quilamapu.

Respecto a las dosis recomendadas para los fertilizantes nitrogenados es esencial determinarlas en base al análisis de suelo en los sectores con características homogéneas. Por lo general éstas deben ajustarse a dosis moderadas, del orden de 60 a 120 kgN/ha, dependiendo de la cantidad de N disponible en el suelo.

La fuente más barata para las aplicaciones amoniacales corresponde a la Urea y en ese caso las dosis mencionadas equivalen a 130 – 270 kg Urea/ha. En los sectores con mejores características o con más años de cultivo pudieran usarse las dosis más altas.

La Figura 5 presenta los resultados obtenidos durante dos temporadas en el cultivo de arroz, utilizando distintos porcentajes de las dosis de N, P y K recomendadas en forma comercial en base al análisis de suelo. En ella se aprecia que las diferencias en los rendimientos de acuerdo a los tratamientos no son mayormente significativas, excepto con el testigo, aun cuando las dosis apli-

cadras en cada tratamiento variaron bastante. Esto confirma que las dosis utilizadas en la actualidad se encuentran muy ajustadas a las necesidades reales del cultivo.

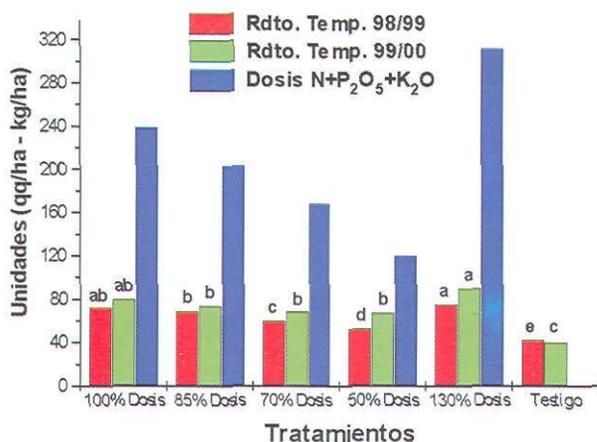


Figura 5. Resultados durante dos temporadas del Ensayo de Dosis NPK. Proyecto MPM. Parral. 1998/99 – 1999/00.

En general, la Figura 6 presenta los resultados obtenidos en la comparación de los métodos de recomendación de N para el cultivo de arroz. En ella es posible apreciar que no se obtuvieron diferencias significativas en los rendimientos de cada tratamiento, a excepción del testigo sin N, aun cuando las dosis aplicadas en cada uno de ellos fueron distintas. Así, es posible decir que se puede ser más eficiente en las aplicaciones de N, por ejemplo mediante el uso de herramientas de diagnóstico como el medidor de clorofila, con el consiguiente beneficio económico y medio ambiental.

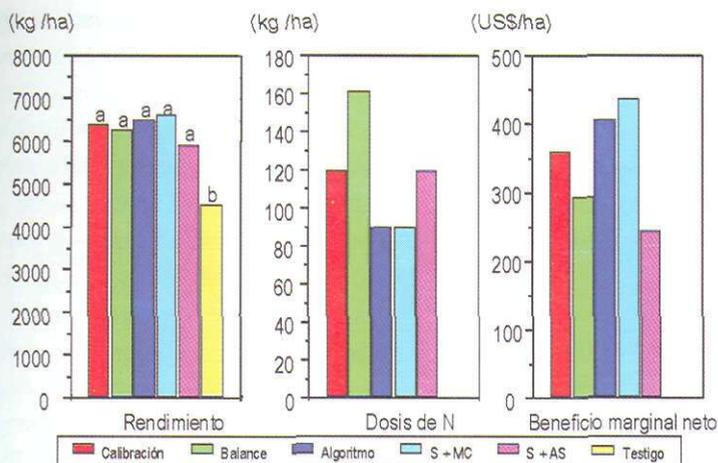


Figura 6. Resultados del ensayo de comparación de Métodos de Recomendación de N en arroz. Parray Temporada 1998/99.

Oportunidad de aplicación del N

En cuanto a la época de aplicación del N en el cultivo de arroz, la investigación ha determinado que la urea puede ser aplicada en una parcialidad a la siembra, siempre y cuando se haga un manejo óptimo del agua, sin producir “secas”, y un control temprano de malezas. En este caso la urea puede ser aplicada sobre el suelo seco, incorporada con rastra e inundando inmediatamente. Otra alternativa es incorporarla al momento del «fangueo» o aplicarla al voleo sobre el agua. Para el mejor aprovechamiento de la urea en estas condiciones es esencial llenar los cuadros inmediatamente después de la aplicación, mantener un estricto control de malezas y una adecuada altura de la lámina de agua. (Ortega, Díaz y otros, 1999).

El Cuadro 2 presenta los resultados del ensayo de parcialización de la dosis de N en arroz obtenidos por el proyecto MPM, donde se confirma lo recién expuesto.

Cuadro 2. Resultados del Ensayo de Parcialización de la dosis de N en Arroz. (120 kg N/ha). 2000.

Tratamiento	Altura (cm)	Rendimiento (qq/ha)	Eficiencia (kg prod/ kg insumo)
1 1 Parcialidad	84.2 a	92.1 a	a
2 2 Parcialidades	82.3 ab	75.3 b	ab
3 3 Parcialidades	80.7 ab	79.0 ab	a
4 4 Parcialidades	81.2 ab	61.1 c	12.8 b
5 Testigo	73.8 b	45.8 d	-

Nota : Medias seguidas de letras distintas difieren estadísticamente.
Fertilización base de 60 kg P_2O_5 /ha + 60 kg K_2O /ha.

De no tener la certeza de poder manejar adecuadamente el agua y el control de malezas, es recomendable aplicar el N en forma parcializada, a objeto de maximizar su uso y disminuir sus pérdidas. En este caso es aconsejable hacer aplicaciones a la siembra y a la macolla en proporciones de $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{2}$ ó $\frac{1}{3}$ y $\frac{2}{3}$.



Foto 1. Vista de ensayos de fertilización MPM en Parral.

Manejo adecuado del P

En el cultivo de arroz se ha determinado que la fertilización fosfatada aumenta los rendimientos y la precocidad del cultivo, existiendo una mayor o menor respuesta dependiendo del tipo de suelo e intensidad del monocultivo. (Ortega, Díaz y otros, 1999). Un cultivo bien fertilizado con P alcanza más temprano la humedad adecuada para realizar la cosecha (18-25%) permitiendo evitar el daño de las lluvias tempranas de otoño (Ortega, 1998).

Por otra parte, se ha determinado que la respuesta a la fertilización fosfatada es mayor cuando se realiza en forma conjunta con una adecuada fertilización nitrogenada. Las dosis de P recomendadas varían entre 30 y 60 kg P_2O_5 /ha, dependiendo de factores como los mencionados en el párrafo anterior. Lo ideal es realizar la aplicación en su totalidad a la siembra, junto con la dosis de N correspondiente, e incorporarla con rastra o al momento del «fangueo».

En cuanto a la fuente de P es posible utilizar cualquier fertilizante soluble, tales como el Super Fosfato Triple (46% P_2O_5), el Fosfato Diamónico (46% P_2O_5 y 18% N) y el Fosfato Monoamónico (50% P_2O_5 y 10% N). La roca fosfórica BIFOX (16% P_2O_5) también ha proporcionado adecuados resultados. La elección de la fuente dependerá entonces de aquella que resulte ser más barata por kg de P_2O_5 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Consideraciones económicas para la elección de la fuente de P.

Fertilizante	% P_2O_5	\$/kg	\$/kg P_2O_5
Super Fosfato Triple	46%	140.1	304.6
Fosfato Diamónico	46%	159.8	347.4
Fosfato Monoamónico	50%	159.8	319.6

Nota: Precios sin IVA al 24 de octubre de 2001. Agrícola Cordillera Chillán.

En el caso de la fertilización fosfatada es aconsejable usar el subsidio del Estado, si se cumple con los requisitos establecidos, para elevar los niveles de P en el suelo. Debido a la baja movilidad de este elemento en el perfil es posible ir “construyendo” una reserva de este nutriente en el suelo, sin generar pérdidas que provoquen contaminación como en el caso del N, es decir, aplicar P es como tener “plata en el banco”.



Foto 2. Actividad de difusión en los ensayos de arroz.
Tercera temporada 2001. Parral.

Manejo adecuado del K

Las investigaciones han determinado que el arroz presenta una significativa respuesta a las aplicaciones de este elemento, tanto en rendimiento como en disminución en la susceptibilidad a enfermedades.

El K favorece el macollaje e incrementa el tamaño y peso de los granos, a su vez aumenta la respuesta del cultivo a la fertilización fosfatada. Participa en algunos procesos fisiológicos de la planta como la apertura y cierre de estomas, regulando así el potencial osmótico o consumo de agua, y también ayuda a fortalecer los mecanismos de defensa del cultivo contra enfermedades, generando una mayor lignificación de los tallos y más resistencia de las células a la penetración de patógenos. Las cañas bien nutridas con K son menos susceptibles a la tendadura, a diferencia de aquellas que están sometidas a déficit de este elemento y a excesos de N (PPI, 1988).

Estudios realizados por INIA Quilamapu en la zona arrocera de Parral permitieron constatar un significativo efecto de las aplicaciones de K en la disminu-

ción de la severidad de la enfermedad conocida como “pudrición del tallo”, causada por el hongo fitopatógeno *Sclerotium hydrophyllum* Sacc., que afectó severamente el cultivo de arroz durante fines de la década de los 80 e inicio de los 90. Se determinó, además, que las aplicaciones de K permiten aumentar el rendimiento aun en suelos infestados por el hongo (Ortega, 1998).

En cuanto a las dosis recomendadas para este elemento la investigación señala que deben fluctuar entre 30 y 120 kg K₂O/ha, siendo recomendable utilizar las mayores dosis cuando las dosis de N también son elevadas y los niveles de K en el suelo sean bajos.

Las fuentes de K más utilizadas son el Muriato de Potasio (60% K₂O), y en cuyo caso las dosis mencionadas equivalen a 50 – 200 kg de fertilizante/ha, o Sulfato de Potasio (50% K₂O y 18% S).

El Cuadro 4 presenta los resultados de la comparación de fuentes potásicas en arroz.

Cuadro 4. Comparación de fuentes potásicas en arroz. Parral 1992.

Tratamiento	Rdto. (qq/ha)	Granos/panícula (Nº)	Peso 100 granos (g)	K hoja bandera (%)	Severidad pudrición tallo
Testigo	66.13 b	48 b	2.72 b	0.38 c	49.4 a
MK siembra	85.52 a	71 a	3.17 a	0.61 a	36.5 b
SK siembra	87.96 a	69 a	3.14 a	0.65 a	33.5 b
MK bota	82.95 a	52 a	3.06 a	0.49 b	35.8 b
CV(%)	11.92	8.33	3.2	7.14	12.76

Nota : Medias seguidas de letras distintas difieren estadísticamente.

MK: Muriato de Potasio y SK: Sulfato de Potasio.

Fuente : Ortega, 2000. (Seminario Arroceros CYANAMID-Parral).

Como se aprecia en el cuadro, los mejores resultados se alcanzan, en términos generales, cuando la aplicación de K se realiza a la siembra junto con el N y P, incorporándolo ya sea en suelo seco con rastra o con «fanguero». Se han evidenciado también resultados satisfactorios aplicando el K al voleo sobre el agua en estado de macolla temprana (Ortega, 1998).

Nuevamente la elección de la fuente dependerá de aquella que resulte ser más barata por kg de K_2O . Para ello se presenta el Cuadro 5.

Cuadro 5. Consideraciones económicas para la elección de la fuente de K.

Fertilizante	% K_2O	\$/kg	\$/kg K_2O
Muriato de Potasio	60%	138.5	230.8
Sulfato de Potasio	50%	260.0	520.0

Nota : Precios sin IVA al 24 de octubre de 2001. Agrícola Cordillera - Puyaral Chillán.

Por último es importante recordar que existe una alta extracción de K por parte de la paja en el caso de los cereales, por lo tanto es recomendable mejorar el manejo de residuos de cosecha, vale decir incorporar el rastrojo del cultivo anterior a objeto de que su descomposición dentro del mismo predio permita mantener en él los nutrientes extraídos por la paja, y mejorar el contenido de materia orgánica de los suelos (Ortega, Díaz y otros, 1999).

Otras consideraciones de fertilización

A pesar de que la fertilidad natural de los suelos arroceros es relativamente baja, no se ha encontrado respuesta significativa a la aplicación de micronutrientes como Azufre (S), Boro (B) y Cinc (Zn). Sin embargo, debe señalarse que las investigaciones en cuanto al uso de micronutrientes son escasas.

En términos generales la aplicación de B y Zn se justificaría sólo en casos de elevados estándares de manejo y producción, siempre y cuando la dosificación sea muy cuidadosa debido a que el rango entre deficiencia y toxicidad es muy estrecho, principalmente en el caso del B. De realizarse la aplicación de estos nutrientes debería ser como fertilización basal de presembrado incorporados junto con el P y el K (Ortega, 1998).

Actualmente se ha masificado el uso de mezclas de siembra que incluyen los nutrientes necesarios para dicha etapa en una sola formulación. Las principa-

les empresas distribuidoras de fertilizantes están en condiciones de preparar mezclas “a pedido”, y en este caso lo ideal es formularlas de la manera más sitio-específica posible para áreas de manejo homogéneo, vale decir ajustadas a las necesidades reales de cada sector en base a los análisis de suelo, y considerando que una adecuada fertilización debe al menos reponer la extracción del cultivo, lo que puede potenciarse con un buen manejo de residuos.



Foto 3. Arroz fertilizado con las MPM validadas por el proyecto.

Resumen de las MPM de fertilización en arroz

1- Usar el análisis de suelo como herramienta indispensable para decidir las dosis de fertilizantes a aplicar al cultivo y considerar el historial productivo del predio.

2- El análisis de suelo debe realizarse idealmente cada temporada, o como mínimo cada tres años, para evaluar principalmente el N disponible, P Olsen, K extractable, contenido de Materia Orgánica y pH del suelo, teniendo presente que una muestra compuesta es representativa de 10 hectáreas de terreno.

- 3- Realizar el manejo de la fertilización de la manera más sitio-específica posible, agrupando los potreros en áreas de características homogéneas que permitan realizar manejos similares sobre ellos.
- 4- Durante el desarrollo del cultivo apoyar las decisiones de fertilización en herramientas de diagnóstico tales como medidores de clorofila o kit de N en terreno.
- 5- En el caso del N se recomienda usar fuentes amoniacales incorporadas a la siembra ya sea con rastra en suelo seco o con «fangueo».
- 6- Si no es posible realizar un adecuado manejo del agua, es recomendable parcializar la dosis de N, ya sea $1/2$ a la siembra y $1/2$ a la macolla o $1/3$ y $2/3$ de la dosis en igual época.
- 7- Las dosis de N deben ajustarse entre 60 y 120 kg N/ha, utilizando las dosis más altas en sectores con mayor potencial productivo.
- 8- El P debe ser aplicado en dosis que fluctúan entre 30 y 60 kg P_2O_5 /ha, utilizando fuentes solubles, tales como Superfósforo triple y Fosfato Diamónico, e incorporándolo en suelo seco o con «fangueo» previo a la siembra junto con la primera parcialidad de N.
- 9- De cumplir con los requisitos establecidos es conveniente aprovechar el subsidio estatal para elevar el nivel de P en el suelo.
- 10- Aplicar el K también incorporado en presiembra junto con el P y la primera parcialidad de N. Utilizar dosis entre 30 y 120 kg K_2O /ha, siendo aconsejable usar las dosis más altas cuando la dosis de N también es elevada y el K en el suelo es bajo.
- 11- Las fuentes de K más recomendadas son el Muriato de Potasio y el Sulfato de Potasio.
- 12- Si los niveles de P y K en el análisis de suelo son adecuados, igualmente es necesario reponer al menos la extracción del cultivo.

13- Si bien es cierto que en sectores con mayor potencial productivo pueden aplicarse dosis más altas, no es menos cierto que siempre debe optarse por aplicar las menores dosis dentro del rango recomendado.

14- Aplicar micronutrientes sólo si el potencial productivo del sector lo amerita y si el análisis de suelo lo aconseja. Cuidar especialmente las dosis a utilizar.

15- En el caso de usar mezclas de siembra, formularlas en base a las necesidades específicas de cada sector de manejo homogéneo y para cada temporada en particular.

BIBLIOGRAFÍA

González U., Jorge; Velasco H., Roberto; Morales Sch., Gustavo. 2000. “Costos y Rentabilidad de Cultivos Anuales VII y VIII Regiones”. Chillán, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N°41. 140p.

Ortega B., Rodrigo. 1998. “Fertilización del arroz”. Informativo N° 13. INIA Quilamapu – AGMA. Chillán. Chile. 2 p.

Ortega B., Rodrigo, Díaz B., Katty, Flores M., Luis y Reagan Waskom. 1999. “Mejores Prácticas de Manejo en arroz para aumentar la eficiencia productiva y disminuir el impacto ambiental”. Cartilla de Difusión Serie MPM N° 2. INIA Quilamapu. Marzo. Chillán, Chile. 8 p.

PPI, 1988. Potash and Phosphate Institute.- Cargill Chile. “Potasio”. Capítulo 5. In: “Manual de fertilidad de los suelos”. Edición Potash and Phosphate Institute, Potash and Phosphate Institute of Canada y Foundation for Agronomic Research. Primera edición en español. Octubre. Santiago. Chile. p. 44 – 51.

CAPÍTULO 2



*M*ejores prácticas de manejo para la fertilización de cultivos en el Valle Regado

Katty Díaz B.

Rodrigo Ortega B.

Mejores Prácticas de Manejo para la Fertilización de Cultivos en el Valle Regado

Katty J. Díaz Bravo

Rodrigo Ortega B.

INTRODUCCIÓN

El área agroclimática del Valle Regado es la más privilegiada para la producción intensiva de cultivos, debido a que posee buenos suelos y dispone de agua de riego. Por esto constituye un sector de elevado potencial productivo y concentra la gran mayoría de los rubros agrícolas tradicionales de importancia económica. Así por ejemplo, la superficie de trigo y remolacha en la VIII Región asciende a 105.096 y 16.758 hectáreas (ha), representando un 28% y 40% de la superficie ocupada a nivel nacional respectivamente. A su vez, la superficie ocupada por praderas de corte en la misma región corresponde a 90.366 ha, es decir aproximadamente un 15% de la superficie a nivel nacional (INE, 1997).

Lo anterior da cuenta de la elevada exigencia a la que se ven sometidos los suelos del sector, puesto que la mayoría de los cultivos o praderas que sustentan ejercen una alta extracción de nutrientes, lo que produce un deterioro de la fertilidad del suelo si estos nutrientes no se reponen adecuadamente a través de la fertilización. Por lo tanto, los agricultores del área hacen un uso intensivo de insumos, lo que unido a los considerables niveles de aplicación de agroquímicos han hecho de la agricultura de la zona una actividad poco sustentable.

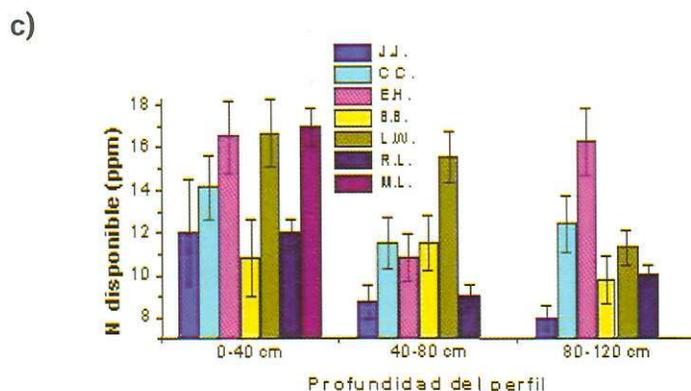
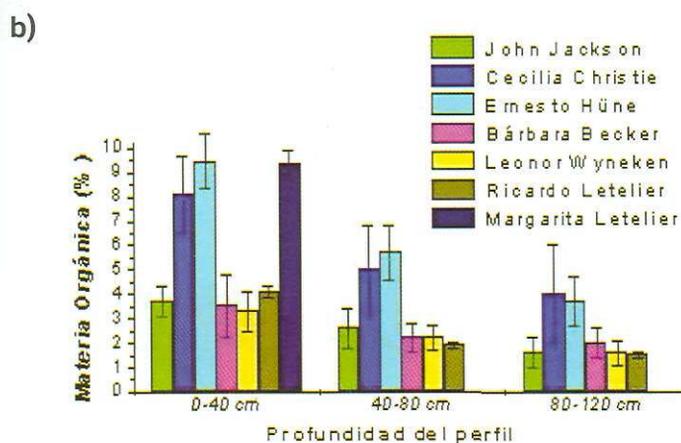
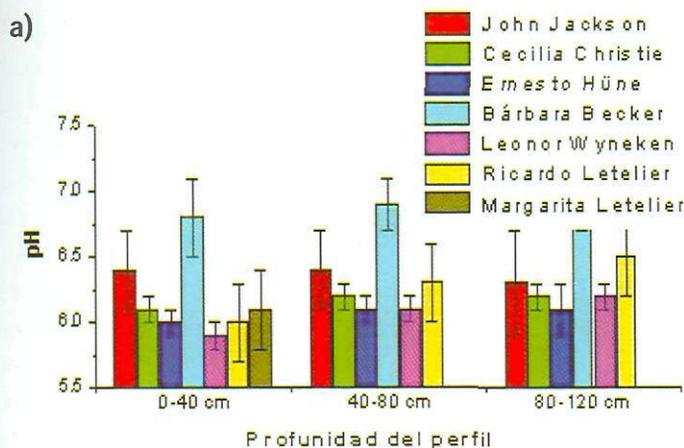
Es necesario precisar que la fertilización que requieren los cultivos de esta área agroecológica representa, en promedio, un 15 a 25 % de los costos directos de producción (González y otros, 2000). Debido a su importancia económica, como al impacto ambiental negativo que puede causar un mal manejo de la fertilización, se hace indispensable realizar dicha labor con la mayor eficiencia posible. Así, la investigación generada por el proyecto MPM consideró la evaluación de ensayos de fertilidad, a objeto de determinar las mejores prácticas de manejo para dicha labor en los cultivos tradicionales. Con éstas se puede ofrecer a los productores herramientas que les permitan desarrollar su labor de manera más eficiente y a la vez en forma ambientalmente amigable, posibilitando la disminución de la fuente de contaminación difusa causada por el mal manejo de fertilizantes, especialmente nitrogenados.

Se presentan a continuación algunas evaluaciones diagnósticas del área y las mejores prácticas de manejo para la fertilización de los cultivos establecidos en el Valle Regado, las que fueron validadas a través del proyecto.

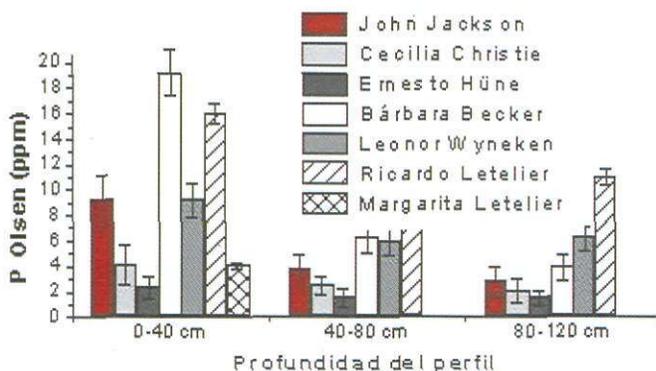
Diagnóstico y variabilidad espacial de la fertilidad en suelos del Valle Regado.

Se realizó un muestreo diagnóstico en profundidad a distintos predios del área, a objeto de recabar antecedentes sobre la fertilidad de los suelos del sector y principalmente evaluar los contenidos de N en las estratas más profundas del perfil. Lo anterior para constatar si las aplicaciones de éste elemento se estaban realizando de manera eficiente, o bien si los niveles de fertilización nitrogenada excedían a los requerimientos del cultivo y posibilitaban la existencia de pérdidas por lixiviación, que podrían contaminar las napas de agua subterránea.

La Figura 1 muestra las principales características de los suelos evaluados, y en ella se observa la significativa variabilidad que existe entre los predios de distintos productores, así como dentro del mismo potrero muestreado.



d)



e)

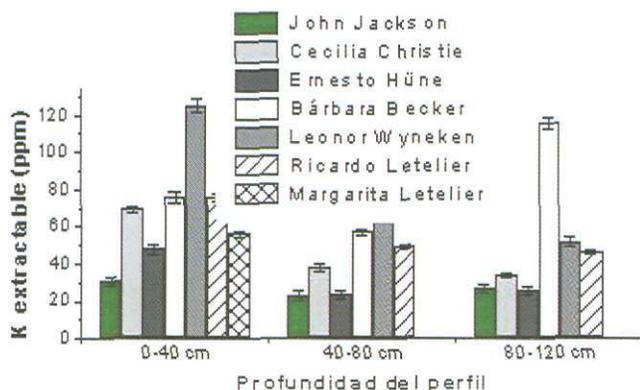


Figura 1. Variabilidad en profundidad de las propiedades de suelo evaluadas en predios del Valle Regado. Etapa de diagnóstico Proyecto MPM.

