

Capítulo 1

La materia orgánica como eje del manejo sustentable de los suelos

M. Cecilia Céspedes L. y Michael W. Wolff

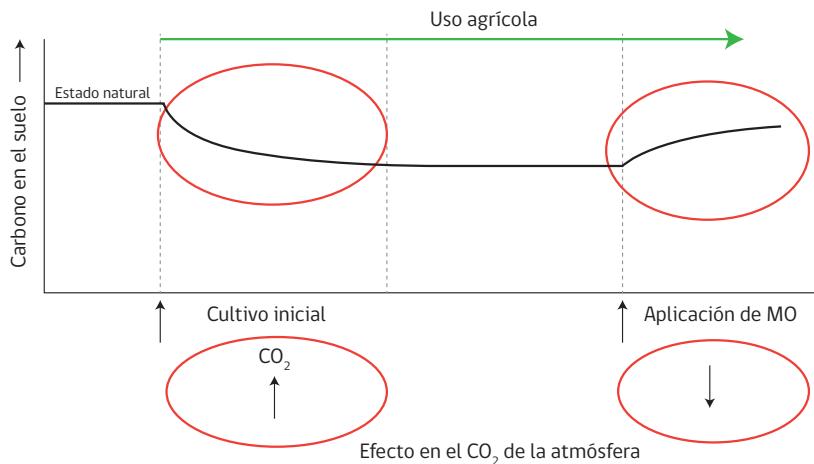
Los suelos se degradan debido al continuo uso agrícola, especialmente con el uso intensivo propiciado por la agricultura convencional. Esta degradación es causada por la erosión y la pérdida de materia orgánica y nutrientes del suelo, pérdidas que están estrechamente ligadas.

La transición de un sistema natural a la producción agrícola provoca la destrucción de la estructura del suelo, dejando disponible a la materia orgánica que estaba protegida en él, para ser consumida por los microorganismos. También se eliminan las raíces, que aportan las condiciones propicias para la actividad biológica del suelo, causando una alteración del mismo. Luego, el manejo convencional intensivo, con uso exclusivo de fertilizantes minerales y sin aporte de materia orgánica, agrava año a año la condición del suelo.

1.1. Las enmiendas orgánicas: beneficios en productividad, protección de los suelos y secuestro de carbono

El uso convencional intensivo tiene como objetivo alcanzar altos rendimientos, aplicando nutrientes solubles, de alto valor, que frecuentemente se pierden con la lixiviación o la escorrentía. Los fertilizantes nitrogenados que se añaden al suelo en exceso, tienen un efecto importante en la degradación de la materia orgánica del suelo, al aumentar su demanda por los microorganismos descomponedores. La aplicación de fertilizantes nitrogenados a base de amonio o urea reducen el pH, lo que obliga a realizar adiciones continuas de cal. Sumado a lo anterior, se pierden importantes volúmenes de residuos orgánicos como rastrojos (quemados o enfardados) y los estiércoles provenientes de animales alimentados con ese rastrojo no se devuelven al suelo.

Figura 1.1. Respuesta de contenido de Carbono en el suelo, dependiendo de su manejo.



Los suelos generalmente muestran una curva de pérdida de materia orgánica similar a lo presentado en la **Figura 1.1**. Esta pérdida se puede recuperar al implementar mejores prácticas agrícolas como la aplicación de materia orgánica al suelo.

La exportación de cosechas y residuos de los cultivos agrícolas, y la pérdida de materia orgánica, por décadas, acarrean muchos nutrientes, agravando las deficiencias de micronutrientes, la pérdida de estructura y la falta de vida activa en los suelos. Por estos motivos, se observa con frecuencia, que la agricultura moderna tiene una demanda siempre creciente de fertilizantes. Este aumento es un indicador de la degradación de los suelos. El remplazo de nutrientes por fertilizantes minerales no es una práctica sostenible en el largo plazo, porque no corrige ninguno de los problemas que causaron la degradación del suelo. Por el contrario, afecta el pH, la conductividad eléctrica y la vida del suelo, aumentando los costos de producción.

- ¿Por qué se aplica cada vez más fertilizantes minerales a suelos que cada vez son más pobres, considerando que los recursos globales de elementos como el fósforo, son limitados?
- ¿Es lógico botar los nutrientes y materia orgánica presentes en residuos y lodos al océano o a rellenos sanitarios, en vez de devolverlos al suelo?
- ¿Cuáles prácticas sostenibles se pueden utilizar con todos los residuos que la agricultura produce, para apoyar la fertilidad del suelo?

- ¿Cómo se puede proteger los suelos contra la erosión, mientras los efectos del cambio climático agravan la situación debido a lluvias más intensas, alternadas con sequías más prolongadas?

1.1.1. ¿Cómo detener la degradación de suelos y por el contrario lograr su recuperación?

Un manejo sostenible de la fertilidad de los suelos debe tender a aumentar los niveles de materia orgánica, devolver los nutrientes perdidos y proteger su estructura. En este contexto, el uso de enmiendas orgánicas (derivados de residuos vegetales y animales) juegan un papel clave.

La restauración sostenida de la materia orgánica en un suelo degradado se conoce como secuestro de carbono. Las cantidades de carbono que se pueden devolver al suelo como materia orgánica son potencialmente enormes, compensando hasta el 25% del calentamiento global que la humanidad ha causado. La restauración dependerá del cambio sostenido en el manejo del suelo, de lo contrario las ganancias serán temporales. Mientras lo anterior parece ambicioso, el manejo sostenible de la fertilidad del suelo, mediante la aplicación de altas cantidades de enmiendas orgánicas, es una idea realista.

Los beneficios de añadir/devolver materia orgánica al suelo deben ser considerados por los agricultores y todos los actores relacionados con la producción agropecuaria. Dentro de las múltiples ventajas de esta práctica se pueden mencionar las siguientes:

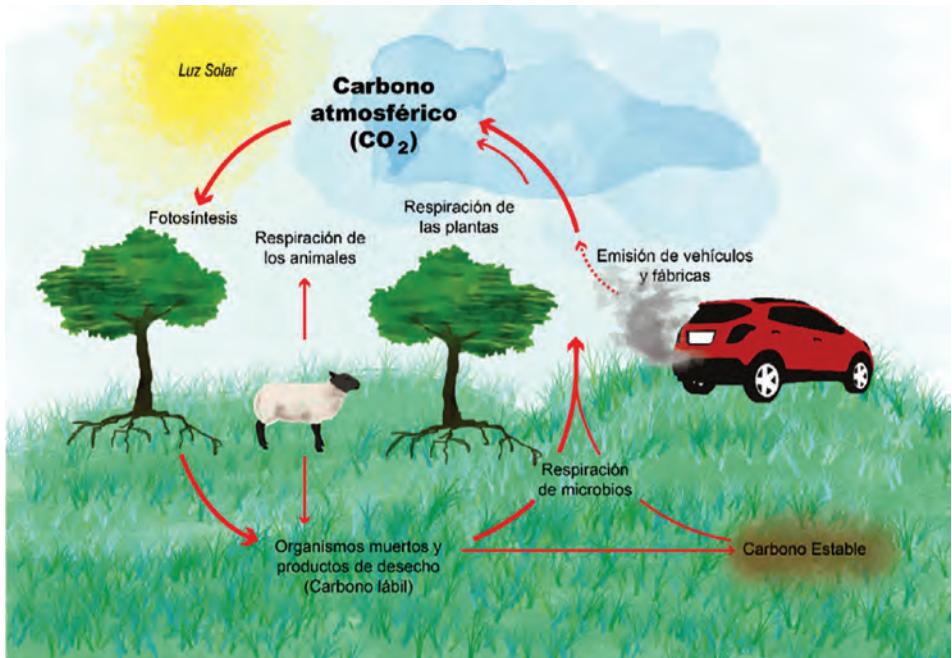
1. Incrementa y fortalece la estructura del suelo. Los macro agregados están unidos por materia orgánica más fresca. Si no hay ingresos de este tipo de materia orgánica, se debilitan y se rompen los macro agregados del suelo. Un suelo con buena agregación tiene:
 - a. Mejor capacidad de almacenar humedad
 - b. Mejor resistencia a la compactación
 - c. Mejor resistencia a la erosión
 - d. Mejor capacidad de infiltrar agua.
 - e. Mejor albergue de microorganismos.
2. Mejora la nutrición de cultivos, debido a:
 - a. Fertilización directa. Aunque las cantidades de nutrientes dependen mucho del tipo de enmienda utilizada, es relevante la cantidad de micronutrientes.

- b. Retención de nutrientes. La materia orgánica provee sitios de carga positiva y negativa, que permiten retener nutrientes de ambas cargas. Además, tiene la capacidad de formar compuestos con metales, que son retenidos hasta que son adsorbidos por las raíces de los cultivos.
 - c. Suministro gradual de nutrientes. Al descomponerse, la materia orgánica y los nutrientes adheridos a ella, se liberan.
3. Incrementa la actividad biológica
- a. Mayor crecimiento de hongos benéficos, importantes agentes en la distribución de nutrientes por todo el sistema suelo.
 - b. Aumento de las poblaciones de lombrices y otros macro organismos que están relacionados con la fertilidad y la estabilización de materia orgánica, además de mejorar la estructura del suelo, mediante las galerías que realizan con el consecuente aumento de la porosidad.
 - c. Importación de poblaciones activas microbianas, especialmente descomponedores, lo que permite mantener el reciclaje de nutrientes.
 - d. Un mayor reciclaje de nutrientes y albergue de microorganismos, alimenta una mayor biodiversidad de microorganismos que permiten suprimir enfermedades y plagas de los cultivos.
4. Amortiguación de pH, elevándolo en suelos ácidos y bajándolo en alcalinos.
5. Aumento sostenido en materia orgánica del suelo (**Figura 1.2.**), lo que implica secuestro de carbono, que puede ser variable dependiendo del manejo agronómico y del tipo de suelo.

Figura 1.2. Suelo granítico de la región del Biobío, comuna de Yumbel, con aplicación de compost durante 10 años (izquierda) y sin aplicación (derecha).



Figura 1.3. Ciclo del carbono.



1.1.2. ¿Qué se sabe sobre la materia orgánica estable en el suelo?

La materia orgánica del suelo es la fracción formada por compuestos orgánicos, en distintos grados de descomposición, que provienen de restos de organismos muertos (plantas y animales) y sus productos de desecho. La materia orgánica estable en el suelo, es generalmente derivada de la vida microbiana. Eso quiere decir que, a excepción del carbón (quemado), la materia orgánica añadida no dura muchos años en el suelo, y que la biomasa microbiana es un buen indicador de los efectos del manejo de suelo sobre los niveles de carbono estable. En parte, por este hecho, las raíces son más importantes en el aporte de materia orgánica estable, que los residuos aéreos de las plantas. Finalmente, sabemos que suelos menos disturbados (con menos laboreo) generalmente tienen más materia orgánica, porque ésta queda protegida en agregados más grandes.

El carbono no está fijo en ninguna de sus formas, pero con el reciclaje y el uso del suelo, se pueden modificar los ingresos de materia orgánica, afectando la cantidad de carbono estable en el suelo (**Figura 1.3**).

1.1.3. ¿Qué se sabe sobre los efectos de los diferentes tipos de enmiendas orgánicas en el suelo?

Generalmente, hay 6 categorías de enmiendas orgánicas, con niveles distintos de nutrientes y carbono, que tienen los siguientes efectos sobre la materia orgánica del suelo:

1. Guanos, purines, estiércoles de distintos orígenes, aplicados en estado crudo o semi-maduro.

2. Compost, bokashi u otros biopreparados que corresponden a mezclas sólidas de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que se estabilizan mediante un proceso de descomposición.

3. Tés de compost, diluciones líquidas de hidrolisatos₁ o ácidos húmicos en solución.

Estos grupos tienen efectos diferentes en el suelo y en los aportes de materia orgánica:

1. Los guanos, purines y estiércoles aportan gran cantidad de nutrientes, especialmente fósforo y nitrógeno. Pueden utilizarse como base de fertilización y mantener suelos con altos niveles de materia orgánica. Sin embargo, corresponde a la utilización de nutrientes derivados de otras áreas para alimentar animales. Por lo tanto, no puede ser considerada una solución generalizada para los suelos degradados.

2. Los compost, bokashi u otros biopreparados, si están bien elaborados, contribuyen con carbono resistente ya que al estar estabilizados tienen una gran fracción de materia orgánica transformada en sustancias húmicas que tienen larga vida en el suelo. Su uso favorece la estructura del suelo e incentiva muchos procesos microbianos; se consideran acondicionadores del suelo y pueden ser subvencionados por el Estado, como en el caso del Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S).

3. Los tés de compost aportan pocos nutrientes y poco carbono. Pero, se ha observado que por proporcionar al suelo ácidos húmicos y altas poblaciones de microorganismos, estimulan el crecimiento de raíces, que a su vez hacen un importante aporte a la materia orgánica y aumentan la eficiencia de adsorción de nutrientes; sin considerar el efecto positivo en la supresión de enfermedades y plagas.

4. Residuos de cultivos incorporados al suelo para acelerar su descomposición como rastrojos de cereales u otros cultivos, podas de viñas, berries u otros.
5. Abonos verdes establecidos en otoño e incorporados a inicios de primavera.
6. Residuos dejados en la superficie, como rastrojos de cereales con cero labranza o madera triturada que se utiliza como mulch.
4. La incorporación de residuos vegetales al suelo puede aumentar el contenido de materia orgánica, pero el disturbio del suelo también puede cancelar ese efecto, permitiendo que se descomponga una cantidad igual a la materia orgánica incorporada. En todo caso, la incorporación mejora la retención del agua, hace el suelo más resistente a la erosión y reemplaza ciertos nutrientes que se perderían en la quema o en la remoción de residuos.
5. Los abonos verdes sirven para proteger el suelo durante el invierno, capturar nutrientes que se pueden perder por lixiviación y aprovechar la capacidad de algunas leguminosas de fijar nitrógeno atmosférico, beneficiando al siguiente cultivo. Aunque aumentan los ingresos de carbono al suelo cuando son incorporados, también implican movimiento del mismo y no se han encontrado aumentos de contenido de carbono estable con esta práctica.
6. Los residuos dejados en la superficie del suelo generalmente aumentan el contenido de carbono en el suelo, en el contexto de cero labranza, debido a que no se rompen los agregados. Así la materia orgánica y las hifas de hongos quedan protegidas y no son consumidas por los microorganismos descomponedores. Los residuos sobre el suelo también retienen más humedad, combaten malezas y protegen el suelo de la erosión.

1.1.4. Resultados experimentales

Existen varias preguntas por responder acerca del destino de la materia orgánica en el suelo, debido a la complejidad de la vida microbiana y los efectos del tipo de suelo, clima, déficit de carbono y manejo agronómico. No obstante, investigaciones en Chile y en el extranjero, ha evidenciado que varias prácticas han logrado cambiar la calidad de ciertos suelos y aumentar el secuestro de carbono, como materia orgánica estable.

El INIA ha desarrollado investigación que busca responder algunas inquietudes científicas, para lo cual se ha realizado muestreos de predios con varias prácticas que son incluidas en el Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Degradados, SIRSD-S, que permiten aumentar el contenido de la materia orgánica en el suelo, y así, secuestrar carbono en ellos.

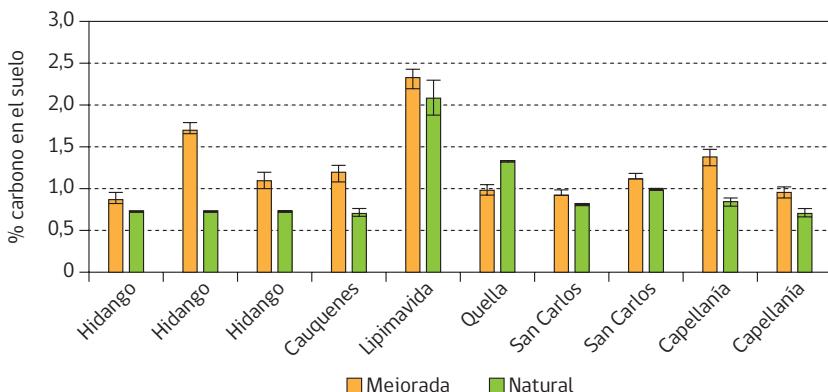
Al investigar los efectos de la aplicación de compost, en suelos graníticos del secano interior, se estimó una capacidad de secuestro de carbono de 4,9 toneladas de carbono por hectárea (t C/ha) de acuerdo a la información obtenida del **Cuadro 1.1**. En suelos volcánicos (trumaos), los efectos no fueron consistentes ni significativos.

Cuadro 1.1. Aumento de materia orgánica y de fracción de agregados estables en el agua en dos suelos graníticos con diferentes períodos y tasas de aplicación de compost.

| Uso | Años de aplicación | Tasa de compost, t/ha/año | % Materia orgánica | Fracción estable |
|---|--------------------|---------------------------|--------------------|------------------|
| Suelo Vega, Franco Arenoso | | | | |
| Compost invernadero (hortalizas) | 4 | 20 | 3,27 | 82,79 |
| Cultivado | 4 | 7 | 1,88 | 46,63 |
| Pastoreado | | | 1,41 | 56,28 |
| Suelo Ladera, Franco Arenoso y Franco Arcilloso | | | | |
| Hortalizas, compost alto | 10 | 30 | 8,97 | 86,37 |
| Hortalizas, compost mediano | 10 | 15 | 3,22 | 71,85 |
| Cultivado, compost bajo | 10 | 7 | 2,93 | 51,76 |

El mejoramiento de praderas con siembra de leguminosas y fertilización fosfatada, también mostró efectos consistentemente positivos en el contenido de materia orgánica de suelos no volcánicos (ganancia estimada cercana a 1 tonelada de C por año, donde esa suma probablemente sería añadida por 15 a 20 años) (**Figura 1.4**). Aunque la siembra de leguminosas no es una enmienda orgánica propiamente tal, el aporte de nitrógeno orgánico al suelo, sumado a la fertilización fosfatada,

Figura 1.4. Diferencia en el contenido de carbono del suelo bajo pradera mejorada respecto de pradera natural, expresado en porcentaje. Los sitios están ordenados de norte a sur y las barras representan el error estándar.



provee de un volumen importante de raíces activas que fijan nitrógeno por asociación con rizobacterias. Las leguminosas proveen de exudados y raíces ricas en N, que mueren convirtiéndose en materia orgánica del suelo. También proveen de nutrición adicional al ganado que se alimenta de la pradera, aumentando el volumen de estiércoles que entran al suelo, constituyendo un aporte extra de materia orgánica. Además, el aumento de biodiversidad al intercalar otras especies, es consistente con los principios de manejo sostenible de la fertilidad del suelo.

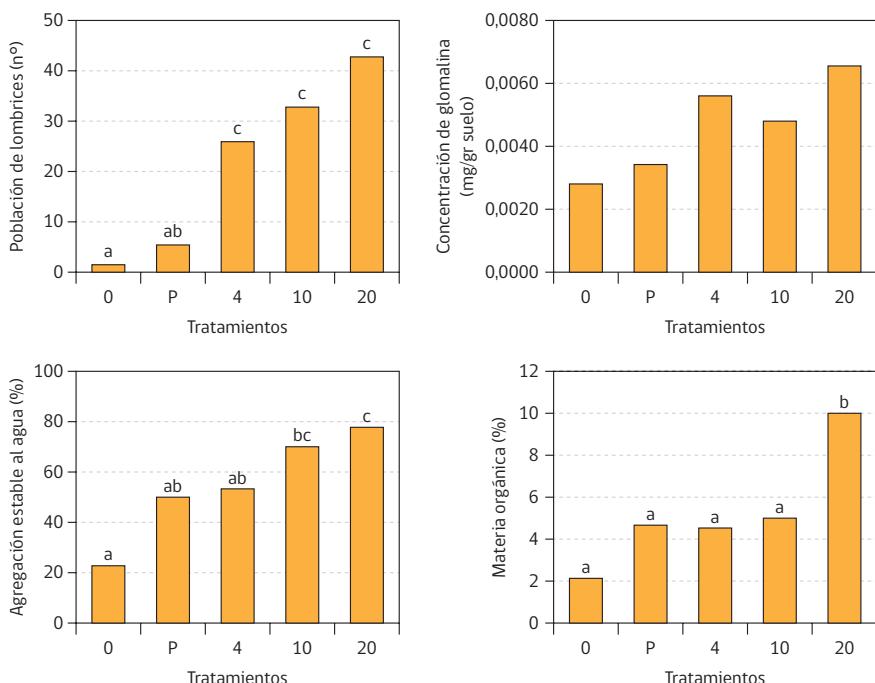
Como se observa en la **Figura 1.4**, suelos ubicados en el mismo lugar, que corresponden a las mismas series de suelos, tienen respuestas diferentes generalmente debido a la cantidad de años de la pradera mejorada. Es decir, en la medida que aumentan los años, las diferencias son más consistentes.

Con la incorporación de residuos de cereales, no se observó un aumento del contenido de materia orgánica en los primeros 5 años, después del abandono de la quema. Pero el disturbio provocado por el laboreo del suelo con la incorporación de los residuos es un factor que interfiere en el aumento de materia orgánica. Los resultados también dependen de los diferentes cultivos ya que, por ejemplo, sistemas sin quema generalmente incluyen maíz, el cual se descompone más fácilmente que trigo y avena. No obstante, existen otros efectos positivos, que se pueden atribuir a la incorporación de residuos de cereales, como la mayor retención de humedad, la resistencia a la erosión y la reducción de emisión de gases de efecto invernadero (GEIs) al eliminar la quema de los rastrojos.

Considerando los efectos de enmiendas orgánicas en sistemas chilenos es importante distinguir entre dos grupos de suelos: los volcánicos y los no-volcánicos. Hay evidencias de que la materia orgánica del suelo se puede aumentar en suelos graníticos con varias prácticas sostenibles. Estos suelos, igual que los aluviales y sedimentarios, son parecidos a muchos suelos degradados del mundo donde se ha logrado recuperar los niveles de materia orgánica.

Estudios realizados por INIA han demostrado que la aplicación periódica de materia orgánica al suelo durante varios años permite reducir la densidad aparente, aumentar la agregación estable al agua, las poblaciones de lombrices y el contenido de materia orgánica del suelo. En la **Figura 1.5** se puede apreciar los resultados de un estudio observacional realizado en suelos graníticos de la región del Biobío, donde se estudiaron suelos que habían recibido al menos 10 t/ha de materia orgánica cada año, sin importar si la enmienda era compost o guano maduro. Los suelos colectados se agruparon de acuerdo a la cantidad de años en

Figura 1.5. Indicadores de calidad de suelos con aplicaciones periódicas de materia orgánica.



que se les había aplicado la enmienda (4: de 2 a 4 años, 10: de 5 a 10 años, 20: de 16 a 20 años) y luego se compararon con dos situaciones sin aportes de materia orgánica (0: suelo descubierto sin aplicación de materia orgánica y P: suelo con pradera natural y sin aplicación de materia orgánica).

En la **Figura 1.5** es posible observar como la estabilidad de los agregados del suelo aumenta a medida que existe mayor número de aplicaciones de la enmienda orgánica.

En el caso de la materia orgánica no se detectan diferencias en los primeros años, probablemente debido a que las enmiendas aplicadas son rápidamente consumidas por los microorganismos presentes en el suelo. Pero después de varios años de aportes se observa una respuesta.

Las lombrices son organismos oportunistas, llegan y permanecen en sectores donde existen condiciones adecuadas para su multiplicación y desarrollo, condiciones que incluyen humedad y disponibilidad de materia orgánica para alimentarse. En la **Figura 1.5** es posible observar como las poblaciones de lombrices aumentan en la medida que la cantidad de años de aplicación de materia orgánica aumenta. El efecto acumulativo indica un cambio del ecosistema del suelo, ya que si solamente se debiera a la ingesta de la materia orgánica, su alza de población solo habría ocurrido en el primer período de aplicación de enmiendas, y después se habría mantenido estable a través de tiempo.

El último indicador, la glomalina, es una proteína fúngica producida por los hongos micorrílicos-arbusculares (HMA). Las micorrizas forman relaciones beneficiales con las raíces de la mayoría de las plantas, llevándoles nutrientes y agua que no pueden acceder de otra manera.

Los HMA producen la glomalina para constituir las paredes de sus hifas y esporas, pero ésta también sirve para cementar las partículas del suelo y mantener carbono en una forma estable. En la **Figura 1.5**, la concentración de la glomalina no presentó diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, sigue una tendencia similar a la encontrada en la agregación estable al agua y a las poblaciones de lombrices.

En Chile hay una importante superficie compuesta por suelos de cenizas volcánicas recientes (trumaos) que deberían tener una respuesta diferente a la aplicación de enmiendas orgánicas. En ellos, las altas cantidades de materia orgánica se mantienen, principalmente gracias a mecanismos químicos de estabilización. Sin embargo, con frecuencia tienen baja actividad microbiana y estructura muy

débil, son polvosos en sequía y tienen disponibilidad limitada de fósforo, igual que de azufre y potasio; problemas que se pueden mejorar con enmiendas orgánicas. Estos suelos son muy vulnerables frente de la erosión eólica e hídrica, la mínima o cero labranza los protege, al dejar los residuos sobre el suelo o incorporándolos superficialmente; la quema deja los suelos expuestos y disipa varios nutrientes al viento, por lo que se debe evitar.

La fertilización mineral y la aplicación de enmiendas orgánicas han sido entendidas como alternativas diferentes en Chile. Sin embargo, en muchas partes del mundo se está reconociendo la necesidad de combinar los dos tipos de fertilización. Esta combinación lleva el nombre de fertilización integrada. El objetivo es que los suelos retengan nutrientes y humedad, sean resistentes a la erosión y compactación y sean biológicamente activos en el largo plazo. Es decir, es necesario considerar que sobre la fertilidad del suelo intervienen en forma interdependiente factores químicos, físicos y biológicos y por ello, al aportar materia orgánica al suelo, aumentará la actividad microbiana, se cerrarán los ciclos de los nutrientes, mejorará la estructura y con ello será posible lograr un manejo sostenible de la fertilidad de los suelos.

1.2. Técnicas para la elaboración de compost

El compost o abono orgánico compuesto es el producto que resulta de la descomposición aeróbica (en presencia de oxígeno) de una mezcla de materias primas orgánicas, provenientes tanto de animales como de vegetales, bajo condiciones específicas de humedad y temperatura.

Este material está constituido, principalmente por materia orgánica estabilizada, siendo imposible el reconocimiento de su origen. El compost está libre de patógenos o enfermedades y no contiene semillas de plantas (malezas), porque mueren con las altas temperaturas que alcanza la oxidación. Puede ser aplicado directamente al suelo, mejorando sus características físicas, químicas y biológicas.

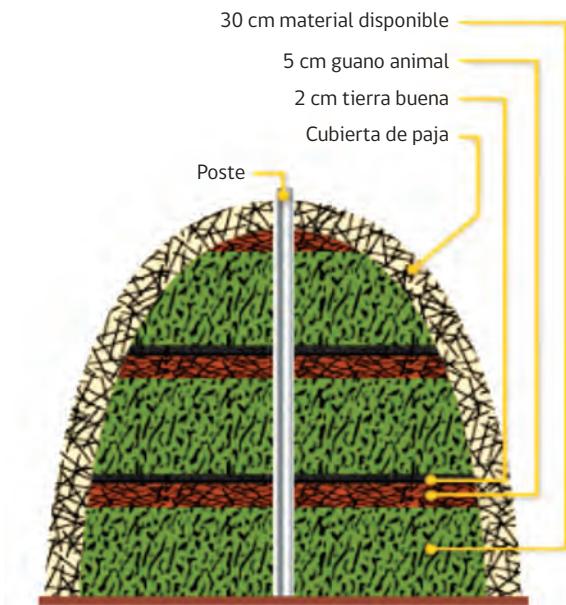
Es un producto que sirve para mejorar los suelos ya que aporta nutrientes, promotores de crecimiento y microorganismos benéficos que, entre otras cosas, reduce la incidencia de enfermedades y plagas que afectan a las plantas, y mantiene una buena calidad del recurso suelo. El efecto del abono orgánico es progresivo y acumulativo, poco a poco va mejorando la calidad del suelo: estructura, retención de humedad, cantidad de nutrientes y mejora la capacidad exploratoria de las raíces, lo que lleva a una mejor producción.

1.2.1. Preparación

Antes de elaborar el compost, la zona de trabajo se debe ubicar en un sector alto, que no se inunde o con una leve pendiente para evitar encharcamientos, que tenga sol y sombra, cerca de una fuente de agua y de preferencia que no interfiera con las labores agrícolas.

Se marca un sector de terreno de 1,5 por 1,5 m, se raspa y suelta un poco la parte superficial del suelo. La pila de compostaje debe tener un ancho mínimo entre 1,5 y 2 m, para facilitar el volteo. El largo puede ser mayor, dependiendo de la cantidad de material disponible. En el centro se coloca una estaca de unos 2 m de largo, si la pila es larga, se coloca una estaca cada 2 ó 3 metros. Se comienza la construcción de la pila de compostaje alrededor de la estaca, colocando una capa de 30 cm de material vegetal (rastrojos, hojas, malezas, restos de cocina, etcétera), humedeciendo inmediatamente la capa. Es importante que los materiales utilizados queden ubicados en forma homogénea, para lograr que el proceso sea igual en toda la pila, es decir, si se aplican restos secos, debe hacerse en toda la capa, luego otros restos vegetales de la misma forma, hasta lograr los primeros 30 cm de altura.