Dicho muestreo confirma que la acidez de los suelos de esa zona (Figura 1a) va desde moderada a ligera (pH entre 6 y 7). Sin embargo en la mayoría de los casos la acidez no aumentó con la profundidad. Lo anterior se debería a que en estos suelos formados bajo regímenes de alta precipitación, los nutrientes básicos tales como Calcio y Magnesio son lixiviados por el agua lluvia, y por tanto se acumulan en las capas más profundas del perfil de suelo (Potash and Phosphate Institute, 1988).

El contenido de Materia Orgánica (MO) de los suelos (Figura 1b) presentó marcadas diferencias entre los productores, dependiendo del sector en que se encuentran. El contenido de MO lógicamente disminuye con la profundidad del suelo. En la capa arable los rangos encontrados van desde Bajo (2.1 - 4.5 %) a Alto (8.1 - 12.0 %), correspondiendo los mayores valores a suelos del sector Oeste de Los Angeles y Chillán, que tradicionalmente son muy productivos. A su vez, el contenido de N disponible en general fue Bajo (de 11 a 20 ppm), no obstante en los suelos recién mencionados se encontraron los niveles más altos de todos los suelos muestreados.

En cuanto a la variación en profundidad de los niveles de N (Figura 1c) es interesante constatar que en el caso de algunos productores evaluados el manejo de la fertilización nitrogenada aparentemente no es tan eficiente, puesto que se encontró un alza en el nivel de N en profundidad.

Un caso excepcional lo constituyó el suelo del predio 3, del sector El Peral en los Angeles, donde dicha alza fue la más considerable. Sin embargo en este caso ello se debería no a un mal manejo del N, sino más bien a que el suelo muestreado provenía de la rotura de una pradera de alfalfa para el posterior establecimiento de una esparraguera, lo que demuestra la importancia de las praderas leguminosas para mejorar la fertilidad dada su capacidad de fijar el N atmosférico en el suelo.

En relación a los contenidos de fósforo (P Olsen) de los suelos muestreados (Figura 1d) también se presentaron diferencias notorias entre sectores. Se comprobó a su vez, que en los suelos de la VIII región éste es un nutriente que generalmente se encuentra en cantidades deficitarias, debido los altos contenidos de arcillas que tienen la capacidad de fijar el P en los suelos sin que éste pueda ser aprovechado por las plantas. Unido a esto los niveles de acidez determinan que predominen fosfatos poco solubles en el perfil, tales como fosfatos de hierro manganeso y aluminio. Además, estos suelos mantienen una alta humedad lo que reduce el contenido de oxígeno y por tanto la absorción del P (Potash and Phosphate Institute, 1988).

El alto nivel de P Olsen encontrado en el predio 4 se atribuye a que en el potrero muestreado había remolacha en la temporada anterior, cultivo que

tradicionalmente es muy fertilizado dejando una elevada residualidad de nutrientes en el suelo.

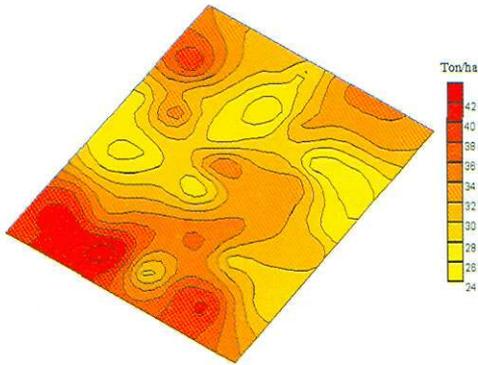
Por último, en lo que se refiere a los contenidos de Potasio (K extractable) (Figura 1e) también existió una notoria variación entre los suelos muestreados, lo que en general coincide con los contenidos de arcillas en cada predio.

Una gran proporción del K existente en un suelo es disponible para las plantas en forma lenta, se estima que sólo alrededor de un 2% es de disponibilidad inmediata. Lo anterior se debe a que las arcillas del suelo se expanden y contraen dependiendo de la humedad del suelo, y en este proceso retienen o fijan el K (lo mismo ocurre con el P). En la medida que las plantas remueven el K de la solución del suelo, parte del K intercambiable o retenido se mueve a ella siendo reemplazado por otro catión (partícula de carga positiva como magnesio o calcio) para mantener un equilibrio. Es por ello que en suelos más arcillosos los contenidos de K extractable son mayores.

Ahora bien, al igual que para el caso del muestreo de suelos arroceros, se pudo apreciar una ostensible variabilidad espacial de las propiedades evaluadas, ya sea entre los productores como dentro de los potreros muestreados.

Nuevamente es necesario recalcar el hecho que la fertilidad natural del suelo presenta grandes variaciones aun en áreas cercanas, por lo que la respuesta de los cultivos que sustenta a la fertilización es también variable. Es por ello que al usar una dosificación uniforme de fertilizantes existe el riesgo de sobrefertilizar algunos sectores, generando excedentes susceptibles a pérdidas, o bien «quedar corto» en la fertilización de otros sectores del potrero. Gráficamente esto se puede apreciar en la Figura 2 que indica la variación de la respuesta en rendimiento a las aplicaciones uniformes de N.

REMOLACHA
12 kg N/ha



REMOLACHA
252 kg N/ha

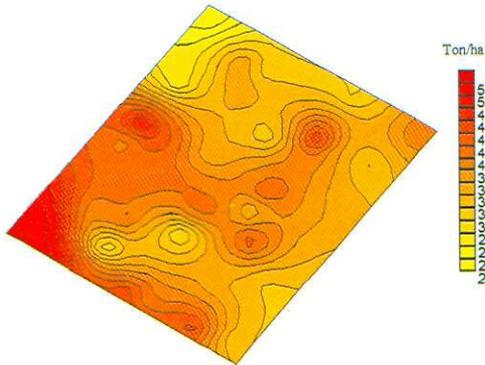


Figura 2. Variación espacial de la respuesta en rendimiento a las aplicaciones uniformes de N en remolacha. Chillán. Temporada 1999/2000.

Dicha situación refuerza la necesidad de realizar la fertilización en forma más eficiente y «sitio específica», manejando el predio por áreas de características homogéneas. En el contexto de la eficiencia de la fertilización, y considerando que la recomendación de fertilizantes se hace generalmente en base a los resultados del análisis de suelo previo a la siembra, es necesario precisar que la etapa más crítica para que dichos resultados sean confiables la constituye el muestreo de suelos.

Consideraciones respecto al muestreo de suelos

Un correcto muestreo de suelos debe lograr describir la propiedad deseada con la mayor exactitud posible y, a su vez, al repetirse con otro operador debería generar resultados similares. Es necesario entonces tener presente las siguientes consideraciones.

- La Norma Chilena NCh 2060 de 1999 (INN, 1999) dicta los procedimientos oficiales para el muestreo de suelos con fines de diagnóstico de fertilidad para cultivos y praderas, siendo en el caso del sector forestal y para frutales sólo de aplicación preliminar. (Ortega y Flores, 1999). Se recomienda consultar, además, a Rodríguez (2000) y a Rojas y Rodríguez (1997), donde se describen diversos procedimientos y consideraciones respecto al muestreo.
- En términos prácticos, el muestreo compuesto es la forma más operativa de realizar dicha labor. En primer lugar debe dividirse el potrero o área a muestrear en unidades homogéneas de no más de 10 ha cada una, basándose por ejemplo en la topografía. Una alternativa se presenta en la Figura 3. Posteriormente debe recorrerse cada unidad (A, B y C en dicha figura) en cruz o en zig-zag y coleccionar unas 25 submuestras para conformar una muestra compuesta de aproximadamente medio kilo de suelo, que es la que será enviada al laboratorio.

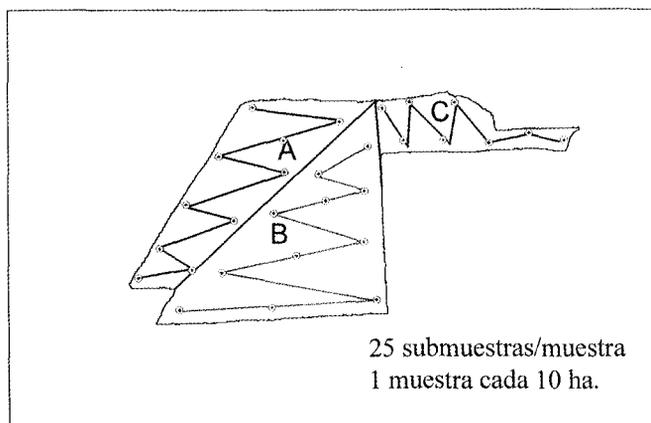


Figura 3. División de un potrero en áreas de características homogéneas.

- La profundidad a la que se deben coleccionar las submuestras es generalmente 20 cm, o el equivalente a la capa arable del suelo. Es importante tener presente que ellas deben ser tomadas de un volumen similar en cada punto de muestreo, y deben ser muy bien mezcladas antes de tomar la muestra compuesta final. Esta debe ser claramente identificada con los datos del sector, potrero y fecha en que fue coleccionada.
- Si no es posible llevar las muestras inmediatamente al laboratorio es necesario mantenerlas refrigeradas a temperatura de entre 4 y 6 °C, a objeto de no alterar las propiedades del suelo (Ortega y Flores, 1999).
- Es preciso recordar que el muestreo debe hacerse con tiempo, pero lo más cercano posible a la fecha de siembra para que la recomendación en base a sus resultados sea acertada (los laboratorios tardan entre 10 y 15 días en entregar los informes).

De esta manera, si el muestreo es realizado correctamente, los resultados de los análisis de suelo permitirán realizar una recomendación apropiada para la fertilización de cada unidad de características homogéneas, dejando en el pasado las tradicionales «recetas» de fertilización para grandes sectores y comenzando a realizar dicha labor en forma más eficiente y «sitio específica», con lo cual se contribuirá a hacer de la agricultura una actividad más sustentable.

Manejo adecuado del N en suelos del Valle Regado

Realizar un adecuado manejo del N reportará beneficios económicos y medio ambientales, puesto que debe tenerse en cuenta que debido a la dinámica del N en el suelo, éste se ve expuesto a pérdidas que pueden causar un impacto ambiental negativo y con ello afectar la salud humana (Figura 4). Entre estos problemas se pueden mencionar la eutrofización de lagos y lagunas producto de la proliferación de algas que disminuyen el oxígeno en el agua y afecta a la población de peces, algunas malformaciones congénitas y el síndrome del “bebé azul” producto de la metahemoglobinemia que afecta a niños nacidos de madres expuestas a altas concentraciones de nitratos en el agua.

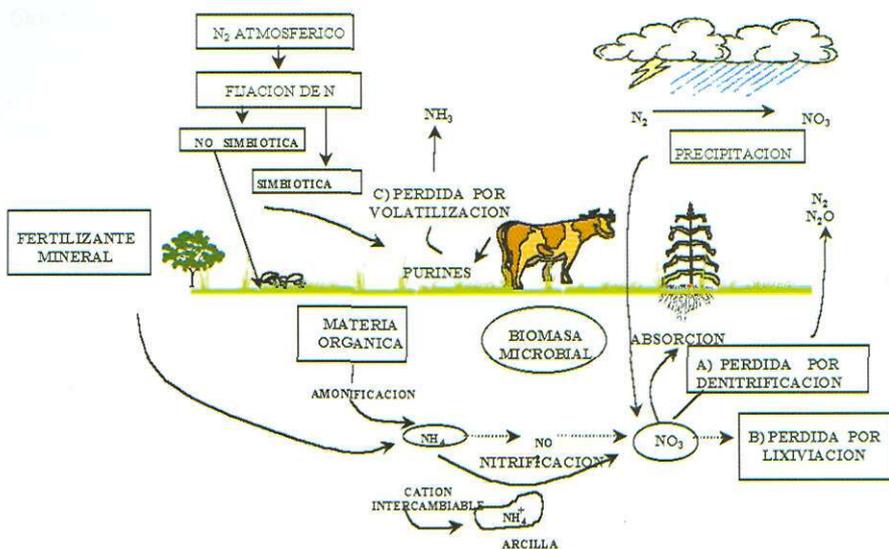


Figura 4. Ciclo del Nitrógeno en el ambiente donde se aprecian las posibles pérdidas de este elemento.

Es por todos conocido que existe una importante respuesta a la aplicación de N en la mayoría de los cultivos. La Figura 5 presenta la respuesta al N de cereales, y en ella se aprecia que ésta es notoria hasta dosis cercanas a los 100 - 200 kg N/ha, para luego hacerse estable (curva superior). Ahora bien, la curva inferior indica que cuando la variación en el rendimiento por el precio de la producción es mayor o igual a la variación en la cantidad de N aplicado por el precio de dicho insumo, se determina la Dosis Óptima Económica a aplicar. En este caso dicha dosis alcanza alrededor de 150 kg N/ha.

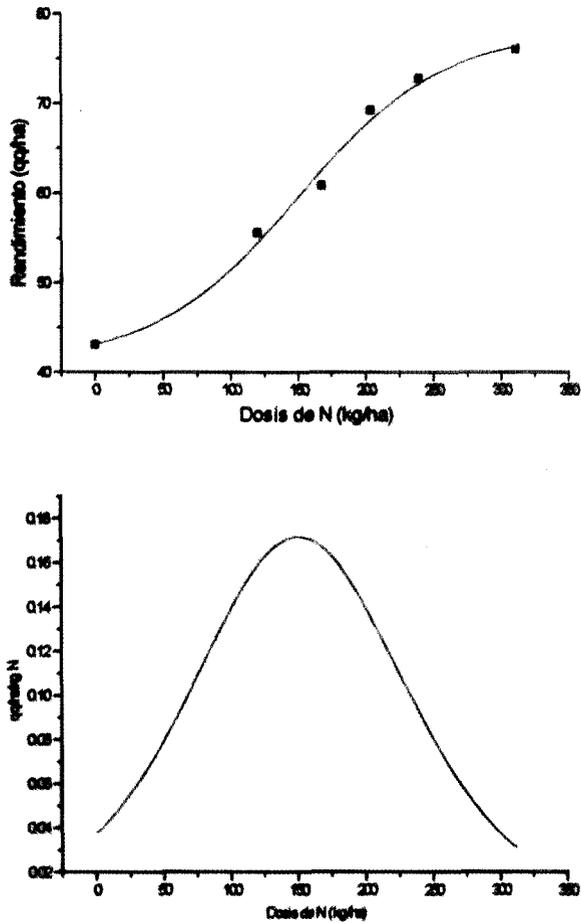


Figura 5. Respuesta promedio de los cereales a la aplicación de N.

Características de la Mineralización del N

El suelo contiene una proporción relativamente grande de N no disponible (orgánico) y una pequeña proporción de N no disponible inorgánico, que se considera una reserva de largo plazo (Jarvis *et al.*, 1997). El N orgánico representa el 97 a 98 % del total de N en el suelo, de modo que el proceso mediante el cual estas formas no disponibles se hacen disponibles para las

plantas es de suma importancia. Dicho proceso corresponde a la mineralización y se produce a medida que los microorganismos del suelo descomponen la materia orgánica para obtener su energía y parte de los nutrientes que necesitan, el excedente de estos nutrientes descompuestos y disponibles es liberado al suelo para el crecimiento de las plantas (Tisdale *et al.*, 1999).

El N disponible puede convertirse nuevamente a N orgánico a través del proceso de inmovilización, mediante el cual el amonio, nitratos y compuestos orgánicos simples son asimilados por la biomasa del suelo para convertirlos en sustancias complejas mediante la oxidación de sustratos. Sin embargo, el N inmovilizado quedará disponible nuevamente a medida que se agote el sustrato y por ende la población microbiana decae y se descompone. (Mardonez, 2000).

La mineralización e inmovilización ocurren en el suelo en forma simultánea, y que domine una sobre otra depende básicamente de la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) de los residuos o sustratos que se están descomponiendo. Si existes sustratos carbonados con una relación C/N mayor a 30:1, como por ejemplo los residuos frescos de cosecha y las pajas de cereales, la inmovilización será mayor y la disponibilidad de N para el cultivo se verá afectada, a menos que la fertilización complemente oportunamente esta deficiencia. (Potash and Phosphate Institute, 1988).

En una temporada generalmente se observa una mineralización neta positiva, vale decir que este proceso predomina sobre la inmovilización, pero en breves períodos es común que éste último sea el proceso predominante. Lo anterior se encuentra muy asociado también a factores ambientales, siendo los de mayor incidencia para la mineralización aquellos que condicionan el grado de aireación del suelo, entre ellos la textura, estructura y humedad. De acuerdo a ello se ha encontrado en incubaciones de laboratorio que la mineralización ocurre intensamente en los primeros 20 cm del suelo, y que disminuye bastante bajo los 60 cm de profundidad.

La temperatura (T°) también afecta la actividad microbiana del suelo y se ha determinado que T° de 25 a 35 $^{\circ}\text{C}$ son las más propicias para el desarrollo de estos microorganismos, estableciéndose, en general, que las tasas de

mineralización son directamente proporcionales a la T^2 y tienden a ser menos variables cuando éstas son altas.

El estrés hídrico y el exceso de humedad limitan la actividad biológica reduciendo la mineralización. A su vez, se ha determinado que en suelos fuertemente ácidos la descomposición microbiana es menor (Henry y Boyd, 1988), y que metales pesados como el Plomo, Cadmio y Mercurio también reducen la mineralización (Chang y Broadbent, 1982).

Algunos resultados del estudio de mineralización

Ahora bien, el estudio realizado por el proyecto confirmó que la mineralización natural del suelo no es capaz de sustentar los requerimientos del cultivo de trigo para obtener rendimientos satisfactorios. Recordando que este proceso es muy variable respecto a condiciones como humedad y temperatura, en dicha oportunidad se determinó que el aporte de la fertilización para trigo debiera ser del orden de 150 a 200 kg N/ha de manera de cubrir adecuadamente la extracción del cultivo y que puedan alcanzarse los rendimientos deseados, siempre y cuando no exista otro factor limitante para la producción.

En el cultivo de remolacha se determinó que tampoco el suelo puede suplir los requerimientos de N, sobre todo porque el nivel de extracción de éste elemento supera generalmente los 200 kg N/ha. Así, Tisdale *et al.* (1999) señalan que para un rendimiento de 47.6 toneladas limpias/ha las extracciones de los nutrientes principales fueron de: 224 kg N/ha, 22.4 kg P/ha, 358.4 kg K/ha, 56 kg Magnesio/ha y 28 kg Azufre/ha.

La extracción de nutrientes por parte de las plantas es más eficiente a medida que aumenta el rendimiento y su disponibilidad natural, hasta llegar a estabilizarse en un punto donde no hay posibilidad de asimilar más nutrientes aun cuando estén disponibles en el medio. Con estos antecedentes es posible determinar que las dosis de N aplicadas al cultivo de remolacha debieran ajustarse a no más de 220 kg N/ha, de tal manera de sustentar la extracción del cultivo y permitir la obtención de adecuados rendimientos.

Eficiencia de uso del N

Ahora bien, es necesario considerar que por diversos motivos no todo el N aplicado a los cultivos es aprovechado por éstos, lo que conlleva a que dichas aplicaciones tengan sólo un cierto porcentaje de eficiencia. El tipo de fertilizante, las condiciones climáticas, la disponibilidad de agua y la época de aplicación, entre otras variables, afectan la Eficiencia de Uso del N (EUN). Según Rodríguez (1990) la eficiencia de uso de este nutriente se expresa como:

$$\text{Eficiencia (\%)} = \text{Coef. de inmovilización} \times \text{Coef. de desnitrificación} \times \text{Coef. de lixiviación}$$

Según el autor, el coeficiente de inmovilización es considerado en general constante y del orden de 15% (lo que equivale a un valor de 0.85 en la fórmula). Lo mismo ocurre con el coeficiente de desnitrificación. El coeficiente de lixiviación, sin embargo es más variable y depende principalmente del nivel de precipitaciones en la zona evaluada. Así, el Cuadro 1 muestra dichas variaciones.

Cuadro 1. Variaciones del coeficiente de lixiviación según el nivel de precipitaciones.

Precipitaciones promedio entre Mayo y Agosto (milímetros de agua)	Porcentaje de lixiviación	Coeficiente de lixiviación
200 mm	5 %	0.95
400 mm	10 %	0.90
600 mm	15 %	0.85
más de 600 mm	20 %	0.80

Fuente: Rodríguez (1990).

Así, por ejemplo, en términos generales la EUN en la Región del Bío Bío es del orden de:

$$EUN = 0.85 \times 0.85 \times 0.8$$

$$EUN = 0.5 (\%)$$

Normalmente se puede considerar que, en promedio, la EUN es de 50 %. Vale decir que de 100 kg de N aplicado a los cultivos, éstos sólo aprovechan 50 kg. Otras investigaciones dan cuenta de eficiencias incluso menores (Cuadro 2).

Cuadro 2. Eficiencia de uso del N aplicado a distintos cultivos.

Cultivo	Rendimiento (ton Materia Seca / ha)	N extraído (kg / ha)	Dosis de N (kg / ha)	EUN (%)
Trigo de primavera	6	130	200	40
Maíz para ensilaje	23	230	480	27
Remolacha	16	200	240	41

Fuente: Ortega, 2000 (investigación no publicada).

Dosis de N para cultivos del Valle Regado

En cuanto a la dosis de N es importante mencionar que ésta debe establecerse previo a la siembra en base a los análisis de suelo, y tener presente que la disponibilidad de N cambia durante la temporada de crecimiento.

Los ensayos desarrollados por el proyecto en diversos cultivos, permitieron ajustar las dosis de éste elemento a los niveles señalados en el Cuadro 3, dependiendo de la disponibilidad inicial de N en el suelo.

Cuadro 3. Dosis de N recomendada para cultivos del Valle Regado.

Cultivo	Dosis de N (kg N / ha)
Remolacha	160 – 220
Maíz para ensilaje	250 – 400
Trigo de primavera	150 – 220

Fuente: Proyecto MPM.

En los ensayos se evaluaron reducciones y aumentos de las dosis de N, P y K recomendadas comercialmente para los cultivos en estudio. Se encontró que en promedio es posible reducir en un 15% dichas dosis, y lo que es más importante para los agricultores, que dicha reducción se traduce en un mayor margen bruto por hectárea. lo anterior se aprecia en la Figura 6 que presenta los resultados obtenidos en el caso del trigo de primavera.

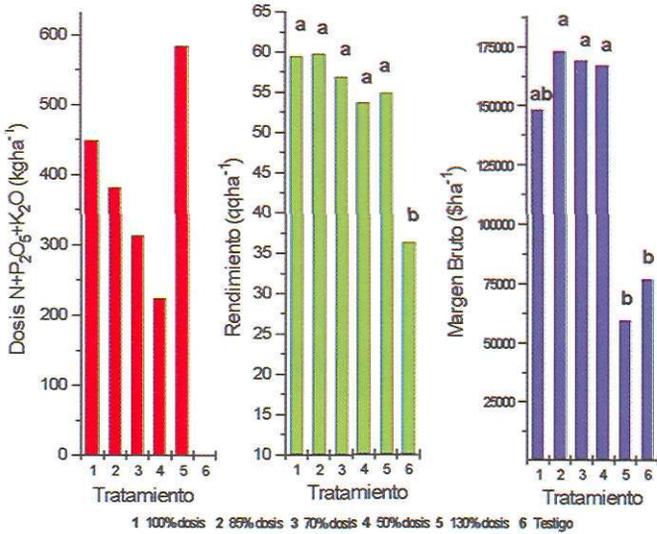


Figura 6. Efecto de la Dosis de NPK sobre el rendimiento y margen bruto por hectárea de Trigo. Temporada 1999/2000. Humán Los Angeles.

Ahora bien, los cultivos de remolacha y maíz para ensilaje son más exigentes en términos de extracción de nutrientes del suelo y, además, en el primer caso por tratarse de un cultivo que se trabaja sujeto a contrato con el poder comprador (IANSAs), en la práctica se hace más difícil reducir las dosis recomendadas en forma comercial.

Métodos de Recomendación para N

Es necesario recordar que la descripción de los métodos que a continuación se mencionan se realizó en la descripción de los aspectos metodológicos del

proyecto. En términos generales, los resultados obtenidos en los ensayos determinaron que el uso de herramientas de diagnóstico, como el medidor de clorofila, permiten realizar las aplicaciones de N de una manera más eficiente, vale decir, cuando el cultivo realmente lo necesita. El Cuadro 4 presenta algunos de los resultados obtenidos.

Cuadro 4. Resultados del ensayo de comparación de métodos de recomendación para N en trigo de primavera. Los Angeles. Temporada 1990/00.