Figura 1.6. Elaboración de una pila de compostaje.



Luego, se agrega una capa de 5 cm de guano, la que igualmente se humedece con agua. Si el guano está maduro o si es una mezcla con residuos orgánicos como el caso de una cama animal, la cantidad de guano se debe duplicar. Sobre estas dos capas se aplican 2 cm de tierra de buena calidad o, si hay disponible un compost terminado, con la finalidad de inocular microorganismos que se encargarán de iniciar el proceso de descomposición. La secuencia se repite hasta alcanzar una altura de al menos 1,5 metros, mojando cada nueva capa. Es recomendable cubrir la pila con una capa de paja, sacos o malla de sombra (raschel). Se debe sacar la estaca del centro para mejorar la ventilación. El espacio que deja la estaca sirve también para introducir la mano y evaluar el alza de la temperatura.

1.2.2. Materias primas para su elaboración

Los materiales más comunes para utilizar son los rastrojos de cultivos, paja, aserrín, restos de poda, malezas, hojas; y de origen animal, guano de diversas especies, orina y cama animal.

Se pueden utilizar todos los residuos orgánicos, a excepción de:

- Materiales no degradables (plásticos, vidrios, etcétera.).
- Heces de perro, gato o humano, para evitar enfermedades.
- Materiales de difícil descomposición.
- Residuos tóxicos que no permiten el normal proceso de descomposición.

1.2.3. Manejo durante el proceso de compostaje

Como el proceso es aeróbico, no se debe compactar la pila para que circule el aire. Se debe mantener la humedad en forma permanente, por ello en verano es recomendable ubicar aspersores sobre la pila. Por el contrario, en períodos lluviosos se recomienda tapar la pila con plásticos o sacos, para evitar el exceso de humedad y lavado de nutrientes y microorganismos (**Figura 1.7**).

Para evaluar la humedad se puede tomar una porción de compost y al apretarlo no debe escurrir agua. Si al abrir la mano se forma un agregado, el contenido de humedad es apropiado. Si se disagrega, se debe mojar (**Figura 1.8**).

La mezcla de materias primas orgánicas se calentará a partir del segundo día, lo que indica que el proceso está funcionando. Se pueden alcanzar temperaturas superiores a los 90°C, pero es conveniente mantenerla entre 60 y 75°C. Para disipar temperatura se puede revolver y mojar. Se recomienda al menos 55°C

Figura 1.7. Riego en verano en una pila de compostaje.



Figura 1.8. Evaluación de la humedad del compost.



por al menos 36 horas consecutivas para asegurar la muerte de patógenos y semillas de malezas.

Pasado algunos días, la pila comenzará a enfriarse, debido a la falta de oxígeno en su interior, por ello es necesario revolverla, para incorporar aire. Habitualmente se aprovecha el volteo para mojar la pila y mantener la humedad ideal.

Después de 3 a 4 meses el compost estará listo y se puede usar. Esta situación se verifica cuando se cumplen tres condiciones: no es posible distinguir las materias

primas utilizadas en la elaboración, no aumenta la temperatura aunque se voltee y ha adquirido olor agradable a tierra de hojas. Una vez terminado, se puede almacenar en sacos o guardar a granel protegiéndolo de la luz solar en un lugar fresco y seco. Lo ideal es mantenerlo con un 40% de humedad ya que no debe resecarse. Un metro cúbico de compost pesa entre 650 y 700 kilogramos.

1.2.4. Aplicación y dosis

El compost se aplica en forma localizada en la línea de plantación al momento de realizar el establecimiento del cultivo o frutal. También se pueden realizar aplicaciones post plantación colocando una capa alrededor de cada planta, siempre es conveniente incorporarlo para evitar la muerte de los microorganismos benéficos que contiene, por efecto de los rayos ultravioleta.

La dosis recomendada es de 20 ton/ha en cultivos anuales, aplicando a todo el paño. Si las aplicaciones se realizan en la línea de plantación se puede reducir a 10 ton/ha. La misma cantidad se utiliza en cultivos perennes aplicando bajo el lateral de riego.

1.3. Uso de biopreparados

1.3.1. Lombricompost o vermicompost

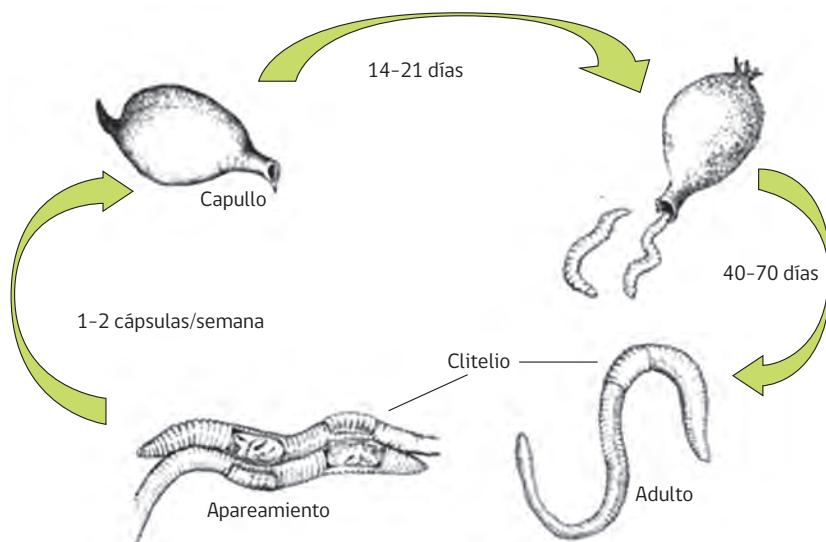
El lombricompost o vermicompost es el producto final del proceso de biooxidación, degradación y estabilización de residuos orgánicos (vegetales y animales), por la acción combinada de la digestión de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) y microorganismos. Este producto está estabilizado, es homogéneo y de granulometría fina. Las lombrices, al alimentarse de los residuos orgánicos, inician su descomposición, dejándolos disponibles para la acción de los microorganismos y, de esta forma, estimulan la actividad microbiana. Al igual que el compost, este producto puede ser usado como un mejorador de las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

1.3.1.2. Características de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*)

La lombriz roja californiana es una de las especies de lombrices que se usan en lombricultura por su gran capacidad reproductiva. Pertenecen a la familia Lumbricidae y se agrupan en la categoría ecológica epigeas, que poseen una estrategia reproductiva rápida y prolífica, lo cual le permite altas tasas de consumo de residuos orgánicos y sucesivas generaciones.

Se desarrolla bien en ambientes húmedos, sin luz directa, siendo los climas templados ideales para su reproducción. Esta especie puede duplicar su población en un mes con un manejo apropiado. Cada lombriz puede poner un cocón, de donde nacen 1 a 5 lombrices en un período de 14 a 21 días, llegando a su madurez sexual en tres meses aproximadamente. Se reproducen cada 7 días durante toda su vida. La lombriz roja californiana vive muchos años, se reproduce muchas veces en el año y es muy eficiente en transformar los residuos orgánicos en una excelente enmienda orgánica (**Figura 1.9**).

Figura 1.9. Ciclo biológico de *Eisenia foetida*. Fuente: Vargas-Machuca y Domínguez (2011).



Selección del lugar: Se debe ubicar en un sector protegido, para que las lombrices no queden expuestas directamente al sol. Es aconsejable taparlas con una malla negra y bajo techo, para evitar exceso de humedad en períodos de precipitaciones, si no tienen techo tapar con plástico. Para comenzar la producción es necesario hacer una cuna de lombrices, la cual será la base para los posteriores lechos para producir lombricompost.

Establecimiento de la cuna de lombrices: Colocar compost de preferencia o una mezcla de estiércol y aserrín húmedo en el fondo del recipiente. Colocar varias lombrices y observar si se entierran fácilmente. Si se escapan o no se entierran y

mueren, es porque no sirve ese sustrato o porque está muy seco. Si las lombrices entran al sustrato sin problema, se ponen todas las lombrices en la cuna tratando de no alterar el sustrato en el que vienen y se cubre con paja o malla. Se debe mantener siempre húmedo, mediante riegos frecuentes. Despues de 3 meses, puede traspasar las lombrices de la cuna al lecho para producir lombricompost.

Instalación en el lecho: Colocar en el fondo una capa de compost o estiércol maduro y mojar. Poner una o dos lombrices para ver su comportamiento, si penetran al sustrato sin problemas colocar sobre el sustrato todo el núcleo de lombrices y dejarlo tapado y protegido. Si las lombrices se retuercen sin penetrar en el sustrato, revisar que el sustrato esté bien húmedo. Idealmente se debe utilizar material del mismo lecho de donde provienen las lombrices

Alimentación de las lombrices: Se pueden alimentar con diversos tipos de residuos orgánicos, evitando aquellos que se calientan como guano o estiércol fresco, los que se deben dejar 2 a 3 días en descomposición antes de agregarlos al lecho para evitar el daño de las lombrices por el calor.

Cosecha de vermicompost o lombricompost: En 3 a 4 meses ya se puede comenzar a cosechar el producto, dependiendo del manejo que se le ha dado. Para ello se separan las lombrices dejando alimento sólo en un extremo del lecho y humedeciendo solo ese sector durante 4 a 7 días.

Las lombrices migrarán a ese lugar y el lombricompost quedará en condiciones para ser cosechado, con una baja carga de individuos. Otra forma de cosechar es colocando una malla raschel sobre el lecho de las lombrices, se agrega el alimento sobre ésta y después de 7 días se retira la malla con lombrices y el lombricompost queda disponible para ser utilizado.

Para cosechar lombrices se utilizan trampas, colocando alimento dentro de bolsitas de malla, en el interior del lecho y en diferentes puntos, para que en ellas se agrupen las lombrices. Al cabo de una semana se sacan las bolsas con gran cantidad de lombrices.

Aplicación y dosis: El vermicompost es un biofertilizante que se puede utilizar en todo tipo de cultivos y plantas. En la almaciguera mezclado con arena y tierra en partes iguales, en los camellones o camas altas, en los surcos de siembra, en maceteros y en la fuente de árboles frutales o bajo el riego por goteo. Se puede usar mezclado con otros abonos orgánicos, como compost y/o bokashi. **(Figura 1.10).**

Figura 1.10. Lombriz y cocón, dentro del cual se encuentran los huevos de la lombriz.



1.3.1.3. Envasado y almacenaje

El lombricompost cosechado se deja secar al aire por unos días, puede almacenarse durante mucho tiempo en sacos, en un lugar fresco y seco, sin que sus propiedades se vean alteradas, pero es necesario mantenerlas bajo condiciones óptimas de humedad (40%).

Su aplicación, al igual que la del compost, mejoran la fertilidad física, química y biológica, contribuyendo a recuperar suelos degradados y contaminados y elevando los rendimientos de cosecha de los cultivos. El conocimiento acerca de sus capacidades aún es limitado, pero se ha demostrado que permite reducir las poblaciones de hongos patógenos que causan enfermedades radiculares.

1.3.2. Bokashi

El bokashi es una enmienda orgánica que puede ser elaborada fácilmente por agricultores y puede formar parte de las herramientas para el manejo sostenible del suelo. En su preparación se consideran residuos vegetales y animales, que junto con un inóculo microbiano (yogurt, guano, levadura y tierra), promueven la mineralización de la materia orgánica de la mezcla de materias primas, obteniendo un producto final con alto contenido de materia orgánica y nutrientes, en un corto período de tiempo.

Para la elaboración del bokashi existen diferentes tipos de recetas que reemplazan algunos ingredientes de la receta original por insumos locales, es así que, en la actualidad se llama bokashi al sistema de elaboración y no a la receta original

(Ramos *et al.* 2014). El bokashi terminado aporta muchos nutrientes necesarios para estimular el crecimiento y desarrollo de los cultivos, como también microorganismos benéficos. Igual que el compost, la aplicación de bokashi al suelo tiene un efecto progresivo y acumulativo, aumentando el contenido de materia orgánica y mejorando las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Para su elaboración se utilizan materias primas locales, con lo cual, se promueve el uso de prácticas sostenibles (Tilman 2002) y el reciclaje de residuos orgánicos. Además, al elaborarse en un corto período de tiempo puede utilizarse como una alternativa a la aplicación de compost, o bien como una práctica complementaria a éste (**Figura 1.11**).

Figura 1.11. Materias primas para la elaboración de bokashi.



Cuadro 1.1. Insumos para la elaboración de bokashi.

| Insumo | Cantidad |
|---|----------|
| Guano maduro, seco, de preferencia harnereado | 40 kg |
| Tierra de buena calidad harnereada | 40 kg |
| Afrechillo o harinilla o afrecho | 20 kg |
| Yogurt, suero, leche, kéfir (1/4 litro) | 1 litro |
| Levadura seca | 20 g |
| Miel, melaza, azúcar, chancaca o mermelada | 1 taza |

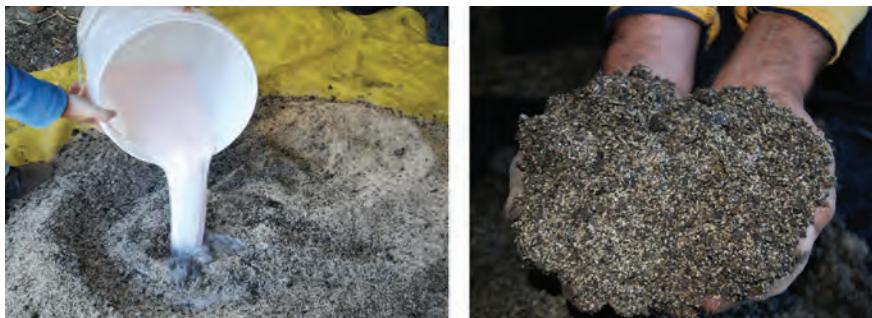
Cuadro 1.2. Proceso para la preparación de bokashi.

| | |
|--------------|--|
| Día 0 | <ul style="list-style-type: none"> · Poner en el piso un plástico de unos 2,5 por 2, 5 m. · Sobre el plástico mezclar bien la tierra, el guano y el afrecho o harinilla o afrecho, simulando a los volteos que se le da a una mezcla de cemento con arena. · Diluir en 20 litros de agua, la miel, melaza, azúcar o mermelada; el yogur, leche o kéfir y la levadura. · Con esta preparación líquida, mojar la mezcla de materiales sólidos mientras se revuelve. · Agregar un poco más de agua, hasta que quede con humedad adecuada de tal forma que al apretar una porción de la mezcla no gotee. Pero, que al abrir la mano mantenga la forma. · Si la humedad no es suficiente, se debe seguir agregando agua como lluvia y revolver. Si por el contrario, la humedad es excesiva, se debe agregar más afrechillo, afrecho o harinilla. · Dejar el material en un montón y tapar con plásticos para evitar pérdida de humedad. |
| Día 1, 2 y 3 | <ul style="list-style-type: none"> · Se debe revolver 3 veces al día (mañana, medio día y tarde), mantener la altura de unos 30 cm y tapar con plástico. · Al segundo día, el olor será similar a la levadura. |
| Día 4, 5 y 6 | <ul style="list-style-type: none"> · Se debe revolver 2 veces al día (mañana y tarde) , mantener una altura a unos 30 cm. |
| Día 7 | <ul style="list-style-type: none"> · Se debe extender el preparado, de manera que pierda algo de humedad y temperatura, a unos 10 cm de altura. |
| Día 8 | <ul style="list-style-type: none"> · La temperatura debe estar baja y la mezcla ha tomado un color gris parejo. Es posible utilizar el producto terminado. |

Adaptado de: Infante, 2011.