Tratamiento	Dosis de N (kg / ha)	Altura de plantas (cm)	Rendimiento (qq / ha)	Eficiencia de uso del N (%)
Calibración	170	84.6 a	50.7 a	13.8 b
Balance	292	86.8 a	50.6 a	8.0 cd
Algoritmo	125	89.8 a	54.8 a	21.9 a
Starter + Medidor de clorofila	240	87.8 a	50.7 a	9.8 bc
Starter + Análisis de suelo	240	87.0 a	42.6 b	6.4 cd
Testigo	0	72.5 b	27.3 c	-
Doble	584	90.5 a	56.5 a	5.0 d

Nota: Medias seguidas de letras distintas difieren estadísticamente según Tukey. Fertilización base de 160 kg P₂O₅ ha⁻¹ + 120 kg K₂O ha⁻¹.

Si bien es cierto en este caso el uso de otra herramienta de decisión como el kit de análisis de suelo proporcionó buenos resultados, en términos generales para todos los cultivos evaluados su potencial no es tan claro, debido principalmente a que su utilización fue hecha con suelo seco y no siempre se encuentra dicha condición en terreno.

Sin embargo, en la medida que se realice su validación con suelo húmedo se proyectaría como un método promisorio, ya que la investigación hasta ahora realizada muestra que existe una relación consistente entre los resultados que entrega el kit respecto a los que brinda el análisis del mismo suelo en laboratorio (Figura 7).

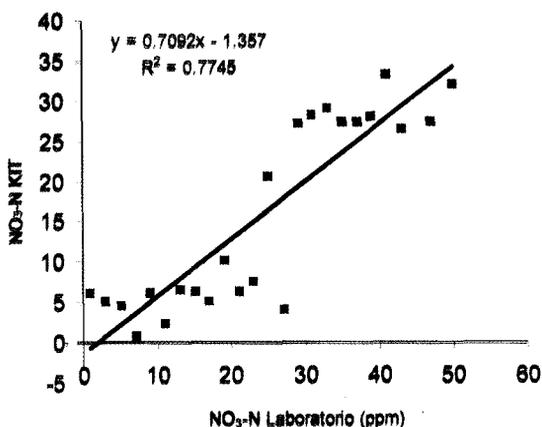


Figura 7. Relación entre los resultados del análisis de suelo en laboratorio con los resultados del uso del kit de terreno para N.

El método del algoritmo, por su parte, es el que en general proporcionó las dosis de N más ajustadas y con rendimientos aceptables. Sin embargo, se debe hacer hincapié en la necesidad de continuar con las investigaciones al respecto para validarlo como un método efectivo y pueda ser ampliamente difundido como ocurre en Estados Unidos (Waskom, 1994). Es preciso entonces recordar que éste método considera todos los aportes de N al cultivo, no sólo la fertilización sino también el N proveniente del agua de riego, de la materia orgánica, entre otras fuentes. El Cuadro 5 presenta los aportes estimados de N a partir de distintas fuentes basado en investigaciones hechas en Estados Unidos, los que pueden servir de referencia.

Cuadro 5. Aportes para N a partir de distintas fuentes.

Fuente de N	N aportado
Materia Orgánica del suelo	13.6 kg N / % MO
Nitrato residual del suelo	1.6 kg N / ppm de Nitrato
Estiércol	4.5 kg N / ton de guano seco
Agua de riego	3 kg N / ha / 30 cm de profundidad de suelo
Suelo previo a la siembra proveniente de praderas de alfalfa o trébol	56 kg N / ha
Suelo previo a la siembra proveniente de otros cultivos leguminosos	33 kg N / ha

Fuente: Waskom, 1994.

Considerando dichos aportes y teniendo una expectativa realista del rendimiento esperado para los cultivos, será posible realizar recomendaciones más ajustadas de N evitando así generar una sobrefertilización, y reduciendo la cantidad de N susceptible a pérdidas por lixiviación que pueda contaminar las aguas subterráneas.

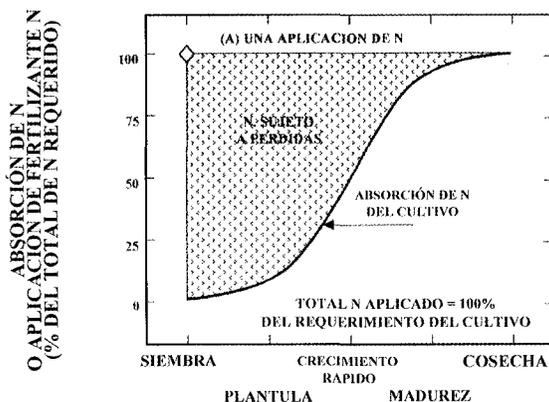
En base al Cuadro 4 nuevamente queda de manifiesto que el uso del medidor de clorofila es una buena alternativa para efectuar las aplicaciones de N de acuerdo a las reales necesidades del cultivo.

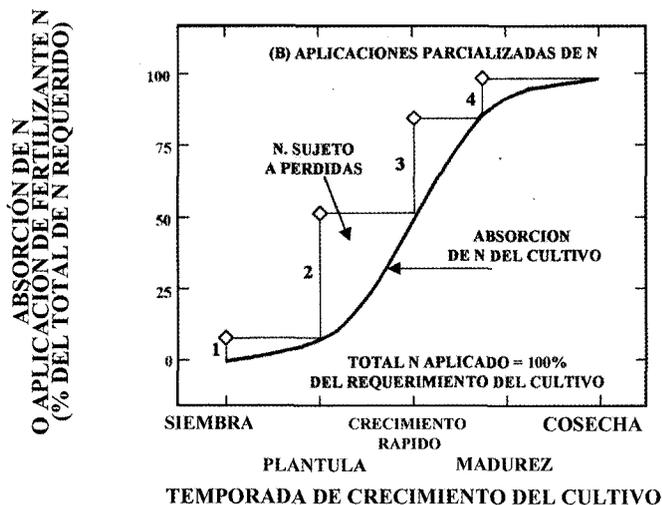
Parcialización de las dosis de N

Como se mencionó con anterioridad, la época de aplicación del fertilizante es uno de los factores que inciden en la eficiencia del uso del N. Así, una aplicación en forma parcializada y la adecuada localización del fertilizante pueden mejorar sustancialmente la absorción del N por las plantas.

La aplicación del fertilizante nitrogenado debe efectuarse lo más cercano posible al período de máxima absorción del cultivo. En la Figura 8 queda de manifiesto que el realizar aplicaciones parcializadas de N en primavera mejora la eficiencia de absorción del N y reduce el N disponible para lixiviación.

Figura 8. Comparación de la fracción de N sujeto a pérdidas al aplicarlo de una vez o en parcialidades.





En el Cuadro 6 se presentan los resultados del ensayo de parcialización realizados por el proyecto en el cultivo de remolacha, donde se confirma lo recién planteado.

Cuadro 6. Resultado del ensayo de parcialización de la dosis de N en remolacha. (400 kg N/ha). Los Angeles. 1999/00.

Tratamiento	Producción ton limpias / ha	% de Sólidos Solubles	Eficiencia (kg producto kg / N)
1 Parcialidad	61.6 ab	17.3 b	20.9 ab
2 Parcialidades	64.5 a	17.5 b	28.0 ab
3 Parcialidades	66.9 a	17.3 b	34.1 a
4 Parcialidades	57.1 ab	17.6 b	9.5 b
Testigo	53.3 b	19.5 b	-

Nota: Medias seguidas de letras distintas difieren estadísticamente según Tukey.
Fertilización base de 1425 kg ha⁻¹ de mezcla IANSAFERT sin N + 200 kg/ ha de IANSAFUNG.

Ahora bien, es necesario precisar que dado el rápido crecimiento de los cultivos de primavera bajo riego el N debe aplicarse en un máximo de 3 parcialidades (idealmente 2), a objeto de satisfacer oportunamente la alta extracción de los cultivos dada su elevada velocidad de desarrollo durante dicha temporada.

También es importante considerar que la aplicación puede hacerse aún más eficiente si se tiene en cuenta que los fertilizantes nitrogenados realizan su aporte al suelo a la forma de nitratos o de amonio, y que dependiendo de eso la disponibilidad del N para las plantas es diferente.

Así, a inicios de temporada la primera aplicación debiera realizarse con una fertilización que aporte aproximadamente un 10 % de nitrato (por ejemplo usando salitre) y el 90% restante a la forma de amonio (por ejemplo usando urea). Con ello se logra una disponibilidad del N más lenta y disminuir las pérdidas de nitratos por lixiviación durante el período inicial del cultivo donde aun hay cierto nivel de precipitaciones.

Las aplicaciones posteriores en cambio debieran contener al menos un 30% de nitrato, puesto que ésta forma es de absorción más rápida y durante dicho período ya han disminuido las lluvias y con ello la posibilidad de pérdidas del fertilizante.

Es necesario considerar que en caso de utilizar fertilizantes amoniacaes bajo condiciones de calor y suelo húmedo la transformación de amonio a nitrato ocurre rápidamente, lo que acelera la disponibilidad del fertilizante para las plantas.

La primera aplicación puede realizarse en la mezcla de siembra, y lo ideal es esperar que el cultivo presente un adecuado establecimiento para aplicar la mayor proporción de N; de esta manera se reducen las pérdidas y se puede ajustar mucho mejor la dosis a aplicar de acuerdo al potencial del cultivo. En el caso de remolacha por ejemplo, se recomienda aplicar la fertilización inicial a la siembra y aplicar la mayor proporción de N entre el 1^{er} y 4^{to} par de hojas, corrigiendo posibles deficiencias antes del 10^{mo} par de hojas o cierre de la hilera.

La forma de aplicación del fertilizante nitrogenado es también un factor que debe manejarse apropiadamente. Las aplicaciones incorporadas al suelo están menos sujetas a pérdidas que las aplicaciones al voleo. Lo ideal es que todas las aplicaciones superficiales sean incorporadas para reducir las pérdidas por escurrimiento y volatilización. Así por ejemplo, las aplicaciones en banda permiten localizar el fertilizante más cerca de las raíces de las plantas y con ello que lo absorban más rápidamente. En todo caso la forma más eficiente de aplicar el fertilizante es a través de la fertirrigación.

Manejo del riego y la eficiencia de uso del N

En términos generales los cultivos bajo riego tienen un alto potencial para causar contaminación de las aguas subterráneas, debido a los grandes volúmenes de agua aplicados. La lixiviación de nutrientes bajo la zona radical puede llegar a generar la contaminación de dicho recurso. De esta manera, incrementando la eficiencia y la uniformidad del riego se reduce la cantidad de agua drenada a través del suelo y se disminuye la cantidad de nitrato y otros contaminantes lixiviados.

En la actualidad existen numerosas tecnologías que permiten aplicar agua uniformemente, sin un gasto excesivo, y controlar la cantidad y la oportunidad del riego, entre ellas se cuentan los distintos sistemas de aspersión, pivotes y el riego por goteo, siendo éste último de menor uso en cultivos extensivos (Waskom, 1994). Los sistemas de riego por pulsos y californiano también mejoran la eficiencia del riego, y con ello la EUN.

La aplicación del N mediante sistemas de riego de alta eficiencia, tales como pivotes, pueden aumentar la eficiencia de uso de dicho elemento. A su vez, debido a la baja eficiencia de los riegos por tendido o por surcos, las aplicaciones superficiales de N no son recomendadas puesto que generan pérdidas por escurrimiento y percolación profunda. Por lo mismo, las aplicaciones superficiales en sectores con pendientes o en faldeos deben evitarse.

Finalmente, manejos como la micronivelación del terreno, la labranza conservacionista y la programación del riego de acuerdo a las necesidades del cultivo pueden reducir los requerimientos de agua y con ello disminuir la posible contaminación de las napas subterráneas.

Otras herramientas para el adecuado manejo del N

Aunque una dosis ajustada de N y un buen manejo del riego son los componentes más críticos del manejo de dicho elemento, hay otras herramientas que también pueden ser consideradas; entre ellas la necesidad de realizar una adecuada mantención y calibración de los equipos fertilizadores (trompo abo-

nador, sembradoras, etc), para obtener la cantidad apropiada y una distribución uniforme del fertilizante.

Se debe tener presente, además, que la rotación de cultivos constituye un manejo que permite minimizar la fertilización total y los requerimientos de pesticidas. Lo ideal es considerar algún cultivo de leguminosas en la rotación, a objeto de aprovechar la fijación de N que dichos cultivos realizan.

También pueden considerarse cultivos que desarrollan un sistema radical más profundo para aprovechar el N contenido en dichas estratas del perfil. Por el contrario, cultivos con sistemas radicales superficiales pueden usar el N residual que dejó en el suelo el cultivo anterior.

Finalmente no pueden descartarse herramientas que incorporen mayor tecnología, tales como modelos de mineralización computacionales, a objeto de estimar la disponibilidad de éste elemento bajo las condiciones puntuales del campo, o bien ajustar las aplicaciones con herramientas de decisión como medidores de clorofila, análisis foliar, kit de terreno, o el uso de sensores remotos que funcionan a través de monitoreos aéreos de los cultivos con sensores infrarrojos para determinar el nivel de nutrición de las plantas en base al nivel de reflectancia que emiten (Figura 9).

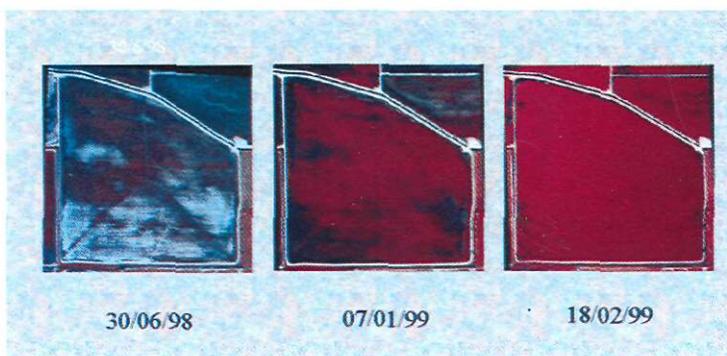


Figura 9. Fotografía infrarroja de distintas etapas de desarrollo de un arrozal en California, Estados Unidos.

Dichas herramientas son ampliamente usadas en países desarrollados como Estados Unidos y constituyen un aporte para que los agricultores realicen su labor de la manera más eficiente e informada posible.

Factores para la selección de la fuente de N

En el caso del N es importante tener presente que existen numerosas fuentes fertilizantes que aportan dicho elemento. Por ello debe hacerse la selección de acuerdo a varios factores, tales como el costo, la oportunidad de aplicación (si se necesita para disponibilidad inmediata deben preferirse las formas nítricas), la acidez o pH del suelo a fertilizar (si no hay problemas de acidez del suelo pueden preferirse las formas amoniacales), si se quiere aportar otros nutrientes pueden preferirse las formas combinadas como el salitre potásico o sulfatos de amonio.

El Cuadro 7 presenta algunas características importantes de conocer al momento de elegir una fuente de N.

Cuadro 7. Características de algunas fuentes de N.

Fertilizante	Costo		Reacción en el suelo		Equivalente en Cal (kg cal kg / N)	
	\$ / kg	\$/kg N	% N	A o B*	A	B
Sulfato de Amonio	187	890	21	A	5.4	
Nitrato de Amonio	162	476	34	A	1.8	
Urea	156	347	45	A	1.8	
Salitre Sódico	153	956	16	B		1.8
Salitre Potásico	195	1392	14	B		2.0

Fuente: Equivalente en Cal Ortega, 2000 (investigación no publicada)

Nota: Valores con IVA al 27 de noviembre de 2001. Agrícola Puyarál.

* A: Ácida (pH menor a 7)

B: Básica (pH mayor a 7)

Manejo adecuado del P y K en el Valle Regado

Los cultivos que tradicionalmente se establecen en el valle regado tienen niveles de respuesta variables al P y al K, pero indudablemente que para mantener una fertilización balanceada y alcanzar adecuados rendimientos es necesario aplicarlos dentro de un programa de fertilización.

Los contenidos de P en el suelo son mucho menos variables que los contenidos de N debido a su poca movilidad producto de ser atraído (fijado) fácilmente por las arcillas del suelo (Potash and Phosphate Institute, 1988). Es por ello que dicho elemento se pierde básicamente por la erosión que arrastra partículas de suelo que se llevan este nutriente.

Los cultivos que sustentan el suelo también ejercen un importante efecto sobre la dinámica de los nutrientes. Así lo ha demostrado un estudio de largo plazo desarrollado por el Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente del INIA Quilamapu en suelos del valle regado. Dicha investigación tiene por objetivo evaluar distintas variables de producción así como las propiedades y la dinámica de los nutrientes en un suelo cultivado con diferentes intensidades de uso (Ortega y Díaz, 2000).

Se ha determinado por ejemplo que los niveles de P Olsen son mayores en los suelos que han sido cultivados con remolacha como cabecera de la rotación, debido posiblemente a los elevados niveles que de éste elemento se aplican a dicho cultivo. Lo anterior permite entonces aprovechar la residualidad del P en el suelo para los cultivos posteriores.

En general el contenido de P en el suelo durante el período de estudio (1992 a 2001) se elevó en forma proporcional a los niveles de fertilización aplicados, y únicamente en las rotaciones que incluyen praderas de corte y maíz el contenido de P ha disminuido en el tiempo debido a la alta extracción de dicho elemento en éste sistema.

Además, fue posible determinar que existe una importante correlación entre los niveles de P aplicados al suelo como fertilizante y el incremento de su nivel. Así, se constató que se puede aumentar el nivel de P Olsen en el suelo en 1 ppm al aplicar un promedio de 100 kg de P_2O_5 /ha por año (Ortega y Díaz, 2000).

De esta manera se confirma la factibilidad de «construir» fertilidad en cuanto a este elemento y, por lo tanto, lo más recomendable sería aplicar niveles de P sostenidos para mantener y aumentar la cantidad de éste en el suelo.

En cuanto al K es posible decir que en dicho estudio no se observaron grandes variaciones en su contenido. Sin embargo, existen otras evidencias de que éste ha decrecido sustancialmente en muchos suelos del valle regado (Ortega, R. Comunicación personal) debido a la elevada extracción de este nutriente en cultivos de maíz y en las praderas de corte.

Lamentablemente el K no es un nutriente que sea de fácil recuperación en el suelo, lo que implica la necesidad de realizar aplicaciones que sustenten la elevada extracción de cultivos como maíz para ensilaje o alfalfa, y efectuar adecuadas fertilizaciones de mantención en las praderas de corte.

Es necesario considerar que en algunos suelos de alto contenido de arcilla aunque el contenido de K de intercambio sea alto, éste no es capaz de liberarse a la solución de suelo en cantidad suficiente para satisfacer los requerimientos del cultivo (Ortega R. Comunicación personal).

Lo ideal para ayudar a mantener un nivel de K adecuado en el suelo sería realizar labores de manejo de residuos en el caso de cereales a objeto de recuperar parte del K extraído por la paja. El picado e incorporado de dicho material sería una buena alternativa para lograrlo.

Dosis de P y K recomendadas como MPM

En términos generales las dosis de P y K a aplicar en los cultivos del Valle Regado evaluados por el proyecto se presentan en el Cuadro 8, y el nivel elegido deberá basarse en la disponibilidad de cada elemento previo a la siembra determinado mediante el análisis de suelo.

Cuadro 8. Dosis de P y K recomendadas para cultivos del Valle Regado.

Cultivo	P (kg P ₂ O ₅ / ha)	K (kg K ₂ O / ha)
Remolacha	300 - 450	60 - 120
Maíz de silo	180 - 220	100 - 200
Trigo de primavera	150 - 180	60 - 120

Fuente: Proyecto MPM.

En cuanto a la selección de las fuentes y a las formas de aplicación de dichos elementos, éstas son las mismas descritas en el capítulo anterior.

Otras consideraciones de fertilidad en el Valle Regado

Gracias a la evaluación diagnóstica de suelos del valle regado realizada por el proyecto, se determinó que existe una gran diferencia entre productores en cuanto a los contenidos de materia orgánica (MO), y que éstos en general son bajos.

La dinámica de la MO en el suelo es variable de acuerdo a los cultivos que éste sustenta. Así por ejemplo, su nivel es superior en rotaciones que contemplan la incorporación de rastrojos y praderas de rotación larga. De esta manera, dichas prácticas deben ser consideradas si se quiere mantener una adecuada fertilidad en el suelo.

Así también es necesario considerar la posibilidad de aplicar algunos micronutrientes de acuerdo a la información proporcionada por los análisis de suelo periódicos. Algunos cultivos como la remolacha son manejados con elevados estándares de fertilización, incluyendo la aplicación de micronutrientes, puesto que al ser un cultivo que se trabaja sujeto a un contrato, las exigencias son mayores; sin embargo la necesidad de hacer una fertilización balanceada es igualmente importante tanto para obtener buenos rendimientos en todos los cultivos, como para no generar fuentes de contaminación que hagan de la agricultura una actividad poco sustentable.

Resumen de las MPM de fertilización en suelos del Valle Regado

1. Basar la decisión de la dosis de fertilización a utilizar en los resultados del análisis de suelo.
2. Dicho análisis debe realizarse en potreros de características homogéneas tomando unas 25 submuestras a 20 cm de profundidad para conformar una muestra compuesta representativa para 10 ha, que es la que se envía al laboratorio.
3. Para establecer la dosis de fertilización a aplicar es necesario tener una apreciación objetiva del rendimiento esperado, para no generar sobrefertilizaciones ni «quedar corto» en la dosificación.
4. Tener el mayor cuidado en el manejo del N, debido a que por su dinámica en el suelo es un elemento fácilmente susceptible a pérdidas, que pueden generar contaminación.
5. Lo más aconsejable es realizar las aplicaciones de N en forma parcializada para disminuir las pérdidas por lixiviación, e ir ajustando la dosis total en base, idealmente, al uso de herramientas como el medidor de clorofila o kit de análisis de suelo.
6. En la práctica se recomienda realizar una aplicación con una dosis moderada a la siembra, y una segunda con el fuerte de N durante el período de mayor absorción del cultivo. (Ver dosis de N recomendadas para algunos cultivos del valle regado en el Cuadro 3).
7. También se debe manejar la relación nitrato - amonio en cada una de las aplicaciones de N, puesto que inicialmente se recomienda utilizar sólo una pequeña fracción de nitrato para disminuir las posibles pérdidas con las aguas lluvias, y en las siguientes aplicaciones se puede incrementar dicha proporción en un 30 ó 50 %. El resto de la fertilización debe hacerse con una fuente amoniacal.

8. Al elegir la forma de aplicación del N debe considerarse que las aplicaciones superficiales generan pérdidas por volatilización o por escurrimiento vía agua de riego, por lo tanto lo ideal es aplicar los fertilizantes incorporados o vía fertirrigación.
9. El manejo del riego es otro factor que incide en la eficiencia del uso del N, puesto que aumentando la uniformidad y eficiencia del riego, disminuye el agua drenada en profundidad que lleva consigo el nitrato.
10. El uso de sistemas eficientes como pivotes es muy recomendable, pero si no es posible implementar dicho sistema, las aplicaciones incorporadas o en bandas, en conjunto con riego alternado por surcos son también una posibilidad viable.
11. Debe tenerse especial cuidado en el mantenimiento y calibración de los equipos de aplicación de fertilizantes para asegurar que la dosis sea la deseada.
12. Después de un cultivo de leguminosas o una pradera de alfalfa se recomienda utilizar cultivos de alta extracción de N, como maíz y remolacha, para utilizar el N fijado por los primeros.
13. El uso de cultivos con enraizamiento profundo, tales como remolacha y alfalfa, se recomienda después de cultivos de cobertura superficial. Además, es aconsejable realizar muestreos de suelos en profundidad para determinar la disponibilidad de N, y conocer el aporte de dicha estrata al cultivo posterior, eliminando ineficiencias en el uso de este nutriente.
14. Al mezclar o almacenar fertilizantes nitrogenados se recomienda hacerlo al menos a 30 metros de distancia de cuerpos de agua superficiales, para evitar los derrames y contaminación de las aguas.
15. Cuando se limpien los equipos fertilizadores se recomienda recuperar el exceso de fertilizantes y el agua de lavado, para ser reutilizados y no eliminarlos en cuerpos de agua.

16. Los niveles de P y K a aplicar deben ser determinados también en base al análisis de suelo, y en general aplicarlos en forma incorporada a la siembra. (Ver dosis recomendadas en el Cuadro 8).
17. La dinámica del P en el suelo permite ir construyendo fertilidad y elevando el nivel de éste elemento en el suelo.
18. El aumento del K en el suelo deberá trabajarse mediante fertilizaciones por sobre la extracción del cultivo y con un adecuado manejo de residuos. Esto último también contribuirá a mejorar el contenido de MO del suelo.
19. Las aplicaciones de micronutrientes se justifican en base al análisis de suelo y en cultivos con elevados estándares de fertilización como remolacha.
- 20.- Finalmente, el uso de tecnologías de avanzada, como sensores remotos y la agricultura de precisión con aplicaciones de fertilizantes «sitio específicas», constituyen nuestros desafíos para lograr alcanzar el nivel de los productores agrícolas de los países desarrollados.