También se puede agregar pequeñas cantidades de cáscaras de huevo molidas, carbón molido, cenizas y roca fosfórica.

Figura 1.12. Elaboración de bokashi.



Cuadro 1.3. Características químicas de un bokashi terminado.

| Parámetro evaluado | Contenido |
|-------------------------------|-----------|
| Materia Orgánica % | 36,33 |
| Carbono Orgánico % | 20,20 |
| N total % | 1,33 |
| N Ammoniacal (N-NH4) mg/kg | 2.454,1 |
| N Nítrico (N-NO3) mg/kg | 0,23 |
| Relación C/N | 15,25 |
| Relación Amonio/Nitrato | 10.669,8 |
| Fósforo Soluble mg/kg | 67,50 |
| Potasio Soluble mg/kg | 9.066,3 |
| Calcio Soluble mg/kg | 179 |
| pH | 7,58 |
| Conductividad eléctrica dS/cm | 4,85 |

1.3.2.1. Envasado y almacenaje

Al cabo de 8 días, cuando el bokashi está terminado, se ha enfriado y tiene un color ceniciento, si no se va a utilizar inmediatamente se recomienda almacenar en sacos, en un lugar fresco y seco, a la sombra. Es recomendable usar antes de 3 meses de finalizada su elaboración.

1.3.2.2. Aplicación y dosis

- Se recomienda aplicar en dosis de un kilogramo por metro cuadrado, no más que esa cantidad ya que puede tener niveles altos de conductividad eléctrica.
- Se puede aplicar directamente encima de los camellones, cama alta, surcos de siembra, maceteros y fuentes de árboles frutales ya establecidos, siempre es recomendable incorporarlo.
- Aplicar 15 días antes de la siembra o trasplante, porque puede inhibir la germinación de algunas semillas por la presencia de sales.
- Se puede utilizar en mezcla con suelo, como sustrato al realizar almácigos.

Literatura consultada

- Eyhorn, F., Heeb, M., & Weidmann, G. 2002. IFOAM manual de capacitación en agricultura orgánica para los trópicos: teoría, transparencias y enfoque didáctico. Recopilado por FIBL. 199p.
- Infante, A. 2011. Manual de biopreparados para la Agricultura ecológica. PTO FIA. Chillán, Chile. 203 p.
- Ramos, D., Terry E., Soto, F., Cabrera, J.A. 2014. Bocashi: organic manure elaborated starting from residuals of bananas production in Bocas del Toro, Panama. *Cultivos Tropicales* 35: 90–97. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n2/ctr12214.pdf>
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671–677. doi :10.1038/nature01014.
- Vargas-Machuca, R., y Domínguez, J., 2011. Vermicompostaje. En: Moreno y Moral (eds.). *Compostaje*. Editores mundiprensa. Madrid, España. 570p.

Capítulo 2

Manejo sustentable de la fertilidad del suelo: Recomendaciones para el uso de enmiendas orgánicas

Juan Hirzel C. y Francisco Salazar S.

Las enmiendas orgánicas empleadas en agricultura corresponden a fuentes de materia orgánica de origen animal y vegetal, dentro de las cuales se encuentran los guanos en estado fresco, semi-compostado, estabilizado, guanos fosilizados, compost, humus, abonos verdes, residuos de cultivos, residuos de madera de la industria forestal (aserrín, viruta, corteza), lodos de agroindustrias o de ciudades, o combinaciones de algunas de estas fuentes. Estas enmiendas aportan materia orgánica en cantidad y calidad, y nutrientes esenciales para los suelos agrícolas, lo cual contribuye a aumentar la fertilidad de los suelos y la productividad de los cultivos.

2.1. Uso de enmiendas orgánicas

Para el uso correcto de estas enmiendas orgánicas se debe considerar los siguientes aspectos:

- Composición nutricional, principalmente para no exceder las necesidades de nutrientes, en especial nitrógeno (N), fósforo (P) o potasio (K), de las especies cultivadas, y así evitar riesgos de contaminación ambiental asociada a la aplicación o dinámica de disponibilidad de estos nutrientes.
- Presencia de microelementos, metales pesados y biodisponibilidad de éstos, que pueden limitar la dosis a utilizar.
- Considerar restricciones por carga microbiológica, ajustándose a normativas nacionales o internacionales.
- Contenido de humedad, para evitar problemas asociados a la dificultad de aplicación o de almacenaje de estas enmiendas.
- Época de aplicación de la enmienda, para evitar efectos negativos asociados a aplicaciones cercanas a las fechas de siembra, inicio de crecimiento de raíces

en frutales y especies perennes, o cercanas a períodos de cosecha en frutales. Considerar también los mayores potenciales de pérdidas de nutrientes en algunas épocas del año (por ejemplo, lixiviación de nitrógeno en invierno).

- Aplicación incorporada o aplicación en cobertura sin incorporar, con el fin de ajustarse a la realidad de cada sistema de producción y a la vez reducir las posibles pérdidas de nutrientes por volatilización (N y azufre (S)) asociadas a aplicaciones en cobertura sin incorporar, con condiciones de viento y temperatura alta.
- Uso de fertilización adicional, con el objetivo de no exceder las necesidades nutricionales del cultivo, y así evitar riesgos de contaminación ambiental asociado a aplicaciones excesivas de nitrógeno y en algunos casos fósforo (**Figura 2.1**).

Figura 2.1. Pila de compost terminado previo a su uso en el campo.



2.1.1. Composición nutricional de las enmiendas orgánicas

En general las enmiendas orgánicas contienen los elementos esenciales para las plantas cultivadas, pero en proporciones nutricionales diferentes a las necesarias por dichas plantas, y aplicadas en dosis apropiadas permiten lograr los mismos rendimientos que se obtienen con el uso de fertilizantes convencionales. Dentro de los nutrientes aportados por estas enmiendas, el N tiene el mayor riesgo de daño medioambiental asociado a una mala dosificación, ya que aplicado en dosis mayores a las necesidades del cultivo, puede contaminar el agua superficial, subterránea y el aire. Otro nutriente que en algunos casos presenta riesgo de contaminación ambiental es el P, ya que en bajas dosis puede causar problemas serios de contaminación en aguas superficiales y/o subterráneas.

La atención se centra en la dosis de N a emplear, dado que las situaciones en las cuales existe un riesgo de contaminación por P son bajas, y además la fijación de este nutriente en el suelo es en general alta (60–98% del P total aplicado), excepto en zonas con pendiente y riesgos de escorrentía asociados al uso de altas dosis de P.

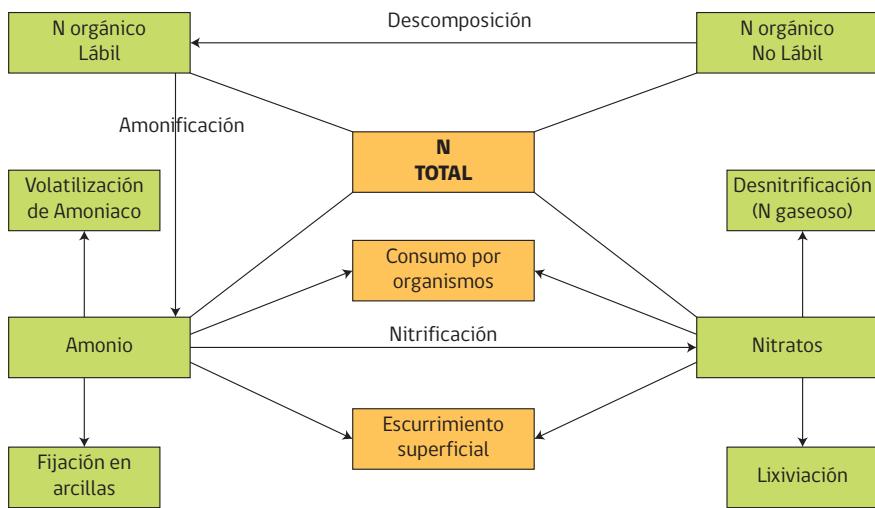
En general, el contenido de nutrientes en las enmiendas orgánicas es bajo (**Cuadro 2.1**). Sin embargo debido a los grandes volúmenes generados, estos pasan a constituirse en un importante recurso de nutrientes para el suelo. Este contenido de nutrientes se divide en una fracción orgánica y una soluble o disponible, siendo ésta última la de rápida disponibilidad para su absorción por las plantas. Cuando se consideran estas dos fracciones se habla de nutrientes totales. Por lo tanto, si comparamos fertilizantes comerciales con enmiendas orgánicas, hay que tener presente la distinta disponibilidad de sus nutrientes, y cuya disponibilidad varía de acuerdo a distintos factores en las enmiendas orgánicas (sistema de manejo, tipo de camas, sistema de almacenamiento, entre otros) y tipo de nutriente. Por ejemplo, en el caso del Potasio (K) este nutriente se encuentra 100% disponible en purines de lechería, pudiendo fácilmente ser utilizados por las plantas, pero dosis excesivas pueden causar problemas al afectar la absorción de magnesio, lo que se puede manifestar como hipomagnesemia en vacas lecheras pastoreando praderas que han sido fertilizadas con esta enmienda orgánica.

Los nutrientes N y P de una enmienda se presentan principalmente en formas orgánicas, como ureidos, proteínas, fitatos, entre otros. La forma orgánica de los nutrientes debe ser transformada a formas solubles para su uso por las plantas, lo que ocurre naturalmente una vez que son aplicados al suelo a través de la mineralización (transformación biológica desde la fracción orgánica a inorgánica)

Cuadro 2.1. Composición nutricional de diversas enmiendas orgánicas existentes en Chile. Las concentraciones de materia orgánica (MO) y nutrientes están expresadas en base a peso seco.

| Parámetro determinado | Guano Broiler (n = 30) | Guano de pavo (n = 10) | Guano de pavo madurado (n = 10) | Bioestabilizado de cerdo (n = 20) | Purín bovino (n=102) | Estiércol de bovino (n=10) | Compost de residuos vegetales (n = 8) | Humus de lombriz (n = 3) |
|-----------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Humedad (%) | 19 - 43 | 15 - 50 | 24 - 50 | 10 - 45 | 97,0 | 75,8 | 11 - 60 | 60 - 80 |
| pH | 6,9 - 9,1 | 5,3 - 7,4 | 5,6 - 8,2 | 6,8 - 8,6 | 7,3 | 8,0 | 6,1 - 8,5 | 7,4 - 8,1 |
| CE (dS/m) | 6,0 - 16,0 | 7,7 - 18,2 | 10,0 - 18,2 | 3,2 - 13,4 | 35,7 | 3,0 | 0,28 - 0,88 | 3,0 - 6,7 |
| MO (%) | 65 - 70 | 64 - 85 | 66 - 83 | 41 - 60 | 66,1 | 62,0 | 20 - 60 | 70 - 80 |
| Relación C/N | 6,6 - 16,7 | 90 - 128 | 8,1 - 16 | 8,8 - 20,6 | 0,9 | 16,6 | 12 - 30 | 20 - 28 |
| C total (%) | 43 - 44 | 36 - 47 | 31 - 41 | 26 - 41 | 4,3 | 34,4 | 11 - 34 | 40 - 47 |
| N total (%) | 2,1 - 3,7 | 3,3 - 4,4 | 2,3 - 4,5 | 1,5 - 3,4 | 8,23 | 2,16 | 0,8 - 1,7 | 1,5 - 1,8 |
| N amoniácal (%) | 0,31 - 0,65 | 0,6 - 1,3 | 0,4 - 1,5 | 0,7 - 1,3 | 2,96 | 0,42 | 4*10-5 - 9*10-4 | 10*10-3 |
| N nítrico (%) | 0,3 - 0,65 | 0,05 - 0,15 | 0,06 - 0,5 | 0,01 - 0,05 | 0,08 | S/inf | 18*10-4 - 3*10-2 | 0,12 |
| P total (%) | 0,81 - 2,25 | 1,7 - 3,1 | 2,05 - 3,88 | 2,27 - 3,78 | 0,88 | 0,63 | 0,31 - 0,4 | 1,0 - 1,4 |
| K total (%) | 1,2 - 3,7 | 2,5 - 3,4 | 3,1 - 3,6 | 1,0 - 2,0 | 5,00 | 2,13 | 0,21 - 0,41 | 0,08 - 0,12 |
| Ca total (%) | 1,3 - 3,1 | 4,4 - 7,5 | 4,8 - 7,9 | 3,2 - 6,4 | 184 | 138 | 1,1 - 1,75 | 2,0 - 2,5 |
| Mg total (%) | 0,33 - 0,65 | 0,65 - 1,25 | 1,0 - 1,47 | 0,96 - 1,88 | 0,82 | 0,49 | 0,38 - 1,17 | 0,25 - 0,35 |
| Na total (%) | 0,23 - 0,78 | 0,18 - 0,28 | 0,18 - 0,78 | 0,13 - 0,65 | 1,21 | 0,28 | 0,05 - 0,16 | 0,6 - 1,0 |
| S total (%) | 0,2 - 0,4 | 0,3 - 0,6 | 0,3 - 0,6 | 0,18 - 0,98 | 0,56 | 0,38 | S/inf. | S/inf. |

Figura 2.2. Ciclo del N en el suelo post aplicación de la cama de broiler. (Adaptado de Sims y Wolf, 1994).



de estos nutrientes. Un ejemplo de las fracciones de N dentro de una enmienda orgánica en estado fresco (cama de broiler) se presenta en la **Figura 2.2**. Otros importantes nutrientes como potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), sodio (Na) y micronutrientes como hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B) y molibdeno (Mo), presentan una liberación similar a la observada con el uso de fertilizantes convencionales. Estos macro y micronutrientes son importantes en la nutrición de plantas y hacen de las enmiendas orgánicas una fuente importante y completa de éstos. Sin embargo también es importante considerar que el uso en altas dosis o en años sucesivos, podría causar acumulación de algunos de ellos en el suelo, pudiendo generar desbalances y limitar la producción de praderas y/o cultivos.

En una forma práctica, el N de las enmiendas orgánicas puede ser dividido en cuatro fracciones:

1. N inorgánico, normalmente en su forma de amonio (NH_4^+), el cual puede ser utilizado directamente por varios cultivos, transformado a nitrato (NO_3^-) disponible para las plantas, o perderse al ambiente.
2. N orgánico rápidamente mineralizable, principalmente como urea que es fácilmente transformada a NH_4^+ .

3. N orgánico mineralizable a mediano plazo, como compuestos nitrogenados que son mineralizados por microorganismos del suelo en pocos meses.
4. N orgánico de lenta mineralización, como complejos orgánicos que son resistentes a la descomposición microbiana y que pueden tomar años para ser mineralizados.

En el mismo contexto, los resultados experimentales para la mineralización del N orgánico contenido en las enmiendas orgánicas, indican que esta mineralización en muchos casos puede ser representada con ecuaciones matemáticas simples, según se indica en la ecuación 1.

Ecuación 1:

$$\text{N total} = \text{N inorgánico inicial} + (\text{N orgánico inicial} * \text{Tasa de mineralización})$$

| | | | |
|-------------|---------|---------|---------------|
| (kg/ha/año) | (kg/ha) | (kg/ha) | valor decimal |
|-------------|---------|---------|---------------|

Donde: kg/ha/año = kilogramos por hectárea al año
 kg/ha = kilogramos por hectárea

La cantidad de N inorgánico inicial se obtiene desde el análisis de la enmienda orgánica y corresponde a la suma del N en la forma de amonio (N-NH_4^+) y nitrato (N-NO_3^-). Esta suma normalmente viene expresada en porcentaje, por lo cual la cantidad de N inorgánico se obtiene con la ecuación 2.

Ecuación 2:

$$\text{N inorgánico} = \text{Dosis de enmienda} * \text{materia seca} * (\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-) * 1000$$

| | | | |
|---------|--------|---------|---------|
| (kg/ha) | (t/ha) | (%/100) | (%/100) |
|---------|--------|---------|---------|

Las tasas de mineralización para las principales enmiendas orgánicas usadas en agricultura se indican en el **Cuadro 2.2**.

Dada la alta variación cualitativa obtenida en la caracterización de las diferentes enmiendas orgánicas (compuestos orgánicos), para la aplicación de la ecuación planteada es necesario contar con un análisis inicial de la enmienda a utilizar que indique el contenido de N total, orgánico e inorgánico (amonio + nitrato).

Por ejemplo, si se aplican 12 toneladas (t) por hectárea de cama de broiler en estado fresco, con un contenido de humedad de 30%, N total de 3% y N inorgánico de 0,5%, entonces el N total aportado con la aplicación incorporada de la cama

Cuadro 2.2. Tasas de mineralización de N orgánico en diferentes enmiendas orgánicas durante la misma temporada de aplicación.

| Enmienda orgánica | Tasa de mineralización de N orgánico de diferentes enmiendas orgánicas durante el primer año de aplicación (%) |
|-----------------------------|--|
| Humus | 10 - 20 |
| Compost | 15 - 40 |
| Bioestabilizado de cerdo | 40 - 50 |
| Guano de bovinos de engorda | 40 - 50 |
| Guanos de broiler y pavo | 60 - 70 |
| Guano de cerdo | 60 - 70 |
| Purines de cerdo | 90 - 95 |

Fuente: Adaptado de Hartz *et al.*, 2000; Hirzel, 2007; Hirzel *et al.*, 2007b; Hirzel *et al.*, 2010; Hirzel y Salazar, 2011; Hirzel, 2014; Laos *et al.*, 2000; Preusch *et al.*, 2002; Redman *et al.*, 1989; Rogers *et al.*, 2001; Tyson y Cabrera, 1993; Whalen *et al.*, 2000.

broiler sería el siguiente. Utilice las ecuaciones 1 y 2, considerar un 65% de tasa de mineralización del N orgánico. (**Cuadro 2.2**):

8.400 kg de materia seca (12 t * 0,70 * 1.000 kg/t).

N orgánico = 2,5% (3% - 0,5%)

N total (kg/ha/año) = N inorgánico inicial (kg/ha) + N orgánico inicial (kg/ha) * 0,65

N total (kg/ha/año) = 8.400 * 0,005 + 8.400 * 0,025 * 0,65

$$= 178,5 \text{ kg/ha.}$$

Por su parte, la mineralización del P orgánico sigue un patrón similar a la indicada para el N orgánico ya que los procesos involucrados en su mineralización son similares a los que afectan al N. Sin embargo, al usar compost de cualquier naturaleza, la mineralización del P orgánico es favorecida por la actividad enzimática fosfatasa asociada al crecimiento de biomasa del suelo y a los factores benéficos generados por el incremento en la actividad microbiana del suelo, lo cual se puede traducir en aportes de P netos mayores que la cantidad aplicada con la enmienda orgánica.

Además del aporte de nutrientes en la misma temporada de aplicación de una enmienda orgánica, también se genera un aporte residual de N para la temporada siguiente, el cual comprende entre el 10 a 15% del N total aplicado. Por lo tanto, cuando se usan enmiendas orgánicas todas las temporadas, la dosis de esta enmienda debe reducirse dado el aporte residual de nitrógeno que comienza a ser acumulativo en el tiempo, llegando a una dosis equivalente al 85 o 90% del N disponible necesario para el cultivo que se desee fertilizar.

Para el caso de enmiendas orgánicas de origen animal, la composición nutricional de un mismo tipo de enmienda es variable debido principalmente a los siguientes factores:

- Tipo, categoría y raza animal.
- Dieta suministrada.
- Suplementos usados en la dieta.
- Tipo de cama utilizada (cuando se usa material de cama).
- Manejo y condiciones de almacenamiento de los residuos.
- Tratamiento.

Considerando la composición nutricional promedio y las dinámicas de entrega de nutrientes de diferentes enmiendas orgánicas presentes en Chile y de fácil acceso a los agricultores, en los **Cuadros 2.3; 2.4; 2.5 y 2.6** se presentan dosis referenciales de uso de enmiendas orgánicas para frutales y vides, hortalizas, cultivos, y praderas, respectivamente. Estas dosis referenciales están basadas en las necesidades de N para un rango de rendimiento definido, cuidando de suplir las necesidades de N y de la totalidad o mayoría de los otros nutrientes, y de evitar riesgos de contaminación ambiental asociadas a la generación de una sobre dosis de N disponible (N que se hace disponible derivado de la enmienda en el ciclo de cultivo > necesidad de N de la especie vegetal cultivada).

En el caso de especies frutales, hortalizas de fruto como tomate, y cultivos como la papa, se debe considerar el uso complementario de K dado el alto consumo de este nutriente por dichas especies. Del mismo modo, en el caso de algunos cultivos anuales como la papa y remolacha, que presentan una alta respuesta a la fertilización fosforada, se puede considerar el uso complementario de P al momento de siembra, en función del contenido de P disponible del suelo (P Olsen)

Cuadro 2.3. Dosis referenciales de enmiendas orgánicas a emplear en frutales y vides en etapa de plena producción en función de su necesidad de N (kg de N a aplicar por tonelada producida).

| Especie | Rendimiento (t/ha) | N (kg/t) | Dosis referencial de enmiendas orgánicas (t/ha) | | |
|---------------|-----------------------|-------------|---|-------------------|------------|
| | | | Estado fresco* | Semi-compostado** | Compost*** |
| Vid para vino | 5 - 20 | 4 - 5 | 2 - 6 | 3 - 8 | 4 - 12 |
| Uva de mesa | 20 - 40 | 3 - 3,5 | 5 - 10 | 7 - 13 | 10 - 20 |
| Manzano verde | 50 - 100 | 0,6 - 0,8 | 5 - 10 | 7 - 13 | 10 - 20 |
| Manzano rojo | 50 - 80 | 0,4 - 0,6 | 3 - 5 | 4 - 7 | 6 - 10 |
| Peral | 30 - 70 | 2,5 - 3 | 7 - 10 | 10 - 13 | 14 - 20 |
| Naranjo | 40 - 70 | 2,5 - 3 | 5 - 12 | 7 - 15 | 10 - 24 |
| Limón | 30 - 60 | 3 - 3,5 | 5 - 12 | 7 - 15 | 10 - 24 |
| Kiwi | 30 - 60 | 2 - 3 | 5 - 12 | 7 - 15 | 10 - 24 |
| Nogal | 4 - 8 | 20 - 35 | 6 - 12 | 8 - 15 | 12 - 24 |
| Cerezo | 6 - 15 | 4 - 6 | 2 - 8 | 3 - 10 | 4 - 16 |
| Ciruelo | 10 - 40 | 4 - 6 | 6 - 12 | 8 - 15 | 12 - 24 |
| Duraznero | 20 - 40 | 4 - 5 | 8 - 12 | 10 - 15 | 16 - 24 |
| Damasco | 15 - 25 | 5 - 6 | 6 - 10 | 8 - 13 | 12 - 20 |
| Palto | 6 - 15 | 8 - 12 | 6 - 12 | 8 - 15 | 12 - 24 |
| Frambueso | 10 - 15 | 8 - 10 | 5 - 8 | 7 - 10 | 10 - 16 |
| Arándano | 10 - 30 | 3 - 6 | 3 - 5 | 5 - 7 | 6 - 12 |
| Frutilla | 30 - 60 | 2 - 3 | 5 - 8 | 7 - 10 | 10 - 16 |

Nota: la dosis máxima está limitada por restricciones microbiológicas y/o por normativas y regulaciones ambientales nacionales o internacionales.

* Guanos de gallina, broiler y pavo con cama de viruta, aserrín, capotillo, paja u otro de alta relación C/N (residuos forestales y vegetales).

** Guanos de cerdo, vacuno, aves, mezclado con residuos forestales y/o agrícolas, y guanos fosilizados.

*** Compost de residuos y/o subproductos vegetales, compost de mezcla de subproductos animales y vegetales.

Cuadro 2.4. Dosis referenciales de enmiendas orgánicas a emplear en hortalizas en función de su necesidad de N (kg de N a aplicar por tonelada producida).

| Especie | Rendimiento (t/ha) | N (kg/t) | Dosis referencial de enmiendas orgánicas (t/ha) | | |
|------------------|-----------------------|-------------|---|-------------------|------------|
| | | | Estado fresco* | Semi-compostado** | Compost*** |
| Coliflor | 25 - 40 | 5 - 7 | 6 - 12 | 8 - 15 | 12 - 24 |
| Poroto Verde | 8 - 12 | 6 - 7 | 3 - 5 | 4 - 7 | 6 - 10 |
| Endivia | 10 - 30 | 5 - 7 | 4 - 6 | 5 - 8 | 8 - 12 |
| Achicoria | 30 - 60 | 3 - 3,5 | 4 - 8 | 5 - 10 | 8 - 16 |
| Arveja | 8 - 14 | 6 - 8 | 4 - 5 | 5 - 7 | 8 - 10 |
| Pepino | 20 - 50 | 3 - 4 | 4 - 10 | 5 - 13 | 8 - 20 |
| Zapallo Guarda | 60 - 100 | 1,5 - 2 | 5 - 10 | 7 - 13 | 10 - 20 |
| Acelga | 30 - 40 | 2,5 - 3 | | 4 - 7 | 6 - 10 |
| Zanahoria | 30 - 80 | 2,5 - 3 | 4 - 8 | 5 - 10 | 8 - 16 |
| Perejil | 30 - 50 | 2,5 - 3 | | 4 - 8 | 6 - 12 |
| Puerro | 20 - 60 | 3 - 3,5 | 4 - 8 | 5 - 10 | 8 - 16 |
| Rabanitos | 10 - 30 | 5 - 6 | 3 - 6 | 4 - 8 | 6 - 12 |
| Nabo | 10 - 25 | 5 - 6 | 3 - 6 | 4 - 8 | 6 - 12 |
| Repollo Bruselas | 10 - 30 | 8 - 10 | | 7 - 13 | 10 - 20 |
| Betarraga | 30 - 60 | 4 - 5 | 5 - 10 | 7 - 13 | 10 - 20 |
| Repollo Morado | 30 - 60 | 3 - 4 | | 7 - 10 | 10 - 16 |
| Lechuga | 20 - 60 | 2,5 - 3 | | 4 - 7 | 6 - 10 |
| Ciboulette | 30 - 70 | 3 - 4 | 5 - 10 | 7 - 13 | 10 - 20 |
| Apio | 20 - 60 | 4 - 5 | 5 - 10 | 7 - 13 | 10 - 20 |
| Espinaca | 10 - 30 | 4 - 5 | | 7 - 13 | 10 - 20 |
| Tomate | 50 - 100 | 2,5 - 3 | 8 - 12 | 10 - 15 | 16 - 24 |
| Repollo Blanco | 30 - 100 | 3 - 3,5 | | 8 - 15 | 12 - 24 |
| Cebolla | 25 - 50 | 3 - 3,5 | 6 - 10 | 8 - 13 | 12 - 20 |
| Ajo | 25 - 40 | 3 - 3,5 | 6 - 8 | 8 - 10 | 12 - 16 |
| Brócoli | 10 - 20 | 10 - 12 | | 8 - 15 | 12 - 24 |

Nota 1: la dosis máxima está limitada por restricciones microbiológicas y/o por normativas y regulaciones ambientales nacionales internacionales.

Nota 2: para la producción de hortalizas cosechadas a ras de piso no se debe emplear Guano fresco de ningún tipo.

Para el caso de enmiendas frescas existen restricciones para la aplicación en hortalizas de hoja y otros cultivos y se deben respetar períodos de carencia.

* Guanos de gallina, broiler y pavo con cama de viruta, aserrín, capotillo, paja u otro de alta relación C/N (residuos forestales y vegetales).