BIBLIOGRAFÍA

- Chang F. and F. Broadbent. 1982.** «Influence of trace metals on some soil nitrogen transformations». *Journal of Environmental Quality*. Vol. 11 p 1- 4.
- González U. Jorge; Velasco H. Roberto y Morales Sch. Gustavo, 2000.** «Costos y rentabilidad de cultivos anuales VII y VIII regiones». Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 41. Chillán. Chile. 140 p.
- Henry D. F. and G. E. Boyd. 1988.** «Soil and fertilizer nitrogen». *In Soil Fertility*. Editors John Wiley and Sons. New York. United States. p 62 - 75.

- Instituto Nacional de Estadísticas. INE. 1997.** «VI Censo Nacional Agropecuario. Resultados preliminares. 1997». Octubre. Santiago, Chile. 443 p.
- Instituto Nacional de Normalización. INN. 1999.** «Norma Chilena NCh 2060-1999. «Suelos - Muestreo para análisis de fertilidad». Primera Edición. Santiago. Chile. 9 p.
- Jarvis S. C., E. A. Stockdale, M. A. Shepherd and D. S. Powelson. 1997.** «Nitrogen mineralization agricultural soils: Process and measurement». *Advance Agronomy*. Vol 57 p 187 - 224.
- Mardonez O., Rogelio. 2000.** «Variabilidad espacial de la mineralización de Nitrógeno». Tesis de Grado. Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción. Ing. Agr. Chillán. Chile. 30 p.
- Ortega B., Rodrigo, Díaz B. Katty, 2000.** «Manejo integrado de cultivos en el valle regado». *Revista Tierra Adentro*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. INIA. Santiago. Chile. Nº32. Mayo - Junio. p 21 - 23.
- Ortega B., Rodrigo, Flores M., Luis. 1999.** «Muestreo de suelos para recomendación de fertilizantes». Capítulo 5 *In Agricultura de Precisión. Introducción al manejo sitio específico*. INIA Quilamapu. Ministerio de Agricultura. Serie Quilamapu Nº 129. Agosto. Chillán. Chile. p 115 a 134
- Potash and Phosphate Institute. 1988.** «Manual de fertilidad de los suelos». Cargill-Chile. Santiago. Chile. 85 p.
- Rodríguez, Nicasio. 2000.** «Análisis de suelo. Herramienta para decidir la fertilización.» Informativo INIA Nº 25. Chillán. Chile. 2 p.
- Rodríguez, S. J. 1990.** «La fertilización de los cultivos. Un método racional». Departamento de Ciencias Vegetales. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 406 p.
- Rojas W. C., y Rodríguez S. N. 1997.** «Manual de muestreo para análisis de fertilidad». Servicio Agrícola y Ganadero. Departamento de protección de los Recursos Naturales Renovables. Santiago. Chile. 23 p.

Tisdale S. L., Nelson W. L., Beation J. D. and Havlin L. J. 1999.
«Soil fertility and fertilizers, and introduction to nutrient management». 6th ed. New York, Prentice-Hall. United States. 499 p.

Waskom R. 1994. «Best Management Practices for Nitrogen Fertilization» Colorado State University Cooperative Extension. Bulletin XCM-172 August. Colorado United States. 12 p.

CAPÍTULO 3



*M*ejores prácticas de manejo para la fertilización en precordillera

Katty Díaz B.

Rodrigo Ortega B.

Jorge Riquelme S.

Mejores Prácticas de Manejo para la Fertilización en Precordillera

Katty Díaz B.

Rodrigo Ortega B.

Jorge Riquelme S.

El área agroecológica de Precordillera constituye una zona de importancia para la producción de cultivos tradicionales de invierno como trigo, avena y raps. Sin embargo, las crecientes exigencias del mercado y la fluctuante situación de los precios que alcanzan dichos productos en el mercado nacional a causa de las importaciones, entre otras, hacen peligrar la actividad agrícola del sector. Tal es el caso del raps, que cada año ve más reducida su área de siembra.

Lo anterior se acrecienta en regiones como la VII, VIII, y IX, donde la zona precordillerana está siendo forestada, existiendo 107.016, 507.740 y 276.017 hectáreas con plantaciones forestales respectivamente (INE, 1997).

Las condiciones naturales del área agroecológica de precordillera hacen de la producción agrícola en la zona una actividad con mayor «riesgo», si la comparamos con las otras áreas en estudio. Así lo denota, por ejemplo, la dependencia exclusiva de las lluvias para satisfacer las necesidades de agua de los cultivos. A su vez, en ocasiones las lluvias se transforman en un problema para realizar oportunamente labores tales como fertilización, aplicación de pesticidas e incluso las siembras, lo que indudablemente puede afectar los rendimientos.

Las heladas también son un factor de riesgo importante para los cultivos de invierno en precordillera, ya que es posible perder siembras completas por «descalce», cuando fuertes heladas se producen en la etapa de emergencia de los cultivos, o ver reducida notoriamente la población de plantas si éstas ocurren en etapas tempranas de su desarrollo.

Otra de las importantes problemáticas enfrentadas por la agricultura en esta zona es que debido al cultivo en suelos con pendientes o lomajes pronunciados, las pérdidas de suelo por erosión son significativas. Esto a su vez conlleva a pérdidas de nutrientes tales como el Fósforo (P), que al ser adsorbido o fijado por las arcillas del suelo es fácilmente arrastrado con él por escurrimiento superficial. Con ello se va deteriorando notoriamente la calidad de los suelos y si se considera, además, que los cultivos de invierno requieren de fertilizaciones nitrogenadas en plena época de lluvias, es muy factible aumentar el riesgo de contaminación de otro recurso natural, como lo son las aguas subterráneas del área.

En este contexto se hace indispensable adoptar prácticas de manejo que tiendan a mejorar la eficiencia productiva, y a su vez, a reducir los impactos asociados a la actividad agrícola.

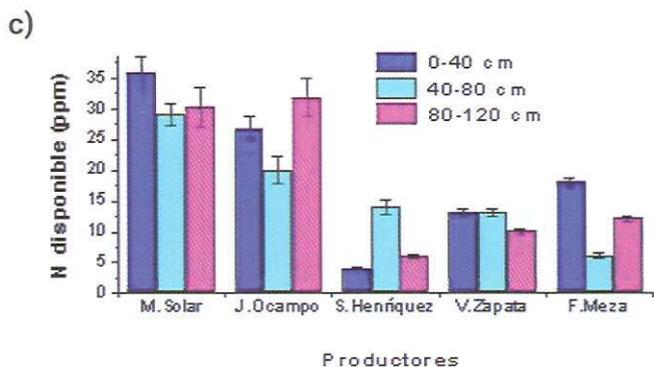
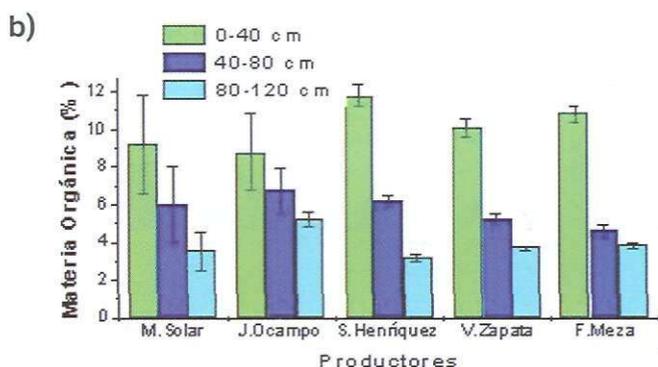
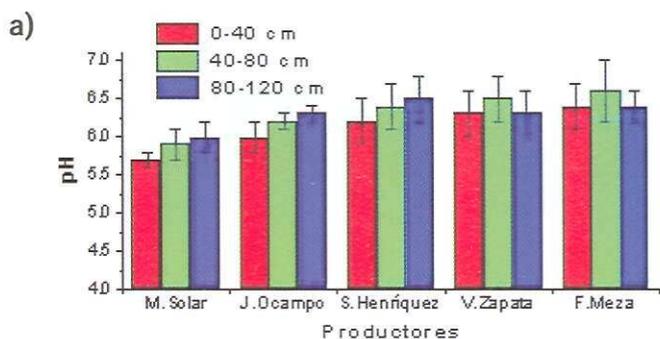
Se presentan a continuación las recomendaciones derivadas de las prácticas validadas a través del proyecto y en diversos estudios, para realizar la fertilización de los cultivos del área de una manera más eficiente y amigable con el medio ambiente.

Diagnóstico y variabilidad espacial de la fertilidad en suelos de Precordillera

En la etapa de diagnóstico del proyecto se realizó un muestreo de suelos en profundidad en predios del sector de Precordillera, a objeto de evaluar las características de la fertilidad natural de los suelos y la existencia de nitratos en las estratas más profundas del perfil.

Los resultados del análisis químico de suelo de 5 predios de precordillera, ubicados en las Comunas de El Carmen, Yungay y Santa Bárbara, permitieron apreciar que los niveles de pH se encuentran dentro del rango esperado para las características de suelo del sector, trumaos de precordillera, con una acidez moderada a media (5.6 y 6.2) que va aumentando en profundidad. Lo anterior se debería a que en estos suelos formados bajo regímenes de precipitación intensa los nutrientes básicos, tales como Calcio y Magnesio, son

lixiviados por las aguas lluvias y por tanto se acumulan en las estratas bajas del perfil (Potash and Phosphate Institute, 1998). La Figura 1 a) muestra en forma gráfica las variaciones en del pH en el suelo.



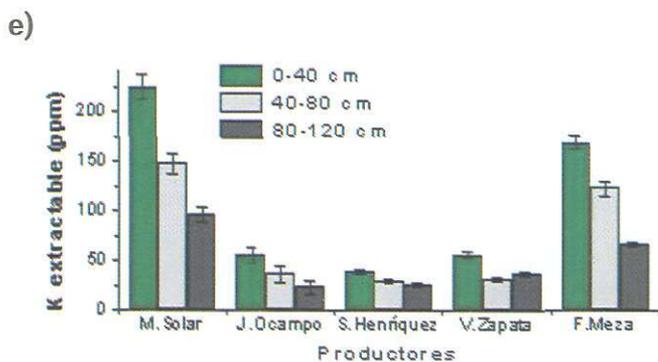
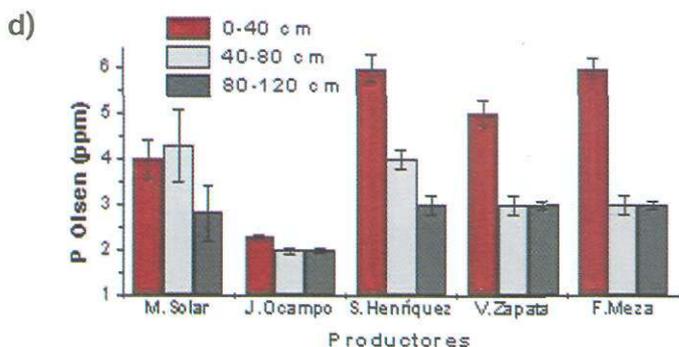


Figura 1.- Propiedades de suelo en predios de precordillera evaluados durante la etapa de diagnóstico del proyecto.

Se determinó, además, que los contenidos de materia orgánica (MO) del suelo fueron variables respecto de la profundidad de suelo, existiendo desde niveles bajos en profundidad (menores al 4%) hasta contenidos altos en las estratas superficiales del perfil (mayores de 12%) (Figura 1 b) Cabe destacar que todos los predios muestreados llevan un tiempo trabajándose con el sistema de Cero Labranza, lo que confirma que ésta práctica es capaz de aumentar los niveles de MO en los primeros centímetros de suelo.

En cuanto a los niveles de P Olsen encontrados, los valores son bastante bajos (2 a 6 ppm) en todo el perfil del suelo, disminuyendo en profundidad (Figura 1 d). Esto corresponde a una característica propia del tipo de suelos de la zona, debido a que son naturalmente fijadores de P por sus altos contenidos de arcilla.

Algo similar ocurre con el Potasio (K) (Figura 1 e), siendo necesario precisar que éste fue el elemento que presentó las mayores variaciones entre productores, pudiendo aquello deberse a los distintos manejos de residuos que cada uno realiza para establecer posteriormente los cultivos en Cero Labranza.

El contenido de Nitrógeno (N) en el perfil de suelo fue bastante variable (Figura 1 c). Destaca el hecho que en casi todos los predios existe un aumento del contenido de N en las estratas más profundas, lo que denota en cierta medida la baja eficiencia de las aplicaciones de éste elemento, puesto que quedaron fracciones no utilizadas por las plantas que fueron lixiviadas pudiendo contaminar las napas de agua subterránea. Lo anterior hace del manejo del N uno de los factores más relevantes en la zona. Lo mismo ocurre con el manejo del P, puesto que en la mayoría de los suelos del área éste se encuentra en niveles deficitarios, lo que puede traducirse en un menor potencial de rendimiento para los cultivos que sustente el suelo.

Es necesario recordar que en general las propiedades del suelo presentan una notoria variabilidad espacial (Figura 2), lo que impide realizar recomendaciones de fertilización acertadas, a menos que se hagan en base a unidades de manejo homogéneo y de la manera más sitio específica posible. Ahora bien, se debe precisar que a veces aunque así se realice, los rendimientos pueden verse igualmente afectados si dichas recomendaciones no se ejecutan de manera oportuna. Lo anterior se confirma en la Figura 3, donde se presentan los resultados de un área manejada en unidades homogéneas para la fertilización del cultivo de trigo en el sector de Santa Bárbara. En este caso, las constantes lluvias retrasaron la aplicación de la segunda dosis de N lo que se tradujo en un rendimiento promedio de tan solo 22.1 qq /ha, lo que da cuenta de la importancia de realizar las aplicaciones de N oportunamente para satisfacer las necesidades del cultivo.

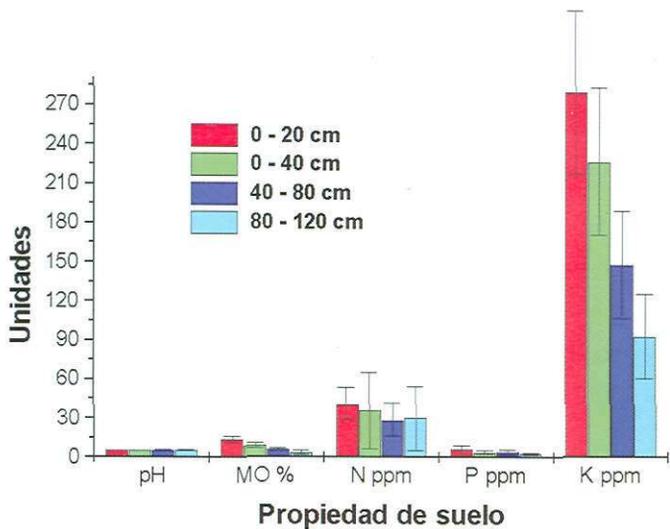


Figura 2.- Variabilidad espacial y en profundidad de las principales propiedades de suelo en un sector de 6 hectáreas en Santa Bárbara, 1999/00.

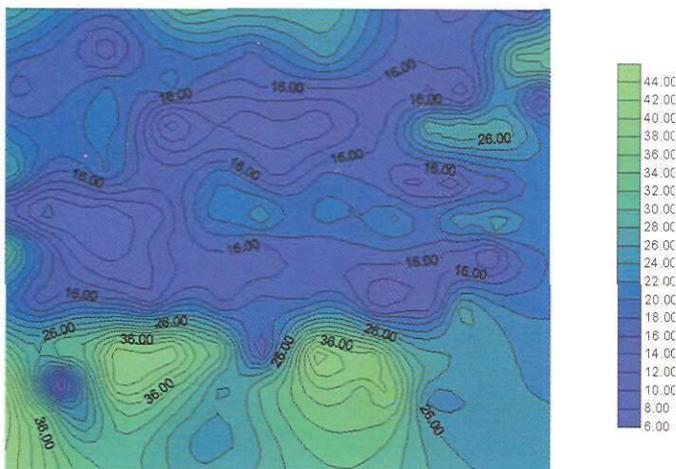


Figura 3.- Variabilidad espacial de los rendimientos de trigo (qq/ha) en un sector de 6 ha. Santa Bárbara, 1999/00.

Manejo adecuado del N en suelos de precordillera

El adecuado manejo del N en el área agroecológica de precordillera reúne algunas consideraciones puntuales específicas para esta área.

Lo primero nuevamente es la necesidad de basar la decisión de fertilización en los resultados que entregue el análisis de suelo.

En este contexto se debe precisar que actualmente existen muchos predios de precordillera manejados con el sistema de Cero Labranza, donde el suelo es sembrado sin laboreo previo, sobre los rastrojos del cultivo anterior y después de quemas o controles de malezas con herbicidas. Su objetivo es disminuir las pérdidas de suelo generadas por el labranza tradicional y reducir con ello la erosión. La Cero Labranza modifica además algunas propiedades físicas del suelo, como porosidad, tamaño y estructura de los agregados (Rodríguez y otros, 2000), viéndose afectados también el contenido y distribución de la materia orgánica, la concentración de nutrientes, la acidez y los procesos de mineralización, desnitrificación e inmovilización del N (Crovetto, 1992).

Por dichas características, la Norma Chilena NCH 2060 (INN, 1999) hace una consideración especial para el muestreo de suelos bajo este sistema de labranza, determinando que la profundidad de muestreo en este caso debe ser 10 cm, a diferencia del muestreo tradicional que es hasta 20 cm. Lo anterior concuerda con lo planteado por Waskom (1994) en estudios realizados en el extranjero.

Muestreo de suelos bajo Cero Labranza

La Cero Labranza se ha transformado en un sistema de importancia para la siembra de cultivos en el área agroecológica de precordillera. Sin embargo, genera condiciones particulares en el suelo que deben ser consideradas al momento de realizar el muestreo para que éste sea realmente representativo.

El muestreo de estos suelos es particularmente difícil, sobre todo si se trata de evaluar el contenido de P extractable en suelos naturalmente fijadores de este elemento, como lo son los trumaos arcillosos de precordillera. Lo anterior

debido a que el contenido de P sobre la hilera de siembra o en la banda es muy superior al encontrado entre hileras. Así, un muestreo compuesto tradicional pudiera generar sobre o sub estimaciones del contenido real de P en el suelo (Ortega y Flores, 1999).

Existen algunas relaciones determinadas en el extranjero que direccionan el muestreo de suelos bajo cero labranza para P extractable, dependiendo si se conoce o no el sentido de la siembra (Kitchen *et al.* 1990). Así, cuando se conoce la dirección de siembra, aunque las hileras no puedan distinguirse, se debe tomar la primera submuestra al azar. La segunda submuestra debe tomarse a la mitad de la distancia entre hileras en forma perpendicular al sentido de la siembra, y conformar con ambas la submuestra de ese punto de muestreo.

Cuando las hileras de siembra puedan localizarse se puede utilizar la siguiente relación para determinar el número de submuestras a coleccionar fuera de la banda por cada muestra dentro de la banda:

$$N = 8 * (DH/30 \text{ cm})$$

donde N : número de submuestras fuera de la banda
DH : distancia entre hileras

Por ejemplo para trigo sembrado a 17.5 cm entre hilera

N : $8 * (17.5/30) = 4.67$ aproximado a 5, es decir deben tomarse 5 submuestras fuera de la banda por cada muestra obtenida sobre la banda. (Ortega y Flores, 1999).

De esta manera se podrá realizar un muestreo efectivo para describir las propiedades de suelo deseadas.

Mientras que para el N es necesario realizar análisis de suelo periódicos, debido a la escasa movilidad del P en el perfil lo aconsejable sería realizar análisis de su contenido al menos una vez durante la rotación de cultivos establecida.

Lo ideal es mantener un registro de los resultados de dichos análisis en cada ocasión y para cada unidad de manejo homogéneo. Así, se podrá determinar la tendencia de los contenidos de P en el suelo.

Aun cuando el P es un elemento que puede ir aumentando sus niveles en el tiempo gracias al aporte de la fertilización, no es prudente hacer aplicaciones que excedan demasiado los requerimientos del cultivo, puesto que se ha demostrado que las pérdidas de P por escurrimiento aumentan cuando se incrementan sus tasas de aplicación (Waskom, 1994).

Lo aconsejable en caso que el suelo haya alcanzado su nivel de suficiencia es aplicar sólo lo recomendado vía análisis de suelo.

Un correcto muestreo permitirá basar con certeza la dosificación de fertilizantes en los resultados del análisis de suelo.

Dosificación y aplicación del N

Algunos resultados de los ensayos de dosis de NPK realizados por el proyecto en cultivos tradicionales de precordillera se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1.- Resultados del ensayo de Dosis de NPK en Trigo de invierno. Santa Bárbara Temporada 1999/00.

Tratamiento	Dosis N * (kg/ha)	Dosis P ₂ O ₅ (kg/ha)	Dosis K ₂ O (kg/ha)	Rendimiento (qq/ha)	Eficiencia (kg prod. /kg fert)
100 % dosis	240	250	120	49.3 a	5.2 a
85 % dosis	204	212.5	102	34.9 a	3.3 ab
70 % dosis	168	175	84	42.2 a	5.8 a
50 % dosis	120	125	60	34.4 ab	4.5 a
130 % dosis	312	325	156	33.6 ab	2.0 b
Testigo	0	0	0	11.6 b	-

* 1/3 de la dosis a la siembra y 2/3 a la macolla.

Nota: Medias seguidas de letras distintas difieren estadísticamente según Tukey.

Los rendimientos obtenidos fueron claramente distintos sólo respecto del tratamiento que no recibió fertilización, lo que indicaría que las dosis recomendadas en la actualidad están bastante ajustadas. La dosis de P en este caso es alta, debido a que naturalmente los suelos del sector son fijadores de este elemento dado su elevado contenido de arcillas, y por lo tanto debe agregarse una cantidad considerable de P para satisfacer las demandas del cultivo.

El Cuadro 2 presenta algunos resultados obtenidos en el ensayo de comparación de métodos de recomendación para N, donde el método del Algoritmo nuevamente proporciona resultados promisorios lo que hace insistir en la necesidad de seguir evaluando y validando este tipo de recomendación. En general, se repite la misma tendencia descrita en los capítulos anteriores, vale decir buenos resultados del método de Calibración, desarrollado por INIA en base al análisis de suelo, y promisorias expectativas del uso de herramientas de diagnóstico como el medidor de clorofila y los análisis de suelo «*in situ*».

Cuadro 2: Resultados del ensayo de Comparación de Métodos de Recomendación para N en Avena. Santa Barbara. Temporada 1999/00.

Tratamiento	Dosis de N (kg/ha)	Altura de plantas (cm)	Rendimiento (qq/ha)	Eficiencia (kg prod/kg N)
Calibración	120	114.5 ab	32.5 ab	7.1 ab
Balance	272	107.0 abc	32.7 ab	3.2 b
Algoritmo	75	110.8 ab	36.2 a	16.4 a
Starter + Medidor de Clorofila	90	101.6 bc	37.9 a	14.4 a
Starter + Análisis de suelo	90	110.9 ab	39.0 a	15.7 a
Testigo	0	93.8 c	23.9 b	-
Doble	544	120.3 a	35.9 a	2.2 b

Nota: Medias seguidas de letras distintas difieren estadísticamente según Tukey.
Fertilización base: 150 kg P₂O₅/ha + 100 kg K₂O/ha.

Es necesario mencionar que, en este caso, los rendimientos se vieron afectados por que las incesantes lluvias ocurridas durante la época de siembra de

esa temporada retrasaron la realización de dicha labor, y con ello se resintió el potencial de rendimiento de los cultivos. Por tal razón se estima que sería conveniente validar esta metodología con nuevos ensayos, a objeto de obtener resultados más confiables y acordes a la realidad productiva del sector.

En cuanto a la parcialización de las dosis de N nuevamente se recomienda que ésta se aplique parcializada y no de una sola vez a la siembra. En este sentido el manejo del N debe ser más cuidadoso, debido a que por el período de siembra (invernal) las aplicaciones de este elemento se realizan en forma coincidente con el período de lluvias.

Además, como los cultivos no crecen en forma acelerada por las bajas temperaturas, y por tanto no ejercen una fuerte extracción desde el suelo, es muy posible generar excedentes de N susceptibles a pérdidas por lixiviación que reduzcan la eficiencia de uso de este, y causen contaminación de las aguas subterráneas.

Lo ideal sería realizar un mínimo de 3 parcialidades para la aplicación del N, considerando que puntualmente en el caso del raps la aplicación a la siembra debe ser con una dosis cercana a la mitad del N total, debido a que dicho cultivo es sumamente dependiente de éste elemento para lograr un adecuado establecimiento.

El Cuadro 3 presenta algunos resultados obtenidos por el proyecto en el ensayo de parcialización de la dosis de N, donde se manifiesta la tendencia de los mejores resultados con un mayor número de parcialidades.

Cuadro 3- Resultados del ensayo de Parcialización de la dosis de N en Trigo (150 kg N/ha). El Carmen Temporada 2000/01.

Tratamiento	Altura de plantas (cm)	Rendimiento (qq / ha)
1 Parcialidad	83.9 ab	37.1 ab
2 Parcialidades	83.3 ab	35.6 ab
3 Parcialidades	85.2 ab	42.9 a
4 Parcialidades	87.2 a	45.1 a
Testigo	77.2 b	32.8 b

Nota : Medias seguidas de letras distintas difieren estadísticamente según Tukey.
Fertilización Base de 150 kg P₂O₅/ha + 100 kg K₂O/ha.

En resumen, el Cuadro 4 señala las dosis de N, P y K validadas a través del proyecto para los principales cultivos del área agroecológica de precordillera en base a análisis de suelo.

Cuadro 4.- Dosis de nutrientes, en base a análisis de suelo, validadas para cultivos de invierno en precordillera.

Cultivo	Dosis de N (kg N / ha)	Dosis de P ₂ O ₅ (kg P ₂ O ₅ / ha)	Dosis de K ₂ O (kg K ₂ O/ ha)
Trigo	150 - 200	150 - 200	100 - 120
Avena	120 - 150	120 - 150	50 - 100
Raps	150 - 220	150 - 200	50 - 120

Fuente: Proyecto MPM.

Por último, las consideraciones en cuanto a la forma de aplicación y a las fuentes de N a utilizar son las mismas descritas en los capítulos anteriores.

Manejo adecuado del P en suelos de precordillera

Generalidades

Es por todos sabido que el P es un nutriente esencial para todas las formas de vida terrestre y por supuesto para el crecimiento de las plantas. Normalmente las capas superiores del suelo contienen 1.3 a 3 toneladas de P por hectárea (aproximadamente 3 a 7 ton P₂O₅ /ha), sin embargo la mayoría de él se encuentra en compuestos insolubles no disponibles para las plantas, ya que ellas sólo pueden absorberlo cuando se encuentra disuelto en agua (Böckman *et al*, 1993).

Los microorganismos del suelo rompen la materia orgánica en el proceso llamado mineralización, mediante el cual convierten las formas orgánicas de P en formas inorgánicas disponibles para las plantas.

Los iones inorgánicos H₂PO₄⁻ y H₂PO₄²⁻ son las formas primarias para la absorción del P por las plantas (Waskom, 1994).

La Figura 4 muestra simplifícadamente el Ciclo del P en el suelo, donde se aprecia que éste existe como:

- P disuelto en el agua
- P lábil adsorbido por las partículas de suelos, especialmente arcillas
- P no lábil en minerales del suelo y precipitados inorgánicos
- Compuestos de P orgánicos

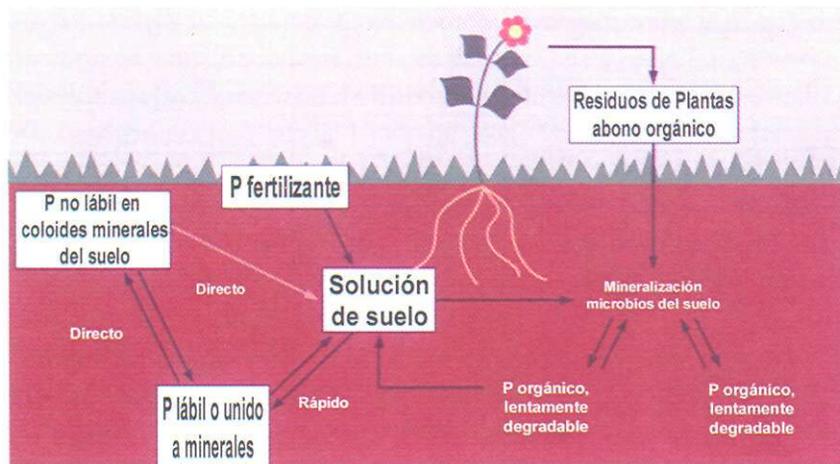


Figura 4. Ciclo del fósforo (P) en suelos agrícolas.

El cambio de una forma a otra es reversible, pero las tasas de conversión y reconversión varían considerablemente. La concentración del fosfato en el agua del suelo es baja (0.03 a 0.2 mg/l), lo que es agotado rápidamente por los cultivos en desarrollo, siendo restituido a la solución de suelo dentro de un margen de horas hasta días (Böckman *et al.*, 1993).

La liberación del fosfato no lábil existente en los minerales y la materia orgánica se produce a una velocidad muy lenta y dicha transformación depende de diversos factores, entre ellos la acidez del suelo, la humedad, la textura y otras propiedades químicas del suelo, entre otros.

La absorción promedio de fosfato por los cultivos de invierno es del orden de 25 a 70 kg P_2O_5 /ha (Böckman *et al.*, 1993), y las pérdidas que de este elemento se

producen son en general pequeñas y causadas fundamentalmente por la erosión. Cuando las partículas arcillosas del suelo son erosionadas por el viento y la lluvia, ellas arrastran también el P adsorbido. Ahora bien, en la mayoría de los suelos minerales la lixiviación del fósforo orgánico es insignificante, sin embargo, en suelos arenosos muy livianos bajo regímenes de alta precipitación es posible que se produzca lixiviación a las estratas más profundas del perfil (Böckman *et al.*, 1993).

Debido a lo anterior, los mayores problemas de contaminación de aguas asociadas al P se consideran en las aguas superficiales por causa del escurrimiento que lleva consigo este elemento, pudiendo derivar en procesos de eutroficación de lagos u otros cuerpos de agua superficial. Dicho proceso ocurre cuando grandes cantidades de nutrientes llegan a las masas de agua haciendo proliferar algas de manera anormal, las que reducen el contenido de Oxígeno del agua y la luz incidente, lo que dificulta el crecimiento de otras especies (Waskom, 1994).

Se debe tener presente que en Chile uno de los principales problemas ambientales lo constituye la erosión y la degradación de suelos, afectando un promedio de 45% de los suelos del territorio nacional (Vargas y otros, 1998). Lo anterior representaría, en una primera aproximación, un costo económico mínimo anual por erosión de 9427 millones de pesos, al valorar sólo las pérdidas de N, P y K (Pérez y González, 2001). Los autores mencionan a las regiones VII, VIII y XII con elevados costos producto de la erosión, siendo en general la macrozona secano/costa la que concentra el 30% de dicho costo, seguida de la XII Región y de la precordillera andina.

Si se considera lo anterior, es indispensable realizar un adecuado manejo de la fertilización fosfatada y la erosión para así minimizar los problemas de degradación de suelos y contaminación por escurrimiento hacia las aguas superficiales.

Dentro de los esfuerzos por reducir la erosión deben considerarse los tratamientos para el control de ésta (resumidos esquemáticamente en la Figura 5), las técnicas de labranza conservacionista y las de manejo de residuos, tema al cual se dedica el capítulo 5.

TRATAMIENTOS DE CONTROL DE EROSIÓN		
Tratamientos Generales		Tratamientos Específicos
Regulación de flujos hídricos		Canal de desviación de aguas. Canal longitudinal. Canal transversal simple. Canal transversal compuesto.
Incremento de la infiltración		Zanjas de infiltración. Terraza forestal.
Obras lineales de laderas y taludes		Postes de madera. Fajinas de sarmientos. Fajinas de ramas. Sacos rellenos. Revestimientos de neumáticos.
Cubiertas superficiales		Esteras de especies. Ramas de eucalipto. Cañas de maíz.
Regulación de flujos hídricos en cauces		Diques de postes de madera. Dique de estructuras gavionadas. Disipadores.
Control y estabilización de taludes		Estructura de postes de madera. Malla de sombra. Muro con sacos rellenos. Muro de neumáticos. Muro de postes de madera.
Biológicos		Hidrosiembra.

Figura 5. Resumen de tratamientos para el control de erosión.

Fuente: Vargas y otros, 1998.

Manejo adecuado de los fertilizantes fosfatados

Es preciso mencionar en este punto que la localización del fertilizante fosfatado afecta la fracción de P disponible para las plantas y, por añadidura, aquella que sufrirá pérdidas por escurrimiento superficial. La localización correcta del P es cerca de la zona radical de las plantas, pues así aumenta la eficiencia de uso de éste y el vigor del cultivo, disminuyendo, además, la fracción de P susceptible a pérdidas por escurrimiento.

Las aplicaciones de P al voleo sólo son recomendables en praderas perennes para la fertilización de mantención, la cual debe realizarse evitando la época de las lluvias puesto que el crecimiento de las plantas es mínimo y el potencial de escurrimiento es alto.

La aplicación de P en banda a la siembra es el método más eficiente para la mayoría de los cultivos, siendo la aplicación subsuperficial especialmente importante bajo sistemas de labranza reducida, para así alcanzar el máximo potencial de producción.

Lo ideal para el manejo de la fertilización es usar tasas variables de aplicación con lo que se mejora la eficiencia de uso del fertilizante y el retorno económico. Esta estrategia es particularmente útil en campos grandes donde el tipo de suelo y la producción de los cultivos varía notablemente.

Para usar esta estrategia es necesario:

- ⌘ dividir el campo en unidades de manejo basadas en mapas de tipo de suelos o producción.
- ⌘ realizar el muestreo de suelos por unidades de manejo separadamente.
- ⌘ fertilizar cada unidad de acuerdo al nivel de P en el suelo y al potencial productivo del sector.

De esta manera se pueden ir ajustando año a año los mapas de rendimientos, e ir redefiniendo los sectores de manejo (Waskom, 1994).

Utilización del estiércol o guano como fertilizante

En algunos casos se realiza la aplicación de abonos orgánicos, como guano, para complementar e incluso reemplazar la fertilización tradicional. El guano en general es una excelente fuente de P para la producción de cultivos. Sin embargo es necesario realizar análisis de suelo y del propio guano para determinar las tasas correctas de aplicación, en base a la absorción de N y P por parte de los cultivos, ya que ambos nutrientes están presentes en cantidades considerables en las distintas fuentes de guano.

El guano de aves de corral contiene excepcionalmente altos niveles de P, por lo tanto debe aplicarse en base a la remoción que ejerza el cultivo a fertilizar.

En estos casos la realización de análisis de suelo anuales es muy recomendable, para así poder rotar los potreros que reciben aplicaciones de guano cuando los análisis de suelo muestren que los niveles de nutrientes han llegado a estándares de suficiencia.

Al igual que los fertilizantes comerciales el guano debe incorporarse inmediatamente después de la aplicación. Existen algunos equipos de inyección de guano líquido que también pueden ser utilizados para mejorar la aplicación. Ahora bien, a diferencia de los fertilizantes comerciales los contenidos de P en cada fuente de guano pueden variar significativamente, por lo que el análisis de éstas es indispensable antes de decidir la dosificación a utilizar.

Finalmente, es necesario considerar algunas características del lugar antes de aplicar este tipo de abono. La inclinación o pendiente del terreno, la cobertura de residuos y la proximidad a las fuentes de agua superficial deben considerarse si se trata de proteger dicho recurso del enriquecimiento con P proveniente del guano (Waskom, 1994).

En sectores muy inclinados, en suelos altamente erosionables o en sectores muy húmedos no es recomendable aplicar este tipo de abono, puesto que al hacerlo se contribuye a generar pérdidas de nutrientes por escurrimiento que, finalmente, se traducen en la disminución de su eficiencia de uso y en riesgos de contaminación.

Existen numerosas publicaciones que tratan este tema en profundidad y variadas investigaciones al respecto, dentro de estas últimas se puede mencionar un proyecto desarrollado por el investigador Nicasio Rodríguez en el INIA Quilamapu, tendiente a evaluar el uso de purines (residuos orgánicos sólidos y líquidos provenientes del desecho de lecherías) como fertilizante en ciertos cultivos y frutales menores. En ellas se puede recabar más información al respecto.

Utilización de roca fosfórica

Es necesario señalar que la roca fosfórica para la fabricación de fertilizantes se obtiene de una diversidad de depósitos o yacimientos de minerales de fosfato. De estos, los más importantes son los depósitos sedimentarios provenientes de huesos viejos de animales. Los yacimientos del norte de África, con grandes reservas en Marruecos, y los de Florida y Carolina del Norte (EE.UU.) son importantes yacimientos de tipo sedimentario, al igual que los que existen en zonas del Medio Oriente (Böckman *et al.*, 1993).

Es posible utilizar la roca fosfórica molida directamente como fuente de P. Ahora bien, aunque la mayoría del fosfato de los distintos tipos de roca fosfórica generalmente no es suficiente para satisfacer los requerimientos inmediatos de las plantas, algunas fuentes, como las rocas de Carolina del Norte y de Túnez (Cafsa), pueden ser usadas en suelos con pH menor a 6.5 y generar una rápida respuesta en los cultivos debido a su elevada concentración de P.

En general las plantas tienen distintas capacidades para utilizar el P proveniente directamente de las rocas, y a su vez se estima que la eficiencia de la mayor parte de la roca fosfórica molida como fuente de nutrientes es muy baja. La eficiencia de aprovechamiento de esta fuente variará según las condiciones del terreno (particularmente pH y contenido de Calcio), el tipo de cultivo a fertilizar, el tipo de roca y el tratamiento que ésta haya recibido para aumentar su reactividad (Böckman *et al.*, 1993).

Mayores consideraciones al respecto pueden encontrarse en el Libro "Las rocas fosfóricas y sus posibilidades de uso agrícola en Chile" de los editores Eduardo Besoain, Carlos Rojas y Adolfo Montenegro.

Finalmente, se debe destacar que los manejos antes mencionados junto a los tratamientos para el control de erosión (presentados en la Figura 5) y las técnicas de labranza conservacionista, permiten reducir las pérdidas de P, aumentar la eficiencia de uso de los fertilizantes fosfatados, y disminuir el riesgo de contaminación de aguas superficiales por escurrimiento de sedimentos que llevan consigo los nutrientes aplicados.

Manejo adecuado del K

En líneas generales las mejores prácticas para el manejo del K en el área agroecológica de precordillera son las mismas descritas para el área agroecológica del valle regado.

Es necesario señalar que el K se concentra en los primeros centímetros de suelo cuando éste es trabajado bajo el sistema de Cero Labranza, por lo tanto cultivos con raíces más profundas se encontrarán con estratas de suelo más deficitarias en éste elemento.

Lo importante es recordar que las dosis a aplicar deben basarse en los análisis de suelo, y que la forma de aplicación del fertilizante potásico debe ser incorporado a la siembra junto con el P y la primera dosis de N.

Los contenidos de K en el suelo pueden mantenerse al realizar una adecuada labor de manejo de residuos y con fertilizaciones que repongan la extracción del cultivo.

Las consideraciones económicas para la selección de las fuentes potásicas fueron presentadas en los capítulos anteriores.

Otras consideraciones para la fertilización en la zona

En el área agroecológica de precordillera, fundamentalmente en el sector precordillerano del Sur de la VIII Región, la acidez del suelo es considerable y los análisis de suelo revelan niveles de pH cercanos a 6.0 con frecuencia. Esto

en muchos casos hace indispensable la práctica del encalado, que consiste en aplicar alguna fuente de Calcio (Ca) para así elevar el pH del suelo y mejorar con ello la disponibilidad de algunos nutrientes como el P.

Existen diversas fuentes de Ca. Entre ellas, la más común y utilizada es la Cal (Soprocal o Cal lansa). La dosis a utilizar dependerá del nivel de pH del suelo. Mientras más ácido, mayor cantidad deberá aplicarse, siendo las recomendadas del orden de los 1000 a 2000 kg de cal por hectárea.

Su aplicación se realiza generalmente al voleo o con máquinas encaladoras que la dejan esparcida en cobertera. Se debe mencionar que el Proyecto realizó ensayos para comparar la aplicación de cal en cobertera y de cal granulada incorporada en la mezcla de siembra, para el establecimiento de una pradera de alfalfa en el sector de Quiriquina, VIII Región. El ensayo evaluaba además la respuesta a distintos niveles de residuos en el suelo, en un diseño experimental de bloques divididos.

La aplicación de Cal en la mezcla de siembra consistió en 450 kg de cal granulada por hectárea, versus la aplicación de 1500 kg de cal en cobertera. El Cuadro 5 presenta los resultados obtenidos en términos de producción acumulada durante el año de establecimiento de la pradera.

Cuadro 5. Efecto de la aplicación de cal y niveles de residuo en la producción de Materia Seca Total (ton/ha) acumulada en 2 cortes de Alfalfa. Quiriquina. Temporada 1999/00.

Tratamiento de Residuo	Cal al Voleo (1500 kg/ha)	Cal en línea (450 kg/ha)	Promedio
0 % Residuo	6.3	6.6	6.4 b
50 % Residuo	7.0	7.1	7.0 b
75 % Residuo	8.2	6.4	7.3 ab
100 % Residuo	8.5	8.4	8.5 a
Promedio	7.5 a	7.1 a	

Nota: Medias seguidas de letras iguales no difieren estadísticamente.

En el ensayo se determinó que no existe diferencia significativa entre la respuesta obtenida a los tratamientos de cal, y por tanto la elección de la forma de aplicación podría realizarse en base a un criterio práctico y económico, puesto que las dosis a aplicar en línea son bastante menores y con ello se reduce el costo y se facilita el transporte del insumo al predio.

En general, esta práctica puede realizarse con una periodicidad de una vez cada tres años, según lo indiquen los análisis de suelo posteriores al encalado.

Otra práctica de fertilización que es recomendable en el área agroecológica de precordillera consiste en la aplicación de alguna fuente de Azufre (S) en el caso puntual del cultivo de raps. Se ha determinado que éste responde positivamente a la aplicación de este elemento, logrando alcanzar mayores rendimientos. Lo ideal es conocer el contenido de S del suelo vía análisis previo a la siembra, siendo en general las dosis recomendadas del orden de 60 kg S por hectárea, lo que correspondería a 333 kg de Sulfato de Calcio o Yeso agrícola que es la fuente más común para proporcionar S.

Resumen de las Mejores Prácticas de Manejo para la fertilización de cultivos en el área agroecológica de precordillera

- 1.- Basar la decisión de fertilización en los resultados del análisis de suelo obtenido al muestrear las unidades de características homogéneas a una profundidad de 10 cm si el suelo es trabajado bajo cero labranza.
- 2.- El manejo del N debe ser más cuidadoso debido a que la época de aplicación coincide con las lluvias y con una baja tasa de desarrollo del cultivo, lo que aumenta el riesgo de generar excedentes susceptibles a pérdidas.
- 3.- Antes de la dosificación de fertilizantes comerciales es necesario cuantificar los aportes de nutrientes de otras fuentes tales como guano.
- 4.- La dosificación de N debe basarse en los resultados del análisis de suelo y ajustarse a los requerimientos del cultivo. (Ver dosis en Cuadro 4).

5.- La utilización de herramientas como el medidor de clorofila resulta muy útil para realizar las aplicaciones de N en base a las reales necesidades del cultivo.

6.- Lo ideal es parcializar la dosis de N en al menos 3 oportunidades, considerando en el caso puntual del raps que se debe realizar un aporte considerable de N a la siembra para asegurar su adecuado establecimiento.

7.- En aquellos suelos con niveles «bajo» y «medio» de P la fertilización debe complementar la disponibilidad de éste elemento en el suelo para lograr satisfacer los requerimientos del cultivo. Si el nivel de P en el suelo es «alto», se recomienda aplicarlo en bajas dosis para mantener su nivel. Suelos clasificados como «muy altos» en P no debieran ser fertilizados con dicho nutriente en esa temporada.

8.- Utilizar las franquicias otorgadas por el Programa para la Recuperación de Suelos Degradados para la aplicación de P y aumentar sus niveles en el suelo.

9.- La aplicación de P en banda cerca de la zona radical reduce las pérdidas superficiales y mejora la disponibilidad del nutriente, especialmente en suelos deficitarios en P.

10.- No realizar aplicaciones de P en superficie en suelos con riesgo de erosión y de escurrimiento superficial, a menos que se hagan incorporadas.

11.- Minimizar las pérdidas de suelo por erosión, y las correspondientes pérdidas de P, mediante el establecimiento de coberturas vegetativas permanentes, labranza conservacionista y manejo de residuos, tratamientos de control de erosión y cultivos en contornos entre otras prácticas.

12.- Cuando el potencial de erosión del suelo sea elevado se recomienda establecer estructuras como terrazas de cultivo y filtros de sedimentos, entre otras técnicas para reducir las pérdidas de suelo y nutrientes.

13.- Realizar las aplicaciones de K en base a los análisis de suelo y en forma incorporada a la siembra junto con el P y la primera parcialidad de N.

14.- Utilizar técnicas de manejo de residuos, como picado e hilerado, para devolver al suelo el K extraído por éstos.

15.- En caso de aplicar abonos orgánicos como guano, es imprescindible realizarle análisis para determinar el real aporte de nutrientes que entregará.

16.- La aplicación de alguna fuente de Calcio, ya sea en cobertera o en línea, es una práctica indispensable en suelos con niveles de pH cercanos a 6.0, para así mejorar la disponibilidad de algunos nutrientes como el P y aumentar el potencial de rendimiento del cultivo.

17.- En el caso del cultivo de raps es recomendable realizar aplicaciones de S (Yeso Agrícola) en base a los niveles del nutriente en el suelo, puesto que se ha determinado que existe una muy buena respuesta a su aplicación.

18.- Con la adopción de las prácticas aquí descritas será posible hacer de la agricultura en el área agroecológica de precordillera una actividad más productiva y en armonía con el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

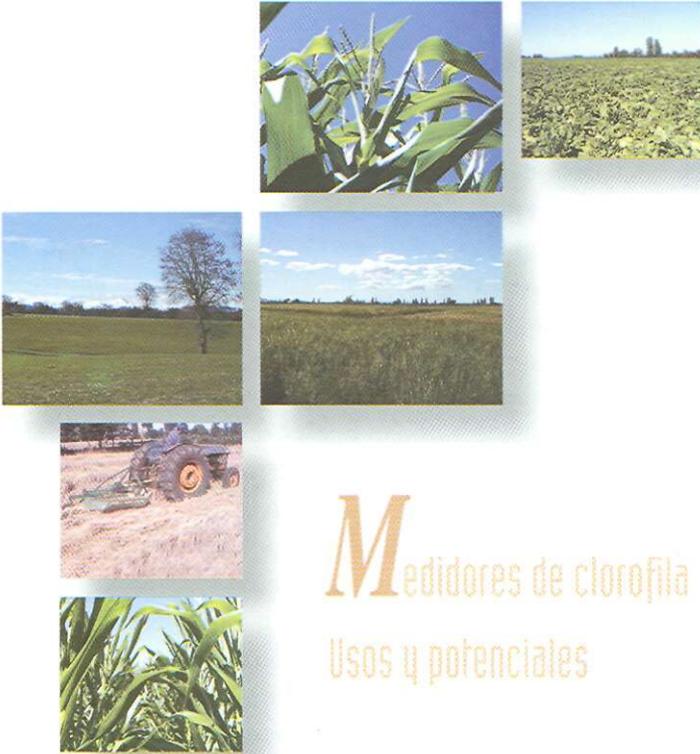
Böckman Oluf, Ola Kaarstad, Ole H. Lie e Ian Richards. 1993. «Agricultura y fertilizantes» HYDRO AGRI. Norsk Hydro a. s. Oslo. Noruega. 265 p

Crovetto, Carlos. 1992. «Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la Cero Labranza». Editorial Universitaria. Santiago. Chile. p 143 - 228.

Instituto Nacional de Estadísticas. INE. 1997. «VI Censo Nacional Agropecuario. Resultados preliminares. 1997». Octubre. Santiago. Chile. 443 p.

- Instituto Nacional de Normalización. INN. 1999.** «Norma Chilena NCh 2060-1999. «Suelos - Muestreo para análisis de fertilidad». Primera Edición. Santiago. Chile. 9 p.
- Kitchen, N.R., J.L. Havlin and D.G. Westfall. 1990.** «Soil sampling under no-till banded phosphorus». Soil Sci. Soc. Am. USA. J. 54:1661-1665.
- Ortega B., Rodrigo y Flores M., Luis 1999.** «Muestreo de suelos para recomendación de fertilizantes». Capítulo 5 *In* Agricultura de Precisión. Introducción al manejo sitio específico. INIA Quilamapu. Ministerio de Agricultura. Serie Quilamapu N° 129. Agosto. Chillán. Chile. p 115 a 134
- Pérez, Claudio y González, Jorge. 2001.** «Diagnóstico sobre el estado de degradación del recurso suelo en el país». INIA Quilamapu. Boletín INIA N° 15. Chillán. Chile. 196 p.
- Rodríguez, N.; Ruz, E. Valenzuela A. y Belmar, C. 2000.** «Efecto del sistema de laboreo en las pérdidas de suelo por erosión en la rotación trigo - avena y praderas en la precordillera andina de la región Centro Sur». Agricultura Técnica. Vol. 60 N° 3. Julio - Septiembre. Chillán. Chile. p 259-269
- Vargas R., S. Francke, K Tokugawa y M. Makita. 1998.** «Manual de control de erosión». Proyecto Cuencas CONAF - JICA «Control de erosión y forestación en cuencas hidrográficas de la zona semiárida». Santiago. Chile. 73 p.
- Waskom Reagan. 1994.** «Best management practices for phosphorus fertilization». Colorado State University Cooperative Extension. Bulletin N° XCM - 175 . Colorado EE.UU. 6 p.