** Guanos de cerdo, vacuno, aves, mezclado con residuos forestales y/o agrícolas, y guanos fosilizados.

*** Compost de residuos y/o subproductos vegetales, compost de mezcla de subproductos animales y vegetales.

Cuadro 2.5. Dosis referenciales de enmiendas orgánicas a emplear en cultivos en función de su necesidad de N (kg de N a aplicar por quintal producido).

| Cultivo | Rendimiento (qq/ha) | N (kg/qq) | Dosis referencial de enmiendas orgánicas (t/ha) | | |
|-----------------|------------------------|--------------|---|-------------------|------------|
| | | | Estado fresco* | Semi-compostado** | Compost*** |
| Arroz | 40 - 80 | 1,2 - 1,5 | 3 - 6 | 4 - 8 | 6 - 12 |
| Arvejas | 10 - 30 | 4 - 6 | 4 - 6 | 5 - 7 | 8 - 12 |
| Avena | 40 - 60 | 2,5 - 2,8 | 6 - 8 | 8 - 10 | 12 - 16 |
| Cebada | 50 - 70 | 2,2 - 2,5 | 4 - 6 | 5 - 8 | 8 - 12 |
| Frejoles | 10 - 30 | 3 - 3,5 | 3 - 5 | 4 - 6 | 6 - 10 |
| Garbanzos | 6 - 20 | 0 - 4 | 0 - 2 | 0 - 3 | 0 - 4 |
| Lentejas | 6 - 20 | 0 - 4 | 0 - 2 | 0 - 3 | 0 - 4 |
| Maíz | 120 - 200 | 2,2 - 2,5 | 10 - 15 | 13 - 20 | 20 - 30 |
| Maravilla | 30 - 50 | 4 - 5 | 6 - 10 | 8 - 13 | 12 - 20 |
| Papas tardías | 400 - 700 | 0,3 - 0,4 | 6 - 8 | 8 - 10 | 12 - 16 |
| Papas tempranas | 300 - 600 | 0,3 - 0,4 | 5 - 6 | 6 - 8 | 10 - 12 |
| Raps - Canola | 25 - 40 | 4 - 6 | 5 - 8 | 6 - 10 | 10 - 16 |
| Remolacha | 800 - 1200 | 0,15 - 0,2 | 5 - 8 | 6 - 10 | 10 - 16 |
| Tabaco | 30 - 50 | 4 - 5 | 6 - 8 | 8 - 10 | 12 - 16 |
| Trigo Pan | 40 - 120 | 2,6 - 3,2 | 6 - 10 | 8 - 13 | 12 - 20 |
| Trigo candeal | 60 - 100 | 3,2 - 3,4 | 8 - 11 | 10 - 14 | 16 - 22 |

Nota: la dosis máxima está limitada por restricciones microbiológicas y/o por normativas y regulaciones ambientales nacionales e internacionales.

* Guanos de gallina, broiler y pavo con cama de viruta, aserrín, capotillo, paja u otro de alta relación C/N (residuos forestales y vegetales).

** Guanos de cerdo, vacuno, aves, mezclado con residuos forestales y/o agrícolas, y guanos fosilizados.

*** Compost de residuos y/o subproductos vegetales, compost de mezcla de subproductos animales y vegetales.

qq = quintal métrico (100 kg).

Cuadro 2.6. Dosis referenciales de enmiendas orgánicas a emplear en praderas en función de su necesidad de N (kg de N a aplicar por tonelada producida).

| Pradera | Rendimiento (t/ha) | N (kg/ton) | Dosis referencial de enmiendas orgánicas (t/ha) | | |
|-----------------|-----------------------|---------------|---|-------------------|------------|
| | | | Estado fresco* | Semi-compostado** | Compost*** |
| Gramíneas | 10 - 15 | 1,2 - 2,0 | 2 - 4 | 3 - 5 | 4 - 8 |
| Leguminosas**** | 10 - 20 | 0 | 2 - 3 | 2 - 3 | 2 - 3 |
| Mixtas**** | 10 - 15 | 0,2 - 0,4 | 2 - 3 | 2 - 3 | 2 - 3 |

Nota: la dosis máxima está limitada por restricciones microbiológicas y/o por normativas y regulaciones ambientales nacionales o internacionales.

* Guanos de gallina, broiler y pavo con cama de viruta, aserrín, capotillo, paja u otro de alta relación C/N (residuos forestales y vegetales).

** Guanos de cerdo, vacuno, aves, mezclado con residuos forestales y/o agrícolas, y guanos fosilizados.

*** Compost de residuos y/o subproductos vegetales, compost de mezcla de subproductos animales y vegetales.

**** La aplicación de enmiendas orgánicas en praderas de leguminosas y en praderas mixtas se realiza con el fin de aportar fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y micronutrientes, como también actuar como enmienda orgánica de suelos.

La aplicación de enmiendas orgánicas al suelo, además de ser un aporte de nutrientes para los cultivos, genera los siguientes beneficios:

- Mejora la estructura del suelo y la estabilidad de los agregados.
- Mejora la porosidad, la retención de agua y movimiento de agua y oxígeno.
- Mejora la resistencia a la erosión.
- Aumenta la vida benéfica del suelo (biomasa del suelo).
- Aumenta las reservas de nutrientes.

Cuando el objetivo de aplicar una enmienda orgánica es mejorar la materia orgánica del suelo, la dosis de aplicación de esta enmienda se determina en función de ciertos factores que se detallan a continuación:

1. El contenido de materia orgánica del suelo medido a distintas profundidades. Por ejemplo, 0-10 cm en praderas, 0-20 cm en cultivos anuales y hortalizas; y, 0-30 cm en frutales y viñas.
2. Conocer la densidad aparente del suelo, la que se puede obtener por análisis físico o descripción del tipo o serie de suelo.

3. También debe conocer el porcentaje de humedad de la enmienda orgánica (Cuadro 2.1).
4. Porcentaje de aumento en el contenido de materia orgánica que se pretende conseguir con la aplicación de la enmienda orgánica. En este punto es importante considerar un enfoque técnico/económico con programas de aplicaciones paulatinas de dosis moderadas a través del tiempo, ya que resultaría bastante costoso aplicar dosis altas de cualquier enmienda orgánica.
5. Una vez que obtenida esta información se emplea las ecuaciones 3 y 4:

Ecuación 3:

| | |
|------------------------------------|--|
| Dosis de MO a aplicar (t/ha) | $= \frac{(\text{MO a subir} (\%) * \text{DA} (\text{g/cm}^3) * \text{PDM} (\text{cm}))}{0,33 (\text{Ef})}$ |
|------------------------------------|--|

Donde: MO = materia orgánica.

DA = densidad aparente del suelo.

PDM = profundidad de muestreo de suelo en que se determinó el contenido de materia orgánica.

Ef = 1/3 de lo aplicado que es la eficiencia de incorporación neta de la materia orgánica agregada al suelo.

Ecuación 4:

| | |
|---------------------------|--|
| Dosis de EMO (t/ha) | $= \frac{\text{Dosis MO a aplicar (t/ha)} * 10.000}{\% \text{ de MO en la EMO a utilizar} * (100 - \% \text{H}^\circ \text{ en EMO})}$ |
|---------------------------|--|

Donde: MO = materia orgánica.

EMO = enmienda orgánica.

%H^o = porcentaje de humedad de la enmienda a utilizar.

10.000 = factor de corrección de unidades.

Por ejemplo, para subir el contenido de materia orgánica de un suelo del secano interior desde 2% hasta 2,2%, en los primeros 20 cm del suelo y considerando una densidad aparente de 1,2 g/cc, la dosis de un guano fresco (70% de materia orgánica y 30% de humedad) sería de 29,7 t/ha (30 t/ha). Esta dosis es muy alta para cualquiera de las especies cultivadas en Chile, pudiendo generar algún daño en el cultivo por exceso de N y con riesgo de contaminación ambiental. Como

referencia, el uso de 30 t/ha de guano fresco puede generar un aporte real de N desde 330 a 660 kg/ha (promedio 495), lo cual puede superar la necesidad del cultivo más exigente en N que es el maíz (necesidad de fertilización desde 300 a 450 kg N/ha para diferentes ambientes dentro de Chile, considerando ya los aportes del suelo). Por tanto, para esta situación se sugiere realizar aplicaciones paulatinas en el tiempo, es decir, todos los años en dosis moderadas que fluctúen entre 10 y 15 t/ha y que se ajusten a la necesidad de nutrientes del cultivo que prosigue.

Otra alternativa de uso de enmiendas orgánicas en alta dosis se puede generar cuando al aplicar junto a la incorporación de residuos de cereales, donde el aporte de N de la MO contribuye a estimular la descomposición del residuo. En este aspecto, como dosis referencial se puede indicar que la aplicación de 1 t de guanos frescos (11 - 22 kg de N de aporte real, según tipo de guano y composición nutricional) puede contribuir a la descomposición de 1 a 2 t de residuo de cereal (considerando un consumo de 10 kg de N como aporte externo por cada 1 t de residuo de cereal incorporado). Del mismo modo, la aplicación de 1 t de guanos semicompostados (8 - 15 kg de N de aporte real, según tipo de enmienda y composición nutricional) puede contribuir a la descomposición de 0,8 a 1,5 t de residuo de cereal. En el mismo contexto, la aplicación de 1 t de compost (6 - 11 kg de N de aporte real, según tipo de compost y composición nutricional) puede contribuir a la descomposición de 0,6 a 1,1 t de residuo de cereal.

Como ejemplo, si un productor de trigo quiere incorporar 6 t/ha de residuo usando un guano semicompostado, debería aplicar aproximadamente 5 t de esta enmienda orgánica, incorporada junto con el residuo. En otro ejemplo, si un productor de maíz quiere incorporar 10 t/ha de residuo usando un guano fresco, debería aplicar 6 t de esta enmienda orgánica, incorporada junto con el residuo. En ambos casos se considera que se cuenta con la maquinaria y técnica de incorporación adecuada.

2.1.2. Época de aplicación de la enmienda orgánica

El momento de aplicación de la enmienda orgánica dependerá de la especie vegetal con la cual se esté trabajando.

Para cultivos anuales, hortalizas anuales, establecimiento de praderas, plantación de frutales y vides, la época de aplicación de la enmienda orgánica debe ser entre 7 y 15 días previo a la siembra, establecimiento o plantación (incorporado con rastraje), de manera tal de reducir las pérdidas gaseosas de N y S asociadas a aplicaciones muy tempranas, y también reducir el riesgo de daño por aplicaciones muy cercanas a la siembra, y que se asocian a una deficiente distribución o mala

incorporación de las enmiendas orgánicas, quedando zonas con alta concentración de nutrientes, equivalente a una mezcla de fertilizante aplicada con mala regulación de máquina. Cabe destacar que en el caso de hortalizas se recomienda el uso de enmiendas compostadas para cumplir normas sanitarias.

Para praderas permanentes, la época adecuada de aplicación corresponde al período de mayor crecimiento, previo a un rezago o después de un corte o pastoreo, siendo ideal a fines de invierno o inicios de primavera, de manera de contar con período de lluvia y humedad en el suelo que facilite la solubilización e incorporación natural de la enmienda orgánica en la primera capa de suelo. Los crecimientos de invierno son más lentos, reduciendo la necesidad nutricional en ese período y dando tiempo para que los nutrientes aportados con la enmienda orgánica se incorporen al suelo y queden disponibles a las raíces.

Para frutales y viñedos establecidos, como también para hortalizas perennes, la aplicación de la enmienda orgánica debe realizarse en otoño, período en el cual existe baja o nula necesidad nutricional (dando tiempo para que se incorporen al suelo los nutrientes aportados por la enmienda orgánica), baja o nula tasa de

Figura 2.3. Aplicación de guano de broiler en otoño en huerto de manzano.



crecimiento de raíces (no hay riesgo de daño del sistema radical por aportes de nutrientes con reacción salina), y período de baja temperatura ambiental y alta presión atmosférica, lo cual reduce la volatilidad de los gases y los malos olores asociados a la aplicación de algunas enmiendas orgánicas sin posibilidad de incorporación. Además, cuando se sincroniza la aplicación de la enmienda orgánica con el período de caída de hojas en frutales de hoja caduca y vides (fines de otoño e inicios de invierno), o en el período de caída de hojas de frutales de hoja persistente, se genera una mezcla de la enmienda con las hojas, capturando nutrientes en el proceso de descomposición de las hojas (filtro biológico), y acelerando la tasa de descomposición de estas hojas. Por otra parte, la aplicación de enmiendas orgánicas en frutales y vides debe realizarse al menos 4 meses previo a iniciar la cosecha, según se exige en las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). En el caso de suelos arenosos las aplicaciones de invierno podrían generar lixiviación de nutrientes.

2.1.3. Aplicación incorporada o aplicación en cobertura sin incorporar

La incorporación de enmiendas orgánicas se realizará en función del cultivo para el cual se efectuará la aplicación.

En el caso de cultivos anuales, hortalizas anuales, establecimiento de praderas, plantación de frutales y vides, se recomienda aplicar la enmienda orgánica incorporándola durante la preparación de suelos utilizando el último o últimos rastrajes.

En el caso de frutales, vides y hortalizas perennes ya establecidas, la aplicación de la enmienda puede ser más difícil. Una forma de adecuar su incorporación en frutales y vides es usando surcos laterales en los cuales se aplica la enmienda, para luego ser cubierto con el suelo removido. También se puede realizar incorporación usando una rastra de trabajo superficial. Otra opción a usar en frutales y vides es la aplicación en cobertura previo a la caída de hojas, donde las hojas que van cayendo generan el efecto de "filtro biológico" que evita la generación de gases volátiles o compuesto de mal olor y además atrapa nutrientes que se podían haber perdido en la forma gaseosa.

En el caso de praderas establecidas no se puede realizar la incorporación de enmiendas orgánicas sólidas. Para enmiendas líquidas el uso de inyectores permite incorporarlas en suelos a profundidades entre 10 y 50 cm dependiendo del tipo de inyector a utilizar. Estos equipos han sido utilizados en otros países para reducir la volatilización de amoníaco y olores, permitiendo hacer un uso más eficiente del nitrógeno aplicado.

Figura 2.4. Aplicación de guano de vacuno en cobertura sobre una pradera sometida a corte.



Figura 2.5. Aplicación de guano broiler en cobertura sobre el camellón de un huerto de manzano.



2.1.4. Uso de fertilización adicional

La aplicación adicional de fertilizantes convencionales se deberá realizar sólo si el aporte de N de la enmienda orgánica no logra cubrir la necesidad de N del cultivo a realizar, según nivel de rendimiento y necesidad de N por unidad de rendimiento señalada en los **Cuadros 2.3; 2.4; 2.5 y 2.6**, para frutales, hortalizas, cultivos y praderas, respectivamente. En este caso, la dosis de N a aplicar como fertilización complementaria, se deberá determinar por diferencia simple entre la necesidad de N del cultivo y el aporte de N logrado con la aplicación de la enmienda orgánica. Para algunos cultivos en particular puede ser necesaria la aplicación adicional de otros nutrientes como fósforo en papa y remolacha; potasio en tomates y hortalizas de fruto, por citar algunos.

Por ejemplo, si la especie a cultivar es maíz, con un rendimiento estimado de 160 qq/ha, la necesidad de N del cultivo se aproxima a 352 kg/ha (2,2 kg de N/qq), considerando que se trata de un híbrido de alta eficiencia de uso de N, sembrado en forma oportuna, con sistema de riego tecnificado, y buen nivel tecnológico aplicado en general.

En el caso de emplear como enmienda orgánica un guano de cerdo semicompostado en dosis de 20 t/ha, con 30% de humedad, 2% de N orgánico (50% de tasa de mineralización) y 0,5% de N inorgánico, el aporte real de N se aproxima a 210 kg/ha ($20.000 \text{ kg} * 0,7 * 0,02 * 0,5 + 20.000 \text{ kg} * 0,7 * 0,005$). En este caso, la dosis de N de complemento será de 142 kg/ha (necesidad del cultivo de 352 kg de N - aporte de la enmienda de 210 kg de N). A su vez, esta dosis para el cultivo de maíz debe aplicarse al estado de 6 hojas cuando se emplea fertilización convencional, o parcializado entre las hojas 5 y 12 para riego presurizado.