CAPÍTULO 4



*M*edidores de clorofila Usos y potenciales

Katty Díaz B.

Rodrigo Ortega B.

Paola Luppichini B.

Medidores de Clorofila

«Usos y Potenciales»

Katty Díaz B.

Rodrigo Ortega B.

Paola Luppichini B.

La agricultura nacional se ve enfrentada a crecientes exigencias de calidad y a una fuerte competitividad por el ingreso de los productos agrícolas al mercado. Así, para asegurar elevados rendimientos se realiza un uso intensivo de insumos, principalmente fertilizantes y plaguicidas, representando los primeros hasta un 30 % de los costos de producción en algunos cultivos.

La creciente preocupación por el cuidado del medio ambiente plantea la necesidad de reducir el uso de agroquímicos, a objeto de minimizar los riesgos de contaminación ambiental, y particularmente de las aguas subterráneas, que genera la agricultura. Así por ejemplo, los nitratos provenientes de la fertilización nitrogenada y la descomposición de la materia orgánica tienen una movilidad muy alta en el suelo, y cuando los niveles de aplicación exceden las reales necesidades del cultivo, la fracción no utilizada por las plantas puede lixiviarse («lavarse» con el agua lluvia o de riego) hacia las estratas más profundas del perfil, contaminando las aguas subterráneas y pudiendo generar problemas de salud a quienes se abastecen con agua de pozo.

Medidores de Clorofila

Con el propósito de hacer más eficiente las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, y disminuir la contaminación y el riesgo para la salud humana que puede generar el uso excesivo de este tipo de insumo, se pueden utilizar herramientas de diagnóstico que permitan determinar la real necesidad de efectuar

aplicaciones de Nitrógeno (N) al cultivo, resolviendo así la interrogante de «cuando» aplicar. Una de estas herramientas es el Medidor de Clorofila, conocido comercialmente como Chlorophyll Meter Model SPAD 502, de Minolta Camera Co, Ltda.

Generalidades

El N forma parte estructural de la molécula de clorofila, que es el principal pigmento que le otorga la coloración verde a las plantas y el responsable de absorber la energía luminosa necesaria para iniciar el proceso de fotosíntesis. Mediante dicho proceso las plantas convierten el carbono, oxígeno e hidrógeno, que obtienen del aire y el agua, en azúcares simples que permiten su desarrollo, o dicho de otra forma « se alimentan». Así, la deficiencia de N se aprecia visualmente en los cultivos como un característico color amarillento (clorosis) por una disminución en la clorofila, afectando primero las hojas más viejas y en deficiencias severas a la planta completa.

El medidor de clorofila es entonces una herramienta que permite medir la cantidad de luz absorbida por este pigmento en las hojas y, por ende, entrega una aproximación cercana del contenido de N en la planta. La medición indica un valor que corresponde a un índice dado por el verdor de las hojas y la luz que absorben.

El equipo completo (Figura 1) está disponible en Chile y funciona con 2 pilas AA. Puede almacenar hasta 30 mediciones en su memoria, borrar alguna efectuada erróneamente y obtener el promedio de las mediciones realizadas.

Su uso ha sido validado en países como Estados Unidos desde el año 1994. En nuestro país el INIA Quilmapu lo ha evaluado gracias al Proyecto MPM, en ensayos de campo desde el año 1998 con resultados muy promisorios para cultivos como arroz, trigo, remolacha y maíz entre otros. También se han realizado buenas evaluaciones en espinaca, ajo y puerro a cargo de la investigadora María Inés González.



Figura 1. Equipo completo del Medidor de Clorofila. (Estuche, Instrumento, Filtro de calibración y Complemento para conexión digital).

El uso de esta herramienta tiene varias ventajas sobre otros métodos de evaluación de tejidos, como el análisis foliar. Así por ejemplo, las lecturas indicadas por el instrumento no se ven afectadas por un consumo excesivo de N, ya que las plantas producen sólo la cantidad de clorofila que necesitan. Tampoco es necesario enviar muestras a un laboratorio para realizar análisis, evitando gastar tiempo y dinero.

Además, el productor puede realizar las mediciones tan a menudo como le parezca y puede repetir el procedimiento si le merece dudas. Finalmente, al realizar las mediciones de manera periódica durante la estación de crecimiento del cultivo, se pueden determinar, a tiempo, potenciales deficiencias de N que pudieran generar pérdidas de rendimiento (Peterson, *et al.*, 1996).

USOS Y POTENCIALES

Uso práctico

En la práctica, el sistema se implementa realizando la siembra con una dosis baja de N (dosis partidor o «starter»), que varía entre 30 y 60 kg N/ha dependiendo de las exigencias normales de cada cultivo. En términos generales, se recomienda aplicar como starter 1/2 ó 1/3 del total de la fertilización recomendada. En algunas franjas del terreno la siembra se debe realizar con una elevada dosis de N (Figura 2), a objeto de tener la certeza que en ese sector no habrá deficiencia y poder comparar las lecturas del instrumento.

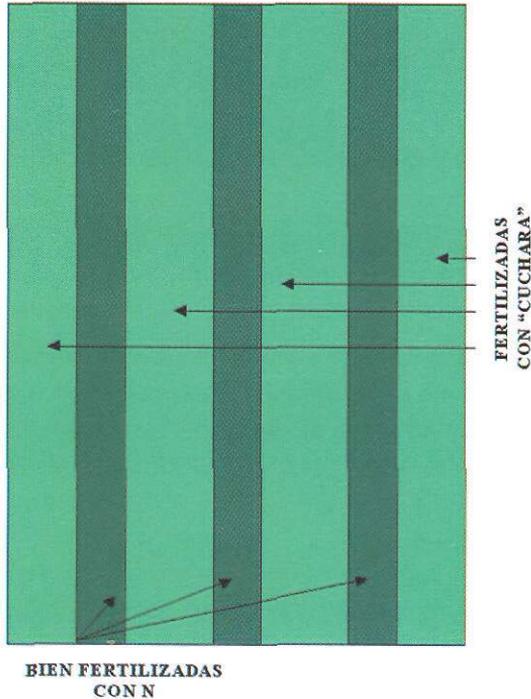


Figura 2. Establecimiento del cultivo para implementar el uso del medidor de clorofila en terreno.

Las aplicaciones posteriores se determinan realizando mediciones periódicas en un número representativo de plantas en el área de muestreo, tanto en el cultivo en general como en las franjas sobrefertilizadas. De acuerdo a la investigación, los sectores de muestreo deben ser al menos 3 para una hectárea representativa del cultivo y de una dimensión aproximada a 50 m² cada uno. Así, realizar las mediciones en unas 30 plantas distribuidas en cada sector de muestreo sería lo adecuado para decidir la fertilización del área. (Peterson *et al.*, 1996). Lo ideal, además, es realizar las mediciones en forma sistemática sobre una misma hilera de plantas, para evitar problemas causados por diferencias entre hileras, tales como la población de plantas, compactación o variaciones en la aplicación de la dosis starter.

Utilización del instrumento

- ▣ Las mediciones deben comenzar en estado de inicio de macolla en trigo, media macolla para el caso del arroz (Pettygrove, *et al.* 1994) y cuando exista una roseta de hojas formadas para el resto de los cultivos (Piekielek, 1995).
- ▣ Para iniciar las mediciones, el instrumento debe ser encendido y calibrado, presionando el lector sobre sí mismo (Figura 3) hasta que aparezca en la pantalla el estado inicial para realizar las mediciones, señalándose en el extremo superior izquierdo de ésta que no existe ningún dato almacenado en la memoria (N:0).



Figura 3. Calibración del instrumento para iniciar las mediciones.

Periódicamente es necesario calibrar el instrumento con el filtro que viene en el equipo (Figura 4), a objeto de comprobar que funcione de manera adecuada. Esto ocurre cuando la lectura del instrumento se encuentra dentro del rango señalado en el filtro (entre 71.7 y 77.7).



Figura 4. Calibración del instrumento con el filtro.

- Luego de la calibración se pueden comenzar las mediciones utilizando el instrumento en la hoja “recientemente madura o expandida” de cada planta, cuidando de escoger aquellas que no estén dañadas por enfermedades o plagas y que no presenten síntomas de estrés.
- Lo ideal es realizar dos mediciones en cada hoja, a un tercio y dos tercios de la distancia desde la base, introduciendo la lámina en el centro del lector y presionándola con él (Figura 5). Especial cuidado debe tenerse al momento de cada lectura para apreciar si se produce algún error en la medición, principalmente si aparece algún valor muy diferente al resto para borrarlo a tiempo antes de que quede almacenado en la memoria y altere los resultados.

El presionar el «nervio» central de la lámina de la hoja o realizar las mediciones a pleno sol o con mucha humedad (después de una lluvia, riego por aspersión o temprano en la mañana), pueden ser causantes de error en la lectura del instrumento. Debe tenerse presente que variaciones en la lectura de hasta un 15 % entre hojas de distintas plantas se consideran normales, por lo que valores que difieran sobre esa proporción deben ser borrados antes de que ingresen a la memoria del instrumento (Peterson, 1996).



Figura 5. Utilización del medidor de clorofila a un tercio de la distancia desde la base en remolacha.

Factores que inciden en la eficiencia del sistema

Es necesario señalar que son varios los factores que pueden alterar las lecturas del medidor de clorofila. Entre ellos podemos mencionar:

- a) las diferentes variedades o híbridos pueden afectar las mediciones del instrumento, debido a que naturalmente pueden tener hojas con distintas tonalidades del color verde. Por esto no se puede utilizar una variedad diferente como patrón.
- b) el estado de crecimiento de las plantas también puede alterar las lecturas, debido a la misma causa citada anteriormente.
- c) otros factores como enfermedades, deficiencias de nutrientes o algún otro tipo de estrés pueden afectar la capacidad de las plantas para producir clorofila y, por ende, afectar el verdor de la hoja.
- d) por esta misma causa, algunas condiciones del medio ambiente como temperatura, humedad y luminosidad pueden influir en las mediciones.

Es por esto que no se puede asumir fácilmente si un determinado valor en la medición indica un nivel de suficiencia de N. Así, las lecturas promedio deben calibrarse para cada sector, suelo, híbrido o medio ambiente, y la mejor manera de hacerlo es manteniendo varias franjas de referencia en el lugar como ya se ha indicado.

Decisión de fertilización

El instrumento entrega el promedio de las mediciones realizadas, lo que permite determinar si es necesario hacer la aplicación de N al cultivo. De acuerdo a las validaciones en el extranjero, para ello es necesario calcular un Índice de Suficiencia, expresado como:

$$IS = (LPC / LPCS) \times 100$$

donde **IS** : Índice de Suficiencia.

LPC : Lectura Promedio en el Cultivo a fertilizar.

LPCS : Lectura Promedio en el Cultivo Sobrefertilizado.

Así, si el IS es menor o igual a 95%, es decir que la diferencia entre las lecturas de ambos sectores exceden al 5%, es necesario fertilizar el cultivo con una dosis similar al starter. A modo de ejemplo, los Cuadros 1 y 2 presentan los resultados de algunas mediciones realizadas por el Proyecto MPM en el cultivo de arroz en Parral.

Cuadro 1. Uso del medidor de clorofila en ensayos de arroz. Noviembre 1999. Parral.

Tratamiento	Repetición I	Repetición II	Repetición III	Repetición IV	Promedio
Cultivo	33.4	38.4	36.6	34.3	35.7
Cultivo Sobre - Fertilizado	38.2	37.6	37.2	39.7	38.2
Índice de Suficiencia					93.5 %

Nota: En este caso es necesario fertilizar el cultivo puesto que el Índice de suficiencia es menor a 95%.

Cuadro 2. Uso del medidor de clorofila en ensayos de arroz. Diciembre 1999. Parral.

Tratamiento	Repetición I	Repetición II	Repetición III	Repetición IV	Promedio
Cultivo	30.7	33.3	39.6	40.7	36.1
Cultivo Sobre - Fertilizado	29.4	32.0	42.8	39.8	36.0
Índice de Suficiencia					100.2 %

Nota: En este caso no es necesario fertilizar el cultivo puesto que el Índice de suficiencia es mayor a 95%.

Ventajas potenciales del uso del instrumento

De esta manera, las mediciones periódicas (al menos semanalmente) durante la temporada de crecimiento del cultivo permiten determinar su real necesidad de N, logrando hacer más eficientes las aplicaciones con el consiguiente beneficio económico y medio ambiental. La investigación señala que, para el caso de los cereales, el monitoreo debe realizarse hasta unos 20 días después del «encañado» del cultivo, dado que aplicaciones de N con posterioridad a dicha etapa no aumentan la producción.

Como se aprecia en la Figura 6, se ha logrado rebajar considerablemente las dosis de N aplicadas a cada cultivo sin disminuir los rendimientos respecto al mismo cultivo fertilizado con dosis calculadas por otros métodos de recomendación más empíricos.

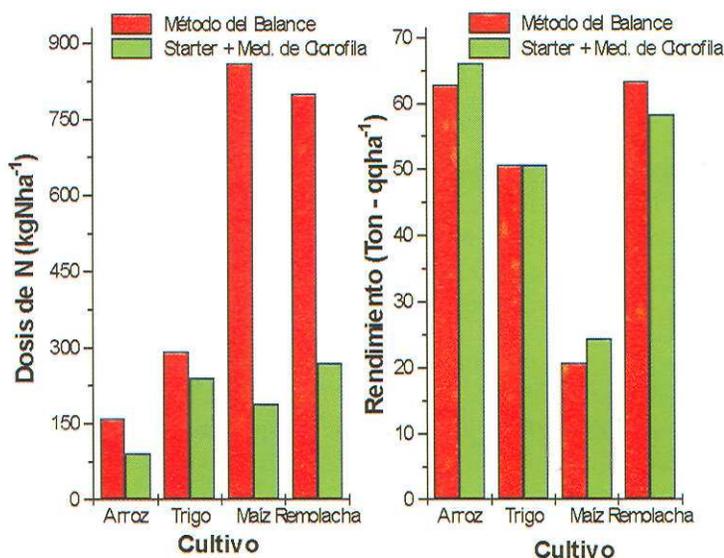


Figura 6. Dosis de N y rendimientos obtenidos por distintos cultivos de acuerdo a los métodos de recomendación usados para determinar las necesidades de N. Temporada 1999/2000. Parral - Los Angeles.

Algunas evaluaciones realizadas en el extranjero señalan que las lecturas del medidor de clorofila pueden responder mostrando una recuperación después de 2 a 3 días de realizada la fertilización mediante fertirrigación. Por tanto, su uso se constituye en un valioso aporte para reducir el riesgo de que las deficiencias de N disminuyan la producción.

Adicionalmente, el instrumento gracias a su posibilidad de conexión digital (Start Logger) puede ser conectado a otros equipos con mayores potenciales, pudiendo unirse a computadores manuales (Notebook) y a equipos de posicionamiento global (GPS) para evaluar la variabilidad espacial del contenido de clorofila en el sector de muestreo y realizar aplicaciones de N en forma "sitio-específica".

De esta forma el uso del medidor de clorofila se ha consolidado como una valiosa herramienta de diagnóstico que ayudaría a que los productores agrícolas desarrollen su actividad de una manera más eficiente y ambientalmente amigable, toda vez que complementa, pero no reemplaza a otros aspectos del manejo del N.

Resumen de Pasos a Seguir

1. Establecer el cultivo con una fertilización inicial de 30 - 60 kg de N/ha.
2. Sembrar algunas franjas de terreno con altas dosis de N como referencia.
3. Comenzar las mediciones con el instrumento desde inicio o media macolla en cereales y desde que exista una roseta de hojas formadas en otros cultivos.
4. Realizar las mediciones en al menos 3 sectores de muestreo en una hectárea representativa del cultivo.
5. Calibrar el instrumento y tomar las lecturas en unas 30 hojas de plantas ubicadas tanto en el sector a fertilizar como en la zona sobrefertilizada.

6. Seleccionar hojas que no presenten daños de plagas, síntomas de enfermedades o estrés y realizar dos mediciones en cada una, a un tercio y dos tercios de la distancia desde la base de la hoja.
7. Evitar realizar las mediciones en horas de elevada temperatura, muy temprano en la mañana o con mucha humedad, debido a que ello distorsiona la lectura del instrumento.
8. Utilizar los promedios de las lecturas obtenidas en ambos sectores para determinar el Índice de Suficiencia y decidir si es o no necesaria la fertilización con una dosis similar a la inicial.
9. Realizar un monitoreo periódico del cultivo (semanalmente) para evitar que las deficiencias de N afecten la producción.
10. Calibrar el instrumento con el filtro al menos una vez al mes.

BIBLIOGRAFÍA

- Peterson, Todd, Tracy Blackmer, Dennis Francis, James Schepers.** 1996. «Using a chlorophyll meter to improve N Management» Soil Resource Management. Electronic version May 1996. mail to pubsau.nl.edu. University of Nebraska - Lincon and the United States Department of Agriculture. Estados Unidos.
- Pettygrove, G.S., C.M. Wick, J.F. Williams, S.C. Scardaci, D.M Brandon and J.E. Hill,** 1994. «Monitoring rice nitrogen status with a chlorophyll meter». Agronomy Fact Sheet Series 1994-3. Department of Agronomy and Range Science. University of California, Davis. Access in <http://agronomy.ucdavis.edu/uccerice/AFS/agfs0394.htm> 18/08/1999.
- Piekielek, William, Richard Fox, John Toth and Kirsten Macneal,** 1995. «Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency». Department of Agronomy The Pennsylvania State University. Agronomy Journal 87 : 403 - 408.

CAPÍTULO 5



Mejores prácticas para el manejo de rastrojos en Cero Labranza

*Jorge Riquelme S.
Katty Díaz B.
Rodrigo Ortega B.*

Mejores Prácticas para el Manejo de Rastrojos en Cero Labranza

Jorge Riquelme S.

Katty Díaz B.

Rodrigo Ortega B.

La quema de rastrojos ha sido, y continúa siendo, una práctica habitual y muy extendida en Chile, aun cuando produce numerosos efectos indeseables desde el punto de vista ambiental. Así por ejemplo, sobre el suelo genera un incremento de la erosión y pérdida de la fertilidad en el largo plazo. Produce contaminación y emisión de gases hacia la atmósfera incrementando el efecto invernadero. Por último, afecta la vegetación y la fauna silvestre al posibilitar incendios de zonas naturales adyacentes a los potreros quemados y con ello la pérdida de fauna benéfica asociada a los cultivos.

Algunos de las razones que se esgrimen para la realización de las quemas son comprensibles: provoca una rápida eliminación, con un bajo costo, de un gran volumen de residuos y facilita la posterior labranza o siembra directa. Sin embargo, otras ventajas que se aducen, tales como el mejoramiento de la fertilidad mineral, disminución de plagas, malezas y enfermedades, son discutibles, puesto que se trata de efectos benéficos parciales a muy corto plazo, y que revierten su beneficio al hacer un análisis global a mediano y largo plazo.

La quema de los residuos de cosecha implica la destrucción de una fuente importante de materia orgánica. La destrucción de este aporte supone la progresiva degradación de la estructura del suelo, lo que favorece la erosión. La quema de rastrojos deja el suelo totalmente desnudo durante un tiempo, que aunque no muy largo, coincide con una época en que son frecuentes las lluvias torrenciales que generan importantes pérdidas de suelo por erosión.

Para realizar un aporte al conocimiento existente sobre conservación de suelos y manejo de residuos, el proyecto desarrolló una línea de investigación en el tema de manejo de rastrojos, a objeto de identificar prácticas que sean de fácil implementación y que contribuyan a erradicar la tradicional quema de rastrojos.

Beneficios del manejo de residuos

Los residuos de cosecha sobre la superficie del suelo reducen la erosión. Investigaciones realizadas en Nebraska y otros estados del Medio-Oeste norteamericano (NebGuide, 1981), indican que con cantidades de residuos tan pequeñas como un 20% de cobertura se puede reducir a la mitad la erosión provocada por el impacto de la gota de lluvia y escurrimiento del agua, comparando con un suelo libre de residuos. En Brasil, la investigación conducida por Lopes *et al* (1987) concluyó que un nivel de cobertura de 40% es suficiente para reducir la erosión en forma significativa. Se determinó, además, que a un mismo nivel de cobertura los rastrojos de trigos ofrecían una mejor protección del suelo que los rastrojos de maíz.

Algunos investigadores, consideran imprescindible el manejo de los rastrojos durante la cosecha a través de regulación de la altura de corte de la automotriz y la utilización de algunos aditamentos, tanto en la salida de los sacapajas como de los harrereros. Operaciones adicionales realizadas entre cosecha y siembra se consideran costosas e implican pérdida de tiempo (Agdex, 1996).

Así por ejemplo, para esparcir la paja a la salida del sacapajas durante la cosecha se puede utilizar un picador de mayales (Foto 1), el cual pica y esparce la paja. Su funcionamiento es similar al de una segadora rotativa "rana" (Foto 2), e incrementa en un 5 a un 8% la potencia total requerida por la automotriz. También se puede utilizar un esparcidor de molinete (Foto 3), el que a diferencia del anterior sólo distribuye la paja sin picarla. En este caso la potencia requerida viene a ser sólo del 1 al 1,5% del total (Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989).



Foto 1. Picador de mayales, que pica y esparce los residuos de cosecha que salen del sacapajas.



Foto 2. Segadora rotativa "rana".



Foto 3. Esparcidor de residuos tipo molinete, que sólo esparce los residuos que provienen de las zarandas de limpieza y los sacapajas de la cosechadora automotriz.

Es importante mencionar que el capotillo que sale de las zarandas de limpieza debe quedar bien distribuido para evitar efectos alelopáticos. Según Crovetto (1992) aunque los fabricantes no suministran estos equipos, con un bajo costo es posible accionar dos sopladores que entreguen aire a presión a través de toberas dispuestas en forma de cruz a la salida de los harneros.

La cantidad de residuos que pueden quedar sobre el suelo después de la cosecha depende del tipo de cultivo y de su rendimiento en grano. Así, para el cultivo de trigo se espera una producción de residuos de 1,6 ton por cada tonelada de grano producida, en cambio para la cebada las toneladas de residuos son equivalente a las toneladas de grano producidas (Agdex, 1996). En Chile, Mellado *et al* (1998) indican producciones de 90 ton/ha de paja para un trigo que produzca 60 qqm/ha.

Experiencias generadas por el proyecto en manejo de rastrojos

Se presentan a continuación los resultados de las experiencias de manejo de rastrojos realizados previo a la siembra del cultivo de avena, y en el establecimiento de una pradera de alfalfa.

1. ALFALFA

El potrero manejado en este caso presentaba un rastrojo de trigo, en el que sólo había sido enfardado el cordón proveniente de la cosecha mecanizada.

Se procedió a cortar y picar el rastrojo con una segadora rotativa (Foto 2), aplicando cuatro tipos de manejo, que se detallan a continuación, en función de la cantidad de rastrojo que se pretendía dejar sobre el suelo:

T1: 0% de rastrojo. Se trabajó con la máquina lo más bajo posible, tratando de cortar todo el rastrojo que existía sobre el suelo.

T2: 50% de rastrojo. Se trabajó con la segadora de modo de cortar a media altura el rastrojo.

T3: 75% de rastrojo. Se trabajó con la máquina de modo de cortar el 25% de la altura del rastrojo.

T4: 100% de residuos. En este caso no se cortó el rastrojo y quedó tal como estaba después de enfardar el cordón de paja que dejó la cosechadora.

Posterior al trabajo de la segadora rotativa, tanto en los tratamientos 1, 2 y 3, se utilizó un rastrillo hilerador de soles, (Foto 4) para formar un cordón en el potrero con la paja picada del manejo anterior.

El Cuadro 1 muestra los niveles de rastrojos que quedaron sobre el suelo después del manejo respectivo.



Foto 4 Rastrillo hilerador de estrellas.

Cuadro 1. Niveles reales de rastrojos sobre el suelo. Quiriquina, 1999.

Tratamiento	Nivel de residuo	
	(ton MS / ha)	(%)
0% de rastrojo	0,985	19,4
50% de rastrojo	2,638	52
75% de rastrojo	3,947	77,8
100% de rastrojo	5,073	100

La Alfalfa se estableció el 22 de septiembre, con una sembradora de cero labranza con abresurco tipo cincel, y utilizando la variedad Pioneer 54Q53, en dosis de 22 kg/ha de semilla. Previamente se realizó un barbecho químico, aplicando Glifosato en dosis de 3 L/ha, en un volumen de 200 L de agua.

La Figura 1 muestra los resultados de la producción acumulada (ton/ha) del primer año de la pradera de alfalfa. Se puede apreciar que no se encontraron respuestas al manejo de rastrojo, incluso el tratamiento con menor cantidad de residuo presentó una producción significativamente menor a la del tratamiento donde se sembró con todo el rastrojo en pie.

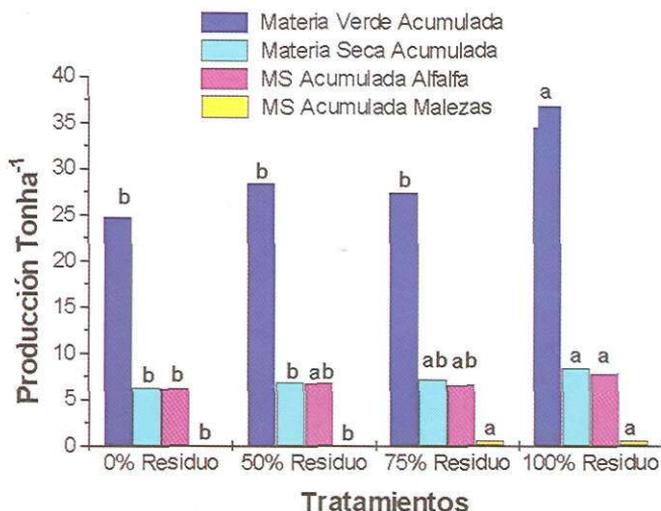


Figura 1. Producción acumulada (ton/ha) de la pradera de alfalfa, Quiriquina 2000.

Se observó durante la siembra que sólo el rastrojo que estaba suelto sobre el suelo provocaba problemas en la sembradora, enredándose en los abresurcos de la máquina. El rastrojo en pie de los tratamientos no generó ese problema. De esta manera, se requiere de una adecuada selección de los abresurcos de la máquina, los que deben contar con discos cortadores de rastrojos. Así, se podrían establecer los cultivos sobre terrenos con elevados niveles de rastrojos.

2. Avena

La avena se sembró sobre un rastrojo de trigo, en el que se aplicaron los siguientes tratamientos:

T1: 0% de residuos. Se cortó el rastrojo de trigo con una segadora rotativa, lo más bajo posible.

T2: 30% de residuos. Se ajustó la máquina para cortar 2/3 de la altura del rastrojo.

T3: 60% de residuos. Se modificó el enganche de la segadora para cortar la mitad de la altura del rastrojo.

T4: 100% del rastrojo. En este caso no se cortó el rastrojo.

Al igual que en el caso de la Alfalfa, con posterioridad al trabajo de la segadora rotativa se utilizó un rastrillo hilerador de soles en los tratamientos 1, 2 y 3, para formar un cordón con la paja picada dentro del potrero.

La avena se estableció el 3 de julio, con una sembradora de cero labranza Semeato, modelo TD 220 con sistema abresurco de triple disco. Se utilizó la variedad Nehuen INIA y la dosis de semilla fue de 140 kg/ha. La siembra se realizó con una mezcla de fertilizante de 35% de fósforo y 14% de Potasio.

La dosis de nitrógeno recomendada correspondió a 150 kg N/ha aplicada en dos parcialidades: 1/3 a la emergencia y 2/3 a la macolla. Previamente se realizó un barbecho químico, aplicando Glifosato en dosis de 3 L/ha, en un volumen de 200 L de agua.

En el Cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos para los distintos tratamientos de rastrojos.

Cuadro 2. Efecto del nivel de residuos sobre la altura y rendimiento de la Avena. Quiriquina, 2000.

Tratamiento de residuos	Altura (cm)	Rendimiento (qq/ha)
T1	95,2 b	38,2 b
T2	99,7 ab	48,2 ab
T3	102,5 a	50,7 a
T4	104,6 a	46,8 ab

Con respecto a los rendimientos, se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre el tratamiento en que se trató de eliminar todo el residuo y en el que sólo se retiró el 40% del rastrojo, mejorando el rendimiento del cultivo en este último caso. Entonces, en el caso de siembra de avena después de trigo sería conveniente realizar un manejo de residuo disminuyendo en un 40% el rastrojo sobre el suelo. Para ello basta con ajustar la altura de corte de la segadora rotativa u otro equipo triturador de rastrojo (Foto 5), al 50% de la altura del rastrojo que queda después de la cosecha.



Foto 5. Máquina trituradora de rastrojos accionada por el TDF del Tractor.

Generalmente el ajuste de la barra de corte de las cosechadoras se hace cortando el tercio superior de la caña. Sobre la base de los resultados obtenidos sería recomendable cortar $2/3$ de la altura superior de la caña, con lo cual se ahorrarían labores posteriores de manejo de rastrojo. El uso de variedades enanas de trigo también favorece el manejo del residuo.

Otras experiencias vinculadas al tema

Gracias al proyecto se tuvo la oportunidad de visitar y evaluar la experiencia de algunos agricultores en el manejo de rastrojos, así se destaca el trabajo realizado por el agricultor Sergio Pérez de la Comuna de Pemuco, VIII Región:

Picado de rastrojo de avena o raps para el establecimiento de trigo

El agricultor utiliza una picadora de forraje (Foto 6) a la que modificó el tubo deflector a la salida del repicador, para dividir el flujo de salida en dos direcciones y aprovechando la fuerza del viento distribuir los residuos en una mayor superficie. El ancho de trabajo de la máquina es de 1,8 m y el ancho de distribución de los rastrojos es de 2,5 a 3 m. La capacidad de trabajo del equipo es de 0.75 ha /h.



Foto 6. Picadora de forraje, adaptada para el manejo de los rastrojos.

Acordonamiento de paja de trigo para el establecimiento de raps

En este caso el agricultor utiliza un rastrillo tipo estrella de cuatro unidades, requiriendo 10 pasadas de rastrillo para formar cordones de paja espaciados a 14 m. Esto permite 6 pasadas de sembradora entre los cordones y dos de pulverizador (Foto 7) y fertilizadora. La capacidad de trabajo de dicho rastrillo es de 1 ha /h. Los cordones de aproximadamente 1 m de ancho ocupan sólo el 7% del potrero, superficie que queda en descanso mejorando su fertilidad a través de la descomposición de los rastrojos, lo que favorece el desarrollo de lombrices.



Foto 7. Aplicación de herbicida, ajustada al ancho de separación de los cordones de paja.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación realizada, se desprende que no en todos los casos se requiere de un manejo adicional de los rastrojos para su aprovechamiento sin quemarlos. Así, en el caso del establecimiento de alfalfa basta con enfardar el cordón que deja en el potrero la cosechadora automotriz.

Para realizar una siembra de avena se debe retirar el 40% del rastrojo que queda en pie, modificando la altura de corte de la cosechadora automotriz para cortar 2/3 de la altura del cultivo. Adecuaciones de la ubicación del molinete de la automotriz son también necesarias en este proceso. La utilización posterior a la cosecha de una segadora rotativa o una trituradora de rastrojo para cortar el 50% de la altura del residuo, proporciona el mismo resultado.

Otra actividad que reemplaza el enfardado de las pajas, es la confección de cordones en el mismo potrero, lo que sirven a su vez como marcadores apropiados para aplicación efectiva de plaguicidas y fertilizantes.

Si bien el manejo de rastrojos implica algunas labores y costos adicionales, también proporciona importantes beneficios. Así, los agricultores que realizan dichos manejos en sus predios, mejoran el contenido de materia orgánica de sus suelos e impiden la pérdida de suelo y sus nutrientes por la erosión.

Con estas prácticas se obtienen, además, importantes beneficios para la población rural y urbana, en cuanto al impacto que ésta tiene en el Medio Ambiente: disminuyendo la contaminación de la atmósfera, impidiendo la quema de los bosques, evitando deteriorar la calidad de las aguas debido a la menor contaminación de éstas por la erosión, y asegurando la degradación adecuada de los pesticidas por el efecto tampón de la materia orgánica.

Las prácticas de manejo de residuos validadas y recomendadas por el proyecto, ciertamente implican un mayor costo de producción para los agricultores, pero al ser aplicadas generan efectos positivos tanto para ellos mismos como para la población del país, por lo tanto merecen ser integradas dentro del programa de incentivos para el mejoramiento de los suelos degradados.

BIBLIOGRAFÍA

AGDEX. 1996. Equipment Issues in Crop Residue Managment for Direct Seeding. 519-4

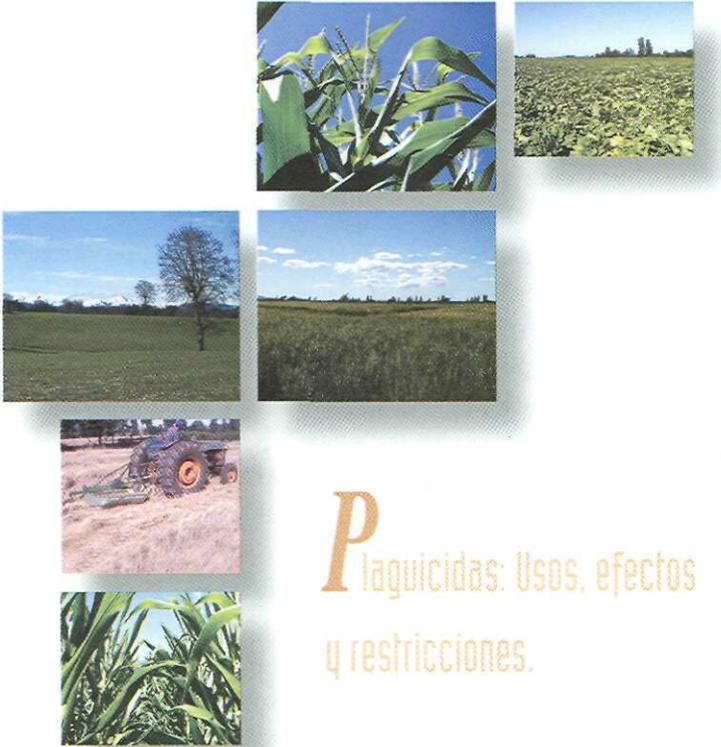
CROVETTO, C. 1992 Rastrojos sobre el suelo una introducción a la cero labranza. Editorial Universitaria, Santiago, 301 p.

LOPES, P.R.C. ; COGO, N. G. ; LEVIEN, R. 1987. Eficacia. Relativa do tipo e quantida de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na reducao da erosao hidrica. Revista Brasileira de Ciencia do Solo. 11 :71 - 75.

MELLADO, M., CHAVARRÍA, J.; VELASCO, R. 1998. Análisis de alternativas de preparación de suelo para sembrar trigo en la zona centro sur de Chile. INIA Quilamapu. Boletín ISBN: 956-7436-04-5. 142 p.

NEBGUIDE. 1981. Residue Management for Soil Erosion Control. G81-544.

ORTIZ-CAÑAVATE, J. y HERNANZ, J. L. 1989. Técnica de la Mecanización Agraria. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 641 p.



*P*laguicidas: Usos, efectos y restricciones.

*Katty Díaz B.
Gemma Navarrete O.
Rodrigo Ortega B.
Jorge Riquelme S.*

Plaguicidas: Usos, Efectos y Restricciones.

Katty Díaz B.

Gemma Navarrete O.

Rodrigo Ortega B.

Jorge Riquelme S.

El presente capítulo muestra un extracto de la legislación vigente en materia de plaguicidas, así como una recopilación de las Mejores Prácticas de Manejo para su buen uso y manipulación.

La información ha sido actualizada y proviene de una publicación elaborada por el proyecto denominada "Plaguicidas: Usos, efectos y restricciones" impresa en diciembre del año 2000. Dicha publicación, perteneciente a las actividades de difusión del proyecto, tuvo por objeto sensibilizar a los productores y al sector público vinculado a la actividad agrícola con prácticas que, en forma complementaria a la normativa vigente, ayuden a optimizar los actuales esquemas de manejo haciéndolos más eficientes y ambientalmente amigables.

Plaguicidas: usos y restricciones

El plaguicida es definido como un "*compuesto químico, orgánico e inorgánico, o sustancia natural que se utiliza para combatir malezas, enfermedades o plagas potencialmente capaces de causar perjuicios en organismos u objetos*".¹ Más específicamente, un plaguicida de uso agrícola "*corresponde a cada formulación comercial que el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) determine, mediante resolución exenta, que se emplee con fines agrícolas tales como: insecticidas, acaricidas, nematocidas, molusquicidas, rodenticidas, avicidas, fungicidas, bactericidas, herbicidas, defoliantes, desecantes, fitoreguladores, acondicionantes, atrayentes, feromonas, repelentes y otros*".²

¹ DL 3.557/1980, Título 1° Artículo 3° Letra K.

² Resolución 1.178 N°1. Registro de Plaguicidas de Uso Agrícola del 14 de agosto de 1984.

En la actualidad dos cuerpos legales complementarios contienen la normativa referida a plaguicidas de uso agrícola:

1. Decreto Ley N° 3.557 del Ministerio de Agricultura del 29 de diciembre de 1980, llamado “de Protección Agrícola” que en los Artículos 32° al 36° contiene la información básica sobre esta materia.

2. El conjunto de Resoluciones referidas al buen manejo de los plaguicidas de uso agrícola que emanan de las facultades reguladoras, restrictivas y prohibitivas que le confiere al SAG el Artículo 35° de dicho decreto.

Así por ejemplo, la Resolución N° 3670 de 1999 establece las normas para la evaluación y autorización de plaguicidas.

El Ministerio de Agricultura, a través del SAG, reglamenta y controla aspectos como la fabricación, importación, envasado, etiquetado, distribución y aplicación de plaguicidas, siendo su objetivo propender al empleo correcto y eficiente de los plaguicidas de uso agrícola en la protección de los cultivos, la fauna y el medio ambiente, con riesgo mínimo para la salud humana. Sin embargo, son muchos los factores que inciden en un uso descontrolado de estos productos. Entre ellos se cuentan:

- ⊗ escasa fiscalización de los organismos reguladores por falta de recursos y de personal
- ⊗ mayor número de productos disponibles en el mercado que los registrados en el SAG
- ⊗ creciente aumento de importaciones de plaguicidas en los últimos diez años
- ⊗ venta de plaguicidas libremente sin las recomendaciones de especialistas
- ⊗ desconocimiento de los ingredientes activos prohibidos (Cuadro 1), lo que posibilita el uso de aquellos que permanecen en stock, o de los que ya han caducado.

Cuadro 1. Ingredientes activos de plaguicidas prohibidos en Chile.

Ingrediente Activo	Resolución SAG N°	Año
Monofluoracetato de sodio	1.720	1982
DDT	639	1984
Dibromuro de Etileno	107	1985
Dieldrín	2.142	1987
Endrín	2.142	1987
Heptacloro	2.142	1987
Clordán	2.142	1987
Aldrín	2.003	1988
Daminozide	1.573	1989
Sales de Mercurio	996	1993
Mevinfos	3.195	1993
2,4,5 – T	2.179	1998
Clordimeform	2.179	1998
Toxafeno o Canfeclor	2.179	1998
Lindano	2.180	1998
Paratión etilo y metilo	312 *	1999

Fuente: SAG, 1998.

- * A partir del 31 de marzo del año 2000, será prohibida la distribución, venta y uso de plaguicidas que contengan este ingrediente activo según Resolución Exenta N° 312 del SAG publicada en el Diario Oficial con fecha 6 de febrero de 1999.

Nota: La Resolución SAG N° 2.226 del 27 de julio de 1999 suspendió la importación, fabricación, venta, distribución y aplicación del PENTACLOROFENOL, estipulando como plazo hasta el 12 de diciembre de 1999 para utilizar las existencias en stock.

Todos estos factores hacen indispensable asumir el concepto, cuyo contenido ha logrado consenso a nivel de especialistas y organismos vinculados del uso racional de los plaguicidas que ha sido definido como: “el uso lo más inocuo posible para los seres vivos, incluyendo seres humanos y comunidades bióticas silvestres y domésticas, considerando necesariamente aspectos de eficiencia, seguridad e inocuidad ambiental”.³

³ Seminario Internacional sobre Racionalización del Uso de Pesticidas en el Cono Sur. Documento PROCISUR. Diálogo L. Uruguay 1998 pg. 52.

Plaguicidas beneficios y riesgos

Asociado al uso de los plaguicidas se describen diversos beneficios: control de enfermedades y plagas, aumento de la productividad agrícola y control de plagas urbanas entre otros. Sin embargo, es necesario precisar que unido a dichos beneficios también se describen riesgos para la salud. Entre ellos se cuentan la toxicidad aguda (aquella que causa efectos negativos en un tiempo corto de exposición) y la toxicidad crónica (aquella que es derivada de largos períodos de exposición y generalmente a bajos niveles del tóxico) (Rozas, 1995).

En términos generales, el efecto de los plaguicidas en la salud humana se manifiesta en el sistema neurológico, respiratorio, gastrointestinal, cardiovascular, ocular, dermatológico, hepático y genitourinario, en concordancia a la toxicidad del producto.

Es necesario, por tanto, conocer la clasificación de plaguicidas según su grado de toxicidad. En la actualidad, la Resolución Exenta 2196 de 2000 establece la clasificación toxicológica de plaguicidas de uso agrícola, dejando expresamente derogada la Resolución 1177 de 1984. Dicha clasificación se presenta en el Cuadro 2.

La Resolución Exenta 2195 de 2000 establece, por su parte, los requisitos que deben cumplir las etiquetas de los envases de plaguicidas de uso agrícola, expresando claramente que dichas etiquetas deben elaborarse en un material que asegure su durabilidad y legibilidad en las condiciones en que normalmente se encontrare durante el transporte, almacenaje y uso. En relación a su contenido, ésta deberá considerar áreas de identificación del producto, recomendaciones de uso, precauciones y advertencias, y eventualmente, un folleto o etiqueta complementaria.

Finalmente, la etiqueta debe ser de color blanco con letras negras y en ella no puede aparecer otro color que no sea el del logotipo de la empresa, y el de la franja correspondiente a la categoría toxicológica de la Organización Mundial de la Salud. Deberá incluir, así mismo, los pictogramas correspondientes.

Cuadro 2. Clasificación de plaguicidas según su grado de toxicidad.

Categoría	DL 50 aguda en ratas (mg/kg de peso vivo)			
	ORAL		DERMAL	
	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido
Ia SUMAMENTE PELIGROSO	5 ó menos	20 ó menos	10 ó menos	40 ó menos
Ib MUY PELIGROSO	más de 5 hasta 50	más de 20 hasta 200	más de 10 hasta 100	más de 40 hasta 400
II MODERADAMENTE PELIGROSO	más de 50 hasta 500	más de 200 hasta 2000	más de 100 hasta 1000	más de 400 hasta 4000
III POCO PELIGROSO	más de 500 hasta 2000	más de 2000 hasta 3000	más de 1000	más de 4000
IV PRODUCTOS QUE NORMALMENTE NO OFRECEN PELIGRO	más de 2000	más de 3000		

Nota: Los términos sólido y líquido se refieren al estado físico del producto o formulación que está siendo clasificada.

Fuente: SAG, Resolución 2196 del 31 de agosto de 2000 «Establece Clasificación Toxicológica de los Plaguicidas de uso agrícola». Santiago.

La *Dosis Letal Media (DL50)* es la dosis necesaria para matar el 50% de una población de prueba, expresado en mg/kg de peso vivo del animal (normalmente ratas de laboratorio).

Plaguicidas más usados

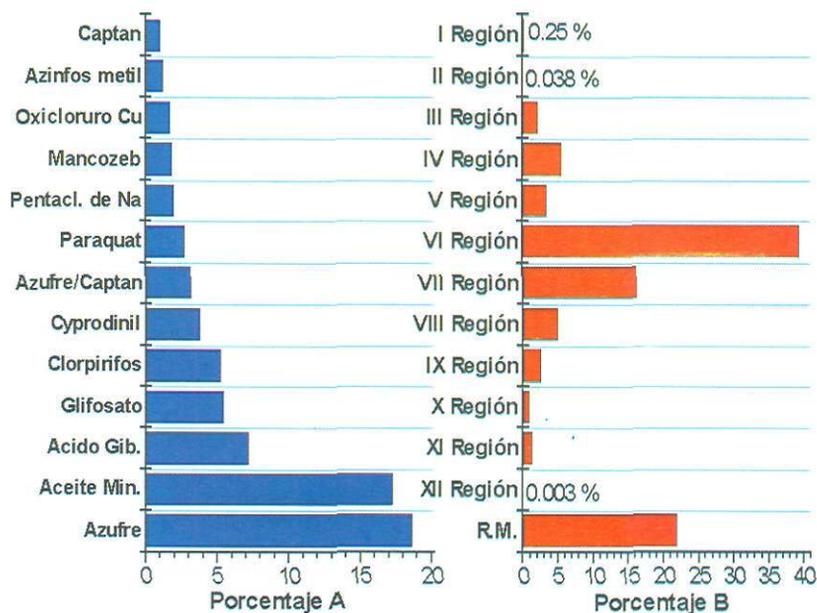
La Resolución SAG N° 2.410 del 14 de agosto de 1997, solicita que cada punto de venta de plaguicidas a nivel nacional entregue de manera semestral al SAG la información de las ventas directas a usuarios, así como de las importaciones directas de plaguicidas realizadas por empresas privadas. Con dicha información se elabora una declaración de ventas de plaguicidas agrícolas. (Correa, 1999).

La Figura 1 presenta la participación porcentual a nivel nacional de los ingredientes activos más vendidos durante el último período de información evaluado, así como la participación porcentual regional en las ventas de plaguicidas.

Figura 1.

A. Participación porcentual de los plaguicidas más vendidos en Chile durante el semestre julio a diciembre de 1998.

B. Participación porcentual regional en las ventas de plaguicidas en Chile durante el semestre julio a diciembre de 1998.



Fuente: Correa, 1999.

Los volúmenes de venta de plaguicidas indican, en orden decreciente, que en las regiones VI, Metropolitana, VII, IV y VIII la población asociada al trabajo agrícola está más expuesta a dichos riesgos, y consecuentemente dichas zonas estarían sometidas a una mayor presión ambiental por el uso de plaguicidas.

Dentro de las actividades de la etapa de diagnóstico del proyecto se realizó una encuesta para conocer los manejos de los productores en las áreas

agroecológicas en que éste se desarrolló. El Cuadro 3 presenta los productos frecuentemente usados por los agricultores del valle regado. La información corresponde a la sección manejo de pesticidas de dicha encuesta, la que fue aplicada durante el primer semestre del año 1999, sobre la base de un universo de 15 productores.

Cuadro 3. Pesticidas más usados por los productores encuestados en el Valle Regado.

ETAPA DE DIAGNÓSTICO DEL PROYECTO MPM.

Ingrediente activo	Uso del producto	% de uso
Trifluralina	Herbicida	91
Paraquat	Herbicida	91
2,4-D	Herbicida	91
Molinate	Herbicida	89
Mancozeb	Fungicida	55
Tebuconazole	Fungicida	55
Benomil	Fungicida	45
Captan	Fungicida	27
Thiuram	Fungicida	18
Fonofos	Insecticida	45
Dimetoato	Insecticida	27
Azinfos metil	Insecticida	18
Malathion	Insecticida	18

Fuente: Encuesta Proyecto MPM. 1999.

Aun cuando se pudo verificar la utilización de algunos productos a los cuales se asocia cierto riesgo para la salud humana (Paraquat, Trifluralina, 2,4-D, etc.), gracias a los aceptables niveles de seguridad para su uso y manipulación, los productores encuestados reconocieron escasos síntomas de intoxicación, tales como dolor de cabeza, náuseas y nerviosismo, vinculados específicamente a las siguientes razones: incumplimiento de las indicaciones del envase, desconocimiento de la manipulación del agroquímico, exceso de exposición al producto y no respetar el período de reentrada a un sector recién tratado. Reconocieron, así mismo, que las personas afectadas por dichos síntomas fueron trabajadores agrícolas mientras preparaban o aplicaban el producto, u otras personas cercanas al lugar de aplicación.

Efectos ambientales del uso de plaguicidas

1.- Conceptos generales

En general, los problemas que afectan el medio ambiente se pueden agrupar en tres categorías: degradación de los recursos naturales, deterioro del medio ambiente construido, y fenómenos de contaminación (Espinoza, *et al.*, 1994).

Existen tres criterios de clasificación de la contaminación: según la actividad humana que la genera (contaminación minera, industrial, urbana, agrícola o doméstica), según el residuo vertido (contaminación con metales pesados, plaguicidas, radiocatividad, etc.), y según el recurso receptor primario involucrado. Sin embargo, es importante destacar que la sola presencia de residuos en ambientes y/o recursos naturales no significa que éstos estén contaminados. Para ello es necesario que dichos residuos causen daños en los seres vivos que habitan o utilizan la unidad ambiental afectada.

Ahora bien, lo que le sucede a un plaguicida en el medio ambiente, según ODEPA – SAG – RPC (1999) puede resumirse en los siguientes procesos:

- ⌘ **Absorción:** movimiento de los plaguicidas hacia adentro de las plantas, organismos y microorganismos.
- ⌘ **Adsorción:** unión de los plaguicidas a las partículas del suelo. Los plaguicidas son fuertemente adsorbidos en suelos con alto contenido de arcilla y materia orgánica.
- ⌘ **Degradación microbiana:** resultado de la acción de microorganismos, tales como hongos y bacterias del suelo, que usan a los plaguicidas como fuente de alimento.
- ⌘ **Degradación química:** destrucción de los plaguicidas por reacciones químicas que ocurren en el suelo.