La época de aplicación de este N adicional es propia de cada cultivo y generalmente corresponde al período de máxima tasa de crecimiento, que en todos los casos es muy posterior a la siembra o establecimiento para cultivos anuales y establecimiento de praderas y frutales, o en primavera para especies perennes donde la aplicación de la enmienda se realizó en otoño-invierno.

El uso de enmiendas orgánicas genera también un efecto residual en el suelo que puede representar entre un 10 y un 15% del aporte de N total contenido en la enmienda, y porcentajes diferentes de otros nutrientes; pero además, genera aporte de materia orgánica, construcción de suelo y estimulantes de vida en el suelo, lo cual se observa en la expresión vegetativa del cultivo siguiente. Estos efectos son más notorios en las zonas de acumulación de las enmiendas dentro de un campo, siempre que esta acumulación se realice en zonas de cultivo. A modo

Figura 2.6. Diferencia de desarrollo en un cultivo de maíz con fertilización convencional como efecto residual de la acumulación del compost que se aplicó en el campo durante la temporada anterior.



de ejemplo, en la **Figura 2.6** se observa la diferencia de desarrollo vegetativo en un cultivo de maíz cultivado en la zona donde se acumuló la enmienda orgánica empleada en la temporada anterior.

2.1.5. Condiciones generales para el almacenamiento transitorio de enmiendas orgánicas en el predio

Se recomienda evitar el almacenamiento de enmiendas orgánicas en el predio, programando la recepción del material para que sincronice con la fecha de aplicación. Para aquellas situaciones en las cuales no sea posible aplicar la enmienda orgánica de forma inmediata se debe almacenar considerando las siguientes restricciones (MINSAL, 2001; MINAGRI, 2005):

- El lugar de almacenamiento debe estar ubicado lejos de viviendas extra prediales y de cuerpos de aguas superficiales como ríos, lagos, vertientes, canales de riego o drenaje, así como también de infraestructuras tales como pozos y norias.

- El lugar de almacenamiento debe estar impermeabilizado, para así evitar la percolación de nutrientes y/o patógenos.
- El lugar debe contar con canales perimetrales de intercepción de aguas lluvias, a fin de evitar la mezcla con la enmienda orgánica que será almacenada.
- La topografía del terreno debe presentar una pendiente tal, que no permita el escurrimiento. En su defecto, se deberán tomar todas las medidas pertinentes para evitarlo.
- No podrán ser utilizados para almacenamiento los terrenos de inundación frecuente y/o afloramiento de agua.
- Evitar la proliferación de vectores y generación de olores molestos.
- El lugar de almacenamiento debe estar limpio y ordenado.
- La capacidad de almacenamiento debe considerar los volúmenes de enmiendas orgánicas manejadas en el predio, evitando la aplicación bajo condiciones de suelo saturado. Para la zona sur esto equivale a una capacidad de a lo menos 2 a 3 meses.

2.2. Uso de purines en praderas y cultivos

Los purines son una mezcla de fecas, orina y aguas sucias, además pueden contener restos de materiales utilizados en la estabulación de animales (por ejemplo paja, tierra, arena y/o aserrín) y residuos de alimentos, provenientes de los sistemas de producción animal. En general, el contenido de materia seca no supera el 10%, por lo que su manejo es en forma líquida, normalmente gravitacionalmente o con el uso de bombas.

Por los grandes volúmenes generados, constituyen un aporte importante de macro y micronutrientes y materia orgánica, que pueden ser reciclados en los suelos. En el último tiempo, en el país se ha intensificado su manejo y uso, dado por el mayor conocimiento de los agricultores de las ventajas de su aplicación al suelo, la necesidad de reutilizarlos, el costo creciente de los fertilizantes inorgánicos y la normativa ambiental, especialmente de protección de cursos de agua.

2.2.1. Caracterización de purines

Los purines son una fuente importante de macronutrientes, micro nutrientes, y materia orgánica (**Cuadro 2.7**). En términos generales el 30 a 40% del nitrógeno se encuentra en forma soluble, principalmente amonio, con muy bajo contenido de nitrato (< 1%), siendo estas formas las disponibles para el cultivo y/o pradera

post aplicación. En el caso del fósforo, la disponibilidad inmediata de este nutriente es entre 50 y 60% y del potasio es entre 95 y 100%. Por lo tanto, es importante considerar que cuando se aplican purines, una parte de los nutrientes serán absorbidos por el cultivo (o perdidos al aire, suelo y/o agua) y otra quedará en el suelo y necesitará ser transformado por los microorganismos presentes en el suelo, previa utilización por las plantas. El aporte de micronutrientes en general es bajo, sin embargo, representan una buena fuente de minerales, permitiendo su reciclaje en el suelo.

2.2.2. Forma de aplicación

Existen diferentes formas de aplicar los purines: en superficie sin incorporación (praderas permanentes); en superficie con incorporación al suelo (previo al establecimiento de praderas o cultivos), además pueden ser inyectados al suelo a través de equipos que permiten incorporarlos a 10-50 cm de profundidad. Las aplicaciones en superficie sin incorporación al suelo pueden provocar pérdidas altas de nitrógeno por volatilización de amoniaco y generación de olores. Cuando los purines son incorporados al suelo, se puede reducir en forma importante las pérdidas de amoníaco y la emisión de olores. La efectividad de esta práctica de manejo dependerá de su rápida ejecución post aplicación (menor a 6 horas). Se trata de evitar la exposición de los purines a las condiciones ambientales, para reducir el potencial de pérdida.

En Chile casi la totalidad de los purines son aplicados en superficie por aspersión, utilizando carros o equipos de riego de alta presión e irrigadores móviles de baja presión. El uso de carros purineros con inyectores es incipiente a escala nacional.

2.2.3. Dosis

La selección de la dosis adecuada de aplicación de purines tiene ventajas económicas y ambientales. Para hacer una correcta estimación de la dosis de nutrientes a aplicar a un cultivo o pradera es necesario considerar: fertilidad y aporte de nutrientes del suelo; aporte de nutrientes por reciclaje animal (fecas, orina); pérdidas de nutrientes (escorrimiento, lixiviación, volatilización, fijación); requerimientos de cultivos y/o praderas; aporte de nutrientes disponibles y totales por la aplicación de purines, teniendo presente la eficiencia de uso del nutriente aplicado.

La cantidad de purín a aplicar debe tener en cuenta el desbalance nutricional propio de este tipo de residuos, esto quiere decir, que de acuerdo al requerimiento del cultivo y aporte del purín, puede producirse desbalances ya que, algunos nutrientes están más disponibles que otros. Por ejemplo, en sectores con reiteradas

aplicaciones de purines de lechería se ha observado excesivos contenidos de K en el suelo. Esta situación disminuye la absorción de magnesio, sodio y calcio por las plantas, lo que puede resultar en la expresión de la enfermedad de hipomagnesemia en vacas. En el caso de purines de cerdo, el contenido de Zn puede limitar la dosis a aplicar. Tanto para P como para K, aplicaciones de purines en suelos deficitarios no generarán una acumulación significativa o exceso de nutrientes. Este fenómeno se produce después de aplicaciones reiteradas (varios años de manera consecutiva) o por sobre fertilización, esto es, por fertilización con purines en sectores que reciben fertilización inorgánica (comercial) completa cada año. De allí la relevancia de realizar un plan de manejo de uso de purines a nivel predial, como parte del plan anual de fertilización. En aplicaciones de superficie sobre praderas o cultivos establecidos, otro factor importante es la carga de materia seca por unidad de área. Altas dosis de aplicación de purines pueden saturar los suelos y producirse un daño físico de las plantas por "encostramiento" del purín.

Como ejemplo, si se aplican 100.000 litros de purines por hectárea, equivalentes a 100 toneladas, para conocer el aporte de nutrientes se debe realizar un análisis en un laboratorio con experiencia en el tema o al no contar con análisis, utilizar valores promedio de lecherías similares. En el **Cuadro 1** se entrega como guía el contenido de nutrientes para un purín bovino típico de sistemas pastoriles, los cuales han sido usados como base para estimar los aportes de macronutrientes, suponiendo su uso en pradera (rendimiento 10 t MS/ha) y maíz forrajero (rendimiento 20 t MS/ha). Se puede observar que el purín aporta una cantidad importante de nutrientes, y que para el K en maíz corresponde al 100% de los requerimientos. La diferencia se deberá aportar por parte del suelo o a través del uso de fertilizantes químicos.

2.2.4. Época de aplicación

Con el fin de hacer un uso adecuado de los nutrientes, los purines deben distribuirse cuando los cultivos o praderas están en crecimiento activo, donde las demandas de los nutrientes son más altas. En general, el uso más eficiente de N se observa en aplicaciones de purines realizadas desde fines de invierno y en primavera, en comparación a las de otoño e invierno. Desde una perspectiva ambiental, la época de aplicación de purines es muy importante. En invierno se esperan altas pérdidas de N debido al riesgo de lixiviación (lavado de nutrientes del suelo en profundidad) y escurrimiento (arrastre de nutrientes en superficie, a favor de la pendiente topográfica del terreno) por la alta pluviometría durante ese período. Aplicaciones invernales favorecerían además la dispersión de los patógenos presentes en estos residuos, por lixiviación o escurrimiento del material contaminado a cursos de

agua. Aplicaciones en primavera, por el contrario, favorecería su eliminación, dado el efecto negativo de los rayos ultravioletas (luz solar) sobre la sobrevivencia de los patógenos comúnmente presentes. Otro aspecto negativo de la aplicación de purines en el período invernal es el posible daño que pueden sufrir las praderas o los cultivos por efecto de la maquinaria utilizada, la cual incrementa el riesgo de compactación y erosión del suelo. La volatilización de amoníaco también depende de las condiciones climáticas. Es más alta en aplicaciones realizadas en clima caluroso y seco, condiciones que se dan preferentemente en la época de primavera-verano.

2.2.5. Plan de manejo de purines a nivel predial

El correcto manejo y uso de purines en un predio debiera considerar un plan anual de aplicaciones al suelo, al igual que lo que se hace para enmiendas orgánicas o fertilizantes comerciales.

- Producción de purines en el predio. Se deberá estimar la producción mensual y anual de purines en el predio, y la cantidad de nutrientes aportados por los purines anualmente.
- Disponibilidad de superficie “productiva potencial” para uso con purines. Se deberá determinar la superficie de suelo agrícola disponible para aplicación de purines en cada predio, debiéndose descontar el área utilizada por construcciones, caminos, bosques o bosquetes, cursos de agua (considerando una franja ribereña de al menos 5 metros sin aplicación) y otros. También se deberá descontar, si es el caso, potreros que estén cercanos a caminos públicos o viviendas, con la finalidad de evitar molestias por aplicación de purines cercanos a ellas.
- Requerimientos de cultivos y praderas. Se deberá estimar la superficie utilizada por los diferentes cultivos y praderas, determinando los requerimientos de nutrientes de ellos anualmente.
- Aptitud de suelos. Con la finalidad de hacer un mejor uso de los purines en las distintas épocas del año, se deberá determinar, de acuerdo a antecedentes técnicos prediales y experiencia de agricultor y trabajadores, la aptitud de los distintos potreros para aplicación de purines. Para ello, se debe clasificar en: a) potreros sin ninguna limitación, con suelo profundos, poca pendiente, sin cursos de agua cercanos; b) potreros con limitación moderada, con suelos menos profundos y/o con pendiente leve y/o cursos de agua cercanos; y c) potreros con limitación, suelos delgados y/o con pendiente fuerte y/o

inundables y/o cercanos a cursos de agua. En estos potreros, por ejemplo, se podrá aplicar purines sólo en algunas épocas del año.

Con esta información se podrá elaborar un plan de manejo de purines prediales, estimando si en el predio existe un exceso o falta de nutrientes aportados por los purines. En el segundo caso se podrá complementar con enmiendas orgánicas o fertilizantes comerciales. Por otro lado, al existir un exceso se deberá reducir las dosis y/o el uso de cultivos más extractivos.

Cuadro 2.7. Caracterización de purines de predios lecheros del sur de Chile (base peso fresco)*.

| Parámetro | Unidad | Promedio | Mínimo | Máximo |
|---------------------|---------------------------------------|----------|--------|--------|
| Materia seca | (%) | 3,05 | 0,19 | 13,75 |
| Materia orgánica | (%) | 66,11 | 31,71 | 85,25 |
| pH | (u) | 7,34 | 5,75 | 8,77 |
| Carbono | (%) | 4,34 | 0,54 | 10,73 |
| N total Kjeldahl | (kg/t) | 1,46 | 0,19 | 5,25 |
| Nitrógeno amoniacal | (kg N-NH ₃ /t) | 0,54 | 0,05 | 2,11 |
| Nitrógeno nítrico | (kg N-NO ₃ /t) | 0,01 | 0,00 | 0,03 |
| Fósforo total | (kg P ₂ O ₅ /t) | 0,52 | 0,04 | 2,17 |
| Potasio total | (kg K ₂ O/t) | 1,12 | 0,13 | 4,88 |
| Calcio total | (kg CaO/t) | 0,68 | 0,03 | 2,77 |
| Magnesio total | (kg MgO/t) | 0,32 | 0,02 | 1,49 |
| Sodio total | (kg Na/t) | 0,20 | 0,03 | 0,95 |
| Azufre total | (kg S/t) | 0,11 | 0,01 | 0,43 |

* n = 102 a excepción de S con n = 52.

Cuadro 2.8. Ejemplo de cálculo dosis de purín en pradera con un rendimiento estimado de 4 t MS/ha y de maíz forrajero de 20 t MS/ha.

| Parámetro | Unidad | Aporte purín | Requerimiento pradera | Balance pradera | Requerimiento maíz | Balance maíz |
|-----------------|----------------------------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------------|--------------|
| Nitrógeno total | (N total) | 88 | 280 | -134 | 240 | -94 |
| Fósforo | (P ₂ O ₅) | 31 | 100 | -48 | 96 | -44 |
| Potasio | (K ₂ O) | 67 | 313 | -201 | 106 | +6 |

Literatura consultada

- Andraski, T., and L.G. Bundy. 2008. Corn residue and nitrogen source effects on nitrogen availability in no-till corn. *Agronomy Journal* 100:1274-1279.
- Alvarado, R., R. Madariaga, y A. Gómez. 1991. Pudrición del tallo en arroz: Respuesta varietal. *IPA Quilamapu* 50:32-35.
- Angus, J.F., M. Ohnishi, T. Horie, and L. Williams. 1994. A preliminary study to predict net nitrogen mineralization in a flooded rice soil using anaerobic incubation. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34:995-999.
- Atanasiu, N., y J. Samy. 1985. Nutrición de la planta: fertilizantes y abonos orgánicos para el arroz. En: Arroz uso eficaz de los fertilizantes. Conzett + Huber AG, Zurich, Suiza.
- Baghdadi, M., and A. Sadowski. 1998. Estimation of nutrient requirements of sour cherry. *Acta Horticulturae* 468:515-521.
- Balmaceda, M. 2008. Fertilización cárlica en el cultivo del maíz. 27 p. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Talca, Talca, Chile.
- Bengtsson, B., and P. Jensén. 1997. Uptake and transport of calcium and boron in apple trees. Third International Symposium on Mineral Nutrition of deciduous Fruit Trees. p. 87. Zaragoza, Spain.
- Benton, J. 1998. Plant nutrition manual. 149 p. CRC Press LLC, Washington, USA.
- Brooke, A., and R. Stevens. 1994. Tree fruit nutrition. A comprehensive manual of deciduous tree fruit nutrient needs. Washington State Fruit Comission. Published by Good Fruit Grower. 211 p.
- Bushong, J.T., R.J. Norman, W.J. Ross, N.A. Slaton, C.E. Wilson, and E.E. Gbur. 2007. Evaluation of several indices of potentially mineralizable soil nitrogen. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38:2799-2813.
- Campillo, R., C. Jobet, y P. Undurraga. 2007. Optimización de la fertilización nitrogenada para trigo de alto potencial de rendimiento en Andisoles de la Región de La Araucanía, Chile. *Agricultura Técnica, Chile* 67:281-291.
- Campillo, R., C. Jobet, and P. Undurraga. 2010. Effects of nitrogen on productivity, grain quality, and optimal nitrogen rates in winter wheat cv. Kumpa-INIA in Andisols of Southern Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70:122-131.
- Chaudary, R.C., and D.V. Tran. 2001. Speciality rices of the world: a prologue. p. 3-12. In Chaudary, D.C., D.V. Tran, and R. Duffy (eds.) *Speciality rices of the world. Breeding, production and marketing.*

Food and Agriculture Organization of the United Nations. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, USA.

Cherney, D.J., J.H. Cherney, and E.A. Mikhalova. 2002. Orchardgrass and tall fescue utilization of nitrogen from dairy manure and commercial fertilizer. *Agronomy Journal* 94:405-412.

Chescheir, G.M., PW. Westerman, and L.M. Safley Jr. 1986. Laboratory methods for estimating available nitrogen in manures and sludges. *Agricultural Wastes* 18:175-195.

Circular 9B/20, Instruye en relación a utilización de guano de aves de carne, MINSAL, JULIO 2001.

Conradie, W.J. 1980. Seasonal uptake of nutrients by Chenin blanc in sand culture. I. Nitrogen. *South African Journal of Enology and Viticulture* 1:59-65.

Conradie, W.J. 1981. Seasonal uptake of nutrients by Chenin blanc in sand culture II. Phosphorous, Potassium, Calcium and Magnesium. *South African Journal of Enology and Viticulture* 2:7-13.

Cordero-Vásquez, A., and J.I. Murillo-Vargas. 1990. Removal of nutrients by rice cultivar CR 1821 under flood irrigation. *Agronomía Costarricense* 14:79-83.

Coulter, J., and E.D. Nafziger. 2008. Continuous corn response to residue management and nitrogen fertilization. *Agronomy Journal* 100:1774-1780.

Cuevas, G., F. Martínez, and I. Walter. 2003. Field-grown maize (*Zea mays L.*) with composted sewage sludge. Effects on soil and grain quality. *Spanish Journal of Agricultural Research* 1:111-119.

Fernández, M. 1995. Fertilización nitrogenada y su eficiencia en maíz de grano. Simiente 65:122-132.

Fernández, M. 1996. Influencia de la fertilización de largo plazo en el cultivo de maíz y en la residualidad de P y K en un Mollisol calcáreo. *Agricultura Técnica (Chile)* 56:107-115.

Frageria, N.K., Carvalho, G.D., Santos, A.B., Ferreira, E.P.B., and Knupp, A.M. 2011. Chemistry of Lowland Rice Soils and Nutrient Availability. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42:1913-1933

Grist, D.H. 1975. Rice. 5th ed. Longman, London, UK.

Halvorson, A.D., D.C. Nielsen, and C.A. Reule. 2004. Nitrogen fertilization and rotation effects on no-till dryland wheat production. *Agronomy Journal* 96:1196-1201.

- Hargreaves, J. 2008. The use of compost and compost teas in the production of strawberries and raspberries. Ph.D. Tesis. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia.
- Hargreaves, J., M.S. Adl., and P.R. Warman. 2009. Are compost teas an effective nutrient amendment in the cultivation of strawberries? Soil and plant tissue effects. *J Sci Food Agric* 89:390–397.
- Haynes, R.J., and M.S. Mokolobate. 2001. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutrients Cycling and Agroecosystems* 59:47–63.
- Herrmann, A., and F. Taube. 2004. The range of the critical nitrogen dilution curve for maize (*Zea mays L.*) can be extended until silage maturity. *Agronomy Journal* 96:1131–1138.
- Hewstone, C. 1999. Producción de materia seca y absorción de macro y micro-nutrientes en trigo cultivado en el sur de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 59:271–282.
- Hirzel, J., y S. Best. 2002. Necesidades nutricionales del cultivo de maíz en el valle regado de la VIII región. *Informativo Agropecuario BIOLECHE – INIA-QUILAMAPU 15-3. VIII región. Chile.*
- Hirzel, J. 2004. Fertilización del cultivo. p. 49–75. En M. Mellado (ed.) *Boletín de trigo 2004. Manejo tecnológico. Boletín INIA N° 114. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.*
- Hirzel, J. 2007. Estudio comparativo entre fuentes de fertilización convencional y orgánica, cama de broiler, en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España. 139 p.
- Hirzel, J., I. Matus, F. Novoa, and I. Walter. 2007a. Effect of poultry litter on silage maize (*Zea mays L.*) production and nutrient uptake. *Spanish Journal of Agricultural Research* 5:102–109.
- Hirzel, J., I. Walter, P. Undurraga, and M. Cartagena. 2007b. Residual effects of poultry litter on silage maize (*Zea mays L.*) growth and soil properties derived from volcanic ash. *Soil Science and Plant Nutrition* 53:480–488.
- Hirzel, J., and I. Walter. 2008. Availability of nitrogen, phosphorous and potassium from poultry litter and conventional fertilizers in a volcanic soil cultivated with silage corn. *Chilean Journal of Agricultural Research* 68:264–273.

- Hirzel, J., F. Novoa, P. Undurraga, and I. Walter. 2009. Short-term effects of poultry litter application on silage maize (*Zea mays* L.) Yield and soil chemical properties. *Compost Science and Utilization* 17(3):189-196.
- Hirzel, J., and S. Best. 2009. Effect of two rootstocks on the seasonal nutritional variability of Braeburn apple. *International Plant Nutrition Colloquium*. Paper 1375. Davis, California, USA.
- Hirzel, J., P. Undurraga and I. Walter. 2010. Mineralization of nitrogen and nutrients released in a volcanic soil amended with poultry manure. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70(1):113-121.
- Hirzel, J. *Fertilización de Cultivos en Chile*. 2011 (Editor). Colección Libros INIA N°28, Chillán, Chile. 434 p.
- Hirzel, J., y F. Salazar. 2011. Uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización en cultivos. *Fertilización de Cultivos en Chile*. Hirzel, J. (Editor). Colección Libros INIA N°28, Chillán, Chile. 2011. 434 p.
- Hirzel, J. 2011. Acumulación de nutrientes en Frutos de Arándano. *Revista Red Agrícola* 40:36-41.
- Hirzel, J., P. Undurraga, y J. González. 2011. Chemical properties of volcanic soil as affected by seven years rotations. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71:304-312.
- Hirzel, J., K. Cordero, C. Fernández, J. Acuña, M. Sandoval, and E. Zagal. 2011. Soil potentially mineralizable nitrogen and its relation to rice production and nitrogen needs in two paddy rice soils of Chile. *J. Plant Nut. Japón* 35:396-412.
- Hirzel, J. F. Cerda, P. Millas and A. France. 2012. Compost Te effects on Production and extraction of nitrogen in ryegrass cultivated on soil amended with commercial compost. *Compost&Science Utilization* 20(2):97-104.
- Hirzel, J. y R. Galdames. 2013. Acumulación de nutrientes en frutos de peras: estudio prospectivo en un huerto comercial. *Revista Frutícola* 1:42-45.
- Hirzel, J., and P. Undurraga. 2013. Nutritional Management of Cereals Cropped Under Irrigation Conditions. pp: 99-130. In: *Crop Production*, Aakash Goyal and Muhammad Asif (Ed). ISBN 978-953-51-1174-0. 190 p.
- Hirzel, J., L. León, F. Flores, and F. Cerda. 2013. Manure-Based Organic soil amendments provide an adequate nutritional source for corn production in Chile when combined with urea applications. *Compost&Science* 21:1-13.

- Hirzel, J., M. Barrera, y A. Ried. 2013a. Necesidades nutricionales del olivo cultivar Arbequina de diferentes edades. Parte 1: Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Revista Tierra Adentro 102:47-50.
- Hirzel, J., M. Barrera, y A. Ried. 2013b. Necesidades nutricionales del olivo cultivar Arbequina de diferentes edades. Parte 2: Calcio, Magnesio y Azufre. Revista Tierra Adentro 102:51-54.
- Hirzel, J. 2014. Acumulación de nutrientes en frutos de kiwi: estudio prospectivo en un huerto comercial. Revista Frutícola 35:53-56.
- Hirzel, J., S. Rebolledo, M. Carus, y V. Bianchini. 2014. Estudio de la composición nutricional de árbol de nogal adulto. Revista Frutícola 36:53-56.
- Hirzel, J. 2014 (Editor). Diagnóstico Nutricional y Principios de Fertilización en Frutales y Vides. Segunda edición aumentada y corregida. Colección Libros INIA-31. ISSN 0717-4713. 322 p.
- Hirzel, J., and I. Walter. 2015. Pig Compost Use on Zinc and Copper Concentrations in Soils and Corn Plants. American Journal of Plant Sciences 6:524-536.
- Jensen, L.S., I.S. Pedersen, T.B. Hansen, and N.E. Nielsen. 2000. Turnover and fate of ¹⁵N-labelled cattle slurry ammonium-N applied in the autumn to winter wheat. European Journal of Agronomy 12:23-35.
- Johnson, V., A. Dreier, and P. Grabouski. 1973. Yield and protein responses to nitrogen fertilizer of two winter wheat varieties differing in inherent protein content of their grain. Agronomy Journal 65:259-263.
- Jokela, W.E., and G.W. Randall. 1997. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time and rate of application on maize. Soil Science Society of America Journal 61:1695-1703.
- Jordan-Meille, L., and S. Pellerin. 2004. Leaf area establishment of a maize (*Zea mays* L.) field crop under potassium deficiency. Plant and Soil 265(1-2):75-92.
- Juliano, B.O. 1993. Rice in human nutrition. Food and Nutrition Series Nº 26. FAO, Rome, Italy. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Laguna, Philippines.
- Kim, K., D.E. Clay, C.G. Carlson, S.A. Clay, and T. Trooien. 2008. Do synergistic relationships between nitrogen and water influence the ability of corn to use nitrogen derived from fertilizer and soil? Agronomy Journal 100:551-556.

- Kowalenko, C. 1994. Growing season dry matter and macroelement accumulations in Willamette red raspberry and related soil-extractable macroelement measurements. *Canadian Journal of Plant Science* 74:565–571.
- Kumura, A. 1956. Studies on the effect of internal nitrogen concentration of rice plant on the constitutional factor of yield. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 24:177–180.
- Laegreid, M., O.C. Bockman, and O. Kaarstad. 1999. Agriculture, fertilizers and the environment. 294 p. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Laos, F., P. Satti, I. Walter, M.J. Mazzarino, and S. Moyano. 2000. Nutrient availability of composted and noncomposted residues in a Patagonian Xeric Mollisol. *Biology and Fertility of Soils* 31:462–469.
- Marschner, H. 1990a. Functions of mineral nutrients: macronutrients. Part I Nutritional Physiology. p. 195–267. In Marschner, H. (ed.) *Mineral nutrition of high plants*. Academic Press Limited, London, England.
- Marschner, H. 1990b. Functions of mineral nutrients: Micronutrients. Part I Nutritional physiology. p. 269–340. In Marschner, H. (ed.) *Mineral nutrition of high plants*. Academic Press Limited, London, England.
- Mellado, Z.M. 2007. Importancia y evolución del trigo en Chile. In M. Mellado (ed) *El trigo en Chile. Cultura, ciencia y tecnología*. Colección Libros INIA N° 21. p. 15–35. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Mengel, K., and E. Kirkby. 1987. *Principles of plant nutrition*. 4th ed. 686 p. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland.
- Millner, J.P., R. Villaver, and A.K. Hardacre. 2005. The yield and nutritive value of maize hybrids grown for silage. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 48:101–108.
- Navarro, S., y G. Navarro. 2003. *Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. 478 p. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Pang, X.P., and J. Letey. 2000. Organic farming: challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(1):247–253.
- Policarpo, M., L. Di Marco, T. Caruso, P. Gioacchini, and M. Tagliavini. 2002. Dynamics of nitrogen uptake and partitioning in early and late fruit ripening peach (*Prunus persica*) tree genotypes under a mediterranean climate. *Plant and Soil* 239:207–214.

- Preusch, P.L., P.R. Adler, L.J. Sikora, and T.J. Tworkosky. 2002. Nitrogen and phosphorus availability in composted and uncomposted poultry litter. *Journal of Environmental Quality* 31(6):2051-2057.
- Plénet, D., S. Etchebest, A. Mollier, and S. Pellerin. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. *Plant and Soil* 223:117-130.
- Redman, M.H., S.A. Wigglesworth, and A.J.A. Vinten. 1989. Nitrogen dynamics of a leguminous green manure. p. 98-112. In Hansen, J., and K. Henriksen (eds.) *Nitrogen in organic wastes applied to soils*. Academic Press, San Diego, California, USA.
- Rettke, M., T. Pitt, N. Maier, and J. Jones. 2006. Quality of fresh and dried fruit of apricot (cv. Moorpark) in response to soil-applied nitrogen. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46:123-129.
- Rodriguez, A., W. Hoogmoed, and L. Brussaard. 2008. Soil quality assessment in rice production systems: establishing a minimum data set. *Journal of Environment Quality* 37:623-630.
- Rogers, B.F., U. Krogmann, and L.S. Boyles. 2001. Nitrogen mineralization rates of soils amended with nontraditional organic wastes. *Soil Science* 166:353-363.
- Roy, R.N., A. Finck, G.J. Blair, and H.I.S. Tandon. 2006. Plant nutrients and basics of plant nutrition. p. 25-42. In Roy, R.N. et al. (eds.) *Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management*. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 16. FAO, Rome, Italy.
- Sahrawat