- ⌘ **Deriva:** movimiento en el aire del plaguicida lejos de la zona de tratamiento durante la aplicación. Cuando es excesiva se reduce la cantidad de plaguicida aplicada en el área tratada, lo que puede minimizar la efectividad del tratamiento, poniendo en riesgo cultivos, corrientes de agua, personas y animales adyacentes.
- ⌘ **Escurrimiento:** desplazamiento de plaguicidas en contacto con el agua sobre superficies inclinadas. Puede ser reducido utilizando técnicas conservacionistas, como dejar vegetación en los bordes del área tratada.
- ⌘ **Fotodegradación:** degradación de los plaguicidas por la acción de la luz solar.
- ⌘ **Lixiviación:** movimiento de los plaguicidas en el agua a través del suelo. Puede generar contaminación en profundidad del suelo y de las aguas subterráneas.
- ⌘ **Persistencia:** es la mantención de residuos activos de algunos plaguicidas en el suelo, siendo absorbidos por los cultivos subsiguientes, dañándolos o dejando residuos en ellos.
- ⌘ **Volatilización:** proceso mediante el cual los sólidos o líquidos se convierten en vapores. Dependiendo del plaguicida, se incrementa con el calor, la luz, el clima seco, el viento y con pulverizaciones de gota fina.

2.- Algunas evaluaciones del estado de contaminación por plaguicidas en Chile

En Chile el tema de la residualidad ambiental ha sido muy poco estudiado, en consecuencia, se desconoce los umbrales críticos para la gran mayoría de los residuos contaminantes. No obstante, existe conciencia que el mayor riesgo ambiental por plaguicidas se relaciona con los organoclorados (debido a los factores de deterioro que generan: fuerte toxicidad para mamíferos superiores, inespecificidad de acción y persistencia ambiental prolongada) seguido de los organofosforados, carbamatos y piretroides sintéticos (González, S., 1995).

Espinoza, *et al.* (1994) realizaron un estudio para CONAMA publicado como "Percepción de los problemas ambientales en las Regiones de Chile", el cual ordena dichos problemas según su importancia, posibilidad de control, localización geográfica, sector relacionado, tipo de problema y categoría. El Cuadro 4 presenta la información referida a la contaminación por plaguicidas en los recursos suelo y agua de la VII y VIII regiones.

Cuadro 4. Evaluación de la contaminación por plaguicidas en los recursos suelo y agua de las regiones VII y VIII.

Problema Ambiental	Región	Calificación según Importancia	Calificación según Posibilidad de control	Localización geográfica del problema
Contaminación por mala aplicación de plaguicidas en la agricultura	VII	3.8	1.3	Toda la Región
Contaminación del suelo por plaguicidas y fertilizantes	VIII	4.1	1.3	Toda la Región
Contaminación química en ríos, lagos, estuarios y mar, por fertilizantes y plaguicidas	VIII	4.0	1.1	Toda la Región

Fuente: Espinoza, G., *et al.* 1994.

Nota: Importancia: 0 = variable irrelevante a 5 = variable de máxima importancia.

Posibilidad de control: 0 = variables no controlables a 3 = variable fácil de controlar.

En el boletín «Plaguicidas: usos, efectos y restricciones» se da cuenta de los estudios realizados hasta la fecha en materia de contaminación ambiental por plaguicidas, solo resta destacar que dentro de las fuentes de información consultadas a la fecha para conformar el diagnóstico del proyecto, no se encontraron más estudios relacionados a los efectos ambientales generados por los plaguicidas. Se verificó, así mismo, que la priorización para la Emisión de Normas legales hasta el año 2001 no considera temas relativos a la protección del recurso suelo, ni a la identificación de límites para residuos de plaguicidas, lo que deriva en un desamparo de los recursos naturales respecto a este tipo de contaminación (CONAMA, 2000).

Los antecedentes expuestos incrementan la necesidad que éste tipo de productos sean utilizados de manera racional, cooperando con dicha conducta a minimizar el riesgo que implica el uso de plaguicidas para la salud humana y para el medio ambiente.

Manejo seguro de plaguicidas

La agricultura es una de las cuatro actividades económicas que agrupan el mayor número de trabajadores en el país, alcanzando más de 700.000 personas, cifra que se incrementa en el período de mayor producción al incorporarse mujeres y niños. De esta forma, se estima que la población expuesta a los efectos de los plaguicidas asciende a 2.200.000 personas, principalmente de origen rural. (Vallebuona, 1998).

La creciente demanda por estos productos, asociada al crecimiento del sector agrícola, se traduce en un gran uso de sustancias de distintos grados de toxicidad lo que genera frecuentes cuadros de intoxicaciones, transformando esta situación en un problema de salud pública.

Para contribuir a hacer un uso racional y seguro de los plaguicidas, que garantice la eficiencia productiva, sustentabilidad ambiental y mínimo riesgo para la salud, se presenta a continuación una recopilación de las prácticas para el manejo seguro y racional de plaguicidas, validadas por organismos calificados tales como SAG y AFIPA (Asociación Nacional de Fabricantes e Importadores de Plaguicidas Agrícolas).

Tal información puede ser complementada con el “Manual de capacitación para el buen uso y manejo de plaguicidas” editado recientemente por ODEPA – SAG – RPC, que incluye aspectos como equipos para la aplicación de plaguicidas, calibración de éstos y cálculos para aplicar la dosis correcta del producto, entre otros.

1.- Prácticas para la decisión de compra o uso de plaguicidas

Identificar el problema que se desea resolver y consultar a un técnico especializado para que recomiende el producto fitosanitario más adecuado.

Verificar que el producto corresponda efectivamente al recomendado, revisar el envase y comprobar que sea el original, no esté dañado ni vencido, que esté sellado y su etiqueta sea la correspondiente escrita en castellano.

Comprar sólo aquellas cantidades que se necesitan para evitar productos vencidos a futuro.

2.- Prácticas de manejo para el transporte de plaguicidas

Se debe hacer en envases cerrados y con sus etiquetas, sin cargar aquellos que estén averiados o con derrames, no hacerlo junto con alimentos, granos, forrajes, personas o animales, ni cerca de alambres de púas u objetos punzantes que puedan romper el envase.

La carga y la descarga debe efectuarse con máximo cuidado evitando golpes y caídas que puedan dañar los envases. Quien la realice debe proteger sus manos con guantes, nariz y boca con una mascarilla adecuada. Se recomienda transportar algún material absorbente para casos de derrames.

3.- Prácticas de manejo para enfrentar eventualidades

Derrames: usar material absorbente (arena, aserrín, viruta, cartón corrugado, papel, género) para evitar que el producto escurra hacia cursos de agua o vegetación.

Si el **derrame es:**

- **de líquidos:** debe hacerse inmediatamente una barrera con material absorbente alrededor, y luego colocar lo empapado en envases que se puedan cerrar y transportar hacia un lugar seguro para luego eliminarlos.

- **de sólidos:** el material derramado debe barrerse con aserrín, arena o tierra ligeramente húmeda. Los materiales utilizados en esta operación deben ubicarse posteriormente en envases herméticos y ser depositados en un sitio que no implique riesgo de contaminación para el suelo y el agua.

- **incendios:** por tratarse de residuos tóxicos debe informarse rápidamente a los bomberos y en los primeros minutos actuar de la siguiente forma: para evitar el contacto con el humo y vapor se debe usar ropa protectora: gorro, anteojos, botas y en recintos cerrados aparatos de respiración adecuados.

Se debe usar durante los primeros minutos un extintor de polvo químico tipo ABC, idealmente a base de Fosfato Diamónico. En caso de incendio mayor, se debe cubrir la superficie incendiada con espuma resistente al alcohol. De no contar con este elemento, se puede aplicar agua en forma de rocío o neblina, no en forma de chorro directo. Una vez controlado el fuego es necesario limpiar y descontaminar la zona de acuerdo a las prácticas anteriores.

4.- Prácticas de Manejo para el Almacenaje de Plaguicidas

Disponer de un lugar o bodega exclusivo para ese uso, bajo llave, lejos de la casa y del tránsito de los niños, que sea fresco, seco y bien ventilado.

Mantener allí los productos en sus envases originales, con sus etiquetas y bien cerrados. Permanentemente se debe revisar el estado de mantención y vigencia de los productos almacenados.

Jamás se debe guardar estos productos dentro de la casa, ni en lugares donde se almacene alimento para ganado, semillas y otros vegetales.

5.- Prácticas de Manejo para la Manipulación de Plaguicidas

Previo a la aplicación: los aplicadores deben ser personas capacitadas para ese trabajo, que sepan leer y escribir. Es necesario leer atentamente la etiqueta y seguir rigurosamente las instrucciones.

Calcular muy bien la dosis e idealmente utilizar siempre las recomendaciones más bajas. Es necesario consultar la compatibilidad antes de mezclar dos productos y llevar un completo registro de cada tratamiento.

Revisar el lugar de la aplicación, avisar a los vecinos, retirar los animales, proteger los colmenares, etc. No aplicar en horas de altas temperaturas, ni cuando la velocidad del viento supere los 6,5 km/h (cuando las hojas y ramillas de los árboles se mueven) para disminuir la deriva.

Para reducir el daño provocado por la deriva se recomienda, además, bajar la barra de aplicación, disminuir la presión de la bomba y usar boquillas de baja presión (Kramm, y Pedreros, 2000).

Selección de los equipos de aplicación: los equipos de pulverización de barra son aptos para aplicaciones de plaguicidas en cultivos bajos, y dependiendo del tipo de boquilla que se utilice, se obtendrá una aplicación óptima del producto. Las boquillas de cono lleno o vacío son apropiadas para las aplicaciones de fungicidas e insecticidas, y las boquillas de abanico plano son las más recomendadas para aplicar herbicidas.

Los equipos pulverizadores de pistón o turbo-nebulizadores son aptos para aplicaciones de insecticidas y fungicidas en árboles frutales, ya que son equipos de alto volumen y trabajan a altas presiones.

Los equipos deben revisarse periódicamente para tener la seguridad de que funcionan de manera adecuada, no deben perder líquido ni tener residuos. Así mismo, deben cambiarse frecuentemente los filtros de las mascarillas para la boca y nariz.

Preparación de los productos: la mezcla debe prepararse en lugares habilitados lejos de las personas y animales, utilizando obligatoriamente equipo protector. Nunca debe revolverse con la mano ni utilizar para ello utensilios domésticos. La ropa debe ser impermeable y cubrir totalmente su piel, además se debe usar mascarilla y antiparras para proteger los ojos de salpicaduras durante la preparación.

Durante la aplicación: es indispensable usar equipo protector, proteger la cabeza con sombrero de ala ancha (no de género, ni de lana), para los ojos usar antiparras, mascarilla para la boca y la nariz o respirador cuando corresponda, para las manos usar guantes de plástico largos hasta el codo. Se aconseja poner las mangas dentro de los guantes cuando se fumigue hacia arriba. Para proteger el cuerpo se debe usar un traje protector compuesto de chaqueta, pantalón y botas de goma, cuidando que el pantalón quede sobre las botas, evitando con ello que el escurrimiento del producto moje los pies.

Mientras se aplica nunca se debe fumar ni beber líquidos. Las boquillas nunca deben destaparse soplandolas con la boca, sino que utilizando un cepillo dental reservado para tal efecto. Se recomienda evitar la inhalación, el contacto directo con los productos o con la neblina de la aspersión.

Si durante la aplicación los trabajadores presentan síntomas anormales, debe detenerse de inmediato la labor y procurarles atención médica, dándole al especialista la información que aparece en la etiqueta del producto utilizado.

Después de la aplicación: el aplicador debe ducharse con abundante agua y jabón. Lavar su ropa de trabajo con agua y detergente separada del resto de la ropa.

Si al término de la aplicación aún queda producto en el estanque, éste debe diluirse en 10 partes de agua y ser aplicado en terrenos baldíos o bordes de caminos. Jamás deben ser vertidos sobre acequias, canales de riego ni cursos de agua.

Los equipos (estanque, mangueras, filtros, boquillas) deben lavarse con agua y detergente y enjuagarse en lugares habilitados, no en acequias ni canales. Posteriormente debe realizárseles la mantención necesaria.

Los envases vacíos deben ser sometidos a un triple lavado y ser guardados en lugar seguro para su posterior destrucción o entierro. Nunca deben quedar botados, ni volver a utilizarse para almacenar alimentos, forraje o agua.

6.- Prácticas de manejo para casos de intoxicación

Aplicar los primeros auxilios según las instrucciones de la etiqueta del producto, y llamar inmediatamente a un médico mostrándole el envase. Es recomendable tener a mano el teléfono del CITUC, Centro de Investigación Toxicológica de la Universidad Católica, para solicitar ayuda e indicaciones. Fono: (02) 6353800.

Farmacias Ahumada cuenta con un servicio especializado de orientación e información de intoxicaciones y sustancias tóxicas, denominado Toxifasa. Marcando el (02) 6619414 se accede en forma directa a este servicio.

Los productos fitosanitarios pueden entrar al cuerpo por medio de cuatro vías: piel, ojos, nariz y boca, por lo tanto ellas deben estar adecuadamente protegidas para impedir las intoxicaciones.

Penetración por la piel: el área afectada debe lavarse con abundante agua fría y jabón. Si la penetración se produce **por los ojos**, éstos deben lavarse solamente con abundante agua. En caso de **ingestión**, debe considerarse que ésta puede producir las intoxicaciones más severas, el riesgo se previene con un adecuado almacenamiento y la mantención de los productos en sus envases originales.

Si se produce la **inhalación**, vapores o nubes de polvo pueden llegar a los pulmones durante el manejo de los productos fitosanitarios. La prevención se realiza usando el equipo protector completo, haciendo las mezclas al aire libre o en condiciones de muy buena ventilación, trabajando a favor del viento y manteniéndose alejado de la nube de pulverización o espolvoreo.

Es aconsejable disponer de materiales que puedan ayudar a combatir las sobre-exposiciones y/o intoxicaciones tales como:

1. Agua: abundante agua limpia servirá para lavar la piel contaminada o los ojos.
2. Jabón: para lavar el sector afectado.
3. Paños: necesarios en remplazo del agua, se recomienda mantener abundante cantidad de paños limpios o de papel para limpiar la piel.
4. Mantas: útiles para abrigar en caso de desvanecimiento o colapso.

5. Carbón activo: útil en algunas ocasiones cuando se ha ingerido productos fitosanitarios.
6. Envases de plástico: para guardar las ropas o calzados contaminados.
7. Asistencia médica: tener previsto en caso de urgencia un sistema rápido para conseguir ayuda médica o transportar al paciente a un centro médico. Tener teléfonos de: bomberos, información toxicológica, posta de urgencia y carabineros.

Los plaguicidas caducados y su eliminación

En la actualidad, la tendencia internacional va hacia la prevención de nuevas acumulaciones de existencias de plaguicidas en desuso.

En la óptica de aportar criterios hacia un uso racional de los agroquímicos, se presentan a continuación algunos puntos de interés contenidos en las “Directrices provisionales para evitar existencias de plaguicidas caducados” (FAO, 1996).⁴

1. ¿Cuándo un plaguicida está caducado?

Cuando no puede ser usado para su fin original o para cualquier otro fin, y de ahí que se requiera su eliminación. También se les denomina correctamente desechos de plaguicidas.

2. Causas de la acumulación de plaguicidas caducados

Las causas más comunes de acumulación de plaguicidas caducados son las siguientes:

- ⊗ Prohibición de los productos
- ⊗ Almacenaje inadecuado y mala gestión de las existencias
- ⊗ Embalajes o productos inadecuados

⁴ Instrumento adicional que amplía la aplicación del *Código de Conducta internacional sobre la Distribución y Uso de Plaguicidas de la FAO*. 1985.

- ✳ Donación o compras excesivas para las necesidades
- ✳ Coordinación inadecuada entre las agencias donantes y los receptores

3. Eliminación de residuos de plaguicidas

Cuando es estrictamente necesario eliminar residuos de plaguicidas debieran seguirse las normas FAO denominadas “Destrucción de residuos de plaguicidas y envases de plaguicidas en el campo”, las que son complementadas por las “Normas para evitar, limitar y destruir los residuos de plaguicidas en la fincas” de la GIFAP⁵ (1988).

Dentro de estas últimas, se cita como medidas básicas para prevenir la acumulación de plaguicidas caducados o sus residuos a una:

- Adecuada ubicación y construcción del almacén de plaguicidas.
- Correcta clasificación y apilamiento de las existencias para evitar mezclas indeseadas y deterioro de los envases.
- Adecuada gestión de las existencias, es decir, mantener un inventario detallado de los productos y fechas de fabricación, para poder usar las más antiguas primero (“first in – first out”).
- Permanente inspección de los productos.

3.1. Modalidades de eliminación de residuos de plaguicidas

Los envases y embalajes deben vaciarse completamente antes de su destrucción, sacudiendo los materiales secos o escurriendo los líquidos dentro del equipo aplicador. El método más seguro para el medio ambiente es la eliminación de estos envases en un incinerador autorizado, de lo contrario deben ser enterrados. En este último caso, las bolsas de papel o plástico y los envases de cartón se deben romper en trozos pequeños, los envases de plástico deben ser cortados, las botellas de cristal deben ser trituradas dentro de sacos, y las latas o bidones metálicos deben ser lavadas tres veces y luego perforadas y aplastadas, a excepción de los aerosoles.

⁵ Agrupación Internacional de las Asociaciones Nacionales de Fabricantes de Productos Químicos.

Considerando la ausencia de métodos de eliminación seguros para plaguicidas en nuestro país, las recomendaciones más confiables para realizarla se encuentran en GIFAP (1988) y están detalladas en el boletín «Plaguicidas: usos, efectos y restricciones» generado por el proyecto.

En este sentido, AFIPA ha promovido el triple lavado y posterior perforación de los envases antes de ser eliminados. El Ministerio de Agricultura acepta incluir el triple lavado y perforación del envase como recomendación en la etiqueta de los plaguicidas. Así, está próxima a emitirse una Resolución SAG en estos términos, por lo que la difusión de estas prácticas es muy pertinente.

Finalmente, se puede señalar que dentro de la información generada por la encuesta desarrollada por el proyecto en la etapa diagnóstica, los productores manifestaron en el 91% de los casos eliminar los envases de pesticidas una vez desocupados, sin especificar el procedimiento para hacerlo. Sin embargo, se constató que persisten ciertas conductas que implican algún grado de peligrosidad, aunque en porcentajes bastante menores, entre dichas conductas se puede mencionar: lavar los envases para reutilizarlos (27%) y regalarlos a los trabajadores agrícolas (18%). En cuanto al manejo de residuos de pesticidas, el 100% de los productores declararon mantenerlos en sus envases originales, lo que constituye una conducta segura, puesto que el trasvasije a otros envases hace perder las indicaciones del fabricante, transformando a los residuos en productos de alto riesgo.

Comentarios finales

Los plaguicidas son productos químicos de alta tecnología que, en promedio, demoran entre 7 y 10 años para el cumplimiento de las normas que exigen los organismos de control para ser liberados al mercado.

Si bien están formulados como sustancias para contribuir a mantener la sanidad vegetal, y el Ministerio de Agricultura a través del SAG, reglamenta y controla su uso, en la realidad una serie de factores como la escasa fiscalización, la venta sin recomendación de un especialista y el desconocimiento de los ingredientes activos prohibidos, entre otros, han derivado en un uso

descontrolado de estos productos. Es por esto que, una vez que se encuentran disponibles en el mercado, la responsabilidad frente a un uso eficiente y sustentable recae sobre el usuario, sea éste público o privado, resultando imperioso que adopte una conducta de “uso racional” de plaguicidas, entendida como se ha descrito previamente.

Los efectos de los plaguicidas en la salud humana se manifiestan a través de intoxicaciones agudas, provocadas por un corto tiempo de exposición, o crónicas, derivadas de exposiciones prolongadas que pueden alcanzar a las futuras generaciones. Ambas afectan los principales órganos y sistemas del cuerpo humano.

Se ha determinado que existe una relación directa entre el grupo químico al que pertenece un plaguicida y su grado de toxicidad, considerándose a los organoclorados como extremadamente tóxicos y a las piretrinas con la menor toxicidad.

Resulta indispensable como medida de seguridad básica, atender a las indicaciones que aparecen en las etiquetas de estos productos, donde se establece, entre otras, las especificaciones antes mencionadas. De esta manera es posible minimizar los riesgos de intoxicación.

Los volúmenes de venta de plaguicidas indican que las regiones VI, Metropolitana, VII, IV y VIII estarían sometidas a una mayor presión ambiental por el uso de estos productos. Ahora bien, la presión ambiental que ejerce la contaminación por plaguicidas se entiende como la incorporación de residuos de dichos productos a una unidad ambiental, capaz de causar daños en los seres vivos que la habitan o utilizan.

De los procesos que le suceden a un plaguicida en el medio ambiente, la deriva, el escurrimiento, la lixiviación y la persistencia, resultarían los más contaminantes. Es sabido que el mayor riesgo ambiental se asocia a los plaguicidas organoclorados debido, entre otros, a su persistencia en el medio. No obstante, el tema de la residualidad o persistencia ambiental en Chile ha sido muy poco estudiado, desconociéndose los umbrales críticos de la gran mayoría de los contaminantes.

La agricultura es una de las actividades económicas que más número de personas agrupa, las que comúnmente están expuestas al contacto con sustancias de variadas toxicidades. De ahí la necesidad imperiosa de hacer un uso racional de plaguicidas, que implica adoptar una conducta consciente y rigurosa durante cada una de las etapas del manejo de los agroquímicos, incluso con aquellos que se encuentren en la condición de residuos o de productos caducados.

La tendencia mundial se orienta hacia el uso de métodos o manejos integrados en control de plagas, lo que implica la alternancia y complementariedad entre el control químico, biológico y métodos culturales. Con ello se logrará minimizar los riesgos para la salud humana, aumentar la eficiencia productiva y velar por la sustentabilidad ambiental.

El uso de los plaguicidas, como cualquier otra variable del manejo predial, requiere la adopción de las MPM que garantizan una verdadera optimización de los esquemas de la producción agrícola, logrando una mayor eficiencia productiva a un menor costo ambiental. En esta óptica se espera contribuir a que los productores tomen la iniciativa, antes que las crecientes exigencias legales los obliguen, de asesorar sus decisiones por personas técnicamente especializadas y asumir el criterio del "Uso Racional", que tiende a una producción dentro de los marcos sociales, medioambientales, y económicamente aceptados.

BIBLIOGRAFÍA

CONAMA. 2000. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Quinto Programa Priorizado de Normas 2000 – 2001. On line. Disponible en: <http://www.conama.cl/ppn/extracto-quinto>. Conectado el 05 de Julio de 2000.

Correa, Arturo. 1999. "Declaración de ventas de plaguicidas agrícolas. Julio a diciembre de 1998". Departamento de Protección Agrícola. Subdepartamento de Defensa Agrícola. SAG. Santiago. Chile. s.n.p.

- Espinoza, Guillermo; Gross, Patricio y Hajek, Ernst. 1994.** “Percepción de los problemas ambientales en las regiones de Chile”. Comisión Nacional del Medio Ambiente CONAMA. Santiago. Chile. p. 394.
- FAO. 1996.** “Directrices provisionales para evitar existencias de plaguicidas caducados”. Colección FAO: Eliminación de plaguicidas 2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Documento de campo GCP/INT/572/NET. Roma. Italia. 31 p.
- GIFAP, 1988.** “Normas para evitar, limitar y destruir los residuos de plaguicidas en las fincas”. Agrupación Internacional de las Asociaciones Nacionales de Fabricantes de Productos Agroquímicos. Bruselas. Bélgica. 43 p.
- González, Sergio. 1995.** “Estado de la contaminación de los suelos en Chile”. In: “Perfil Ambiental de Chile”. Comisión Nacional del Medio Ambiente. CONAMA. Santiago. Chile. p. 199 - 234.
- Kramm, Víctor y Pedreros, Alberto. 2000.** “Herbicidas: consideraciones generales para su uso y aplicación”. Informativo Agropecuario Bioleche - INIA Quilamapu. Año 13 N° 2 Junio. Chillán. Chile. p 30 – 31
- ODEPA – SAG - RPC. 1999.** “Manual de capacitación para el buen uso y manejo de plaguicidas”. Comité Proyecto Chile - Canadá. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Servicio Agrícola y Ganadero. República de Canadá. Santiago. Chile. n. p.
- Rozas, María Elena. 1995.** “Plaguicidas en Chile. La guerra química y sus víctimas”. Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales. Instituto de Ecología Política. Santiago. Chile. 169 p.

SAG. 1998. Boletín de divulgación “De sol y de tierra” Año 7 N° 26. Santiago. Chile. 4 p.

Vallebuona, Clelia. 1998. “Salud Ocupacional. Plaguicidas, Salud y Trabajo”. *In:* Documento Seminario Internacional “Plaguicidas: Formulación, Aplicación de residuos, Marco legal toxicológico y ambiental”. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Santiago. Chile. n. p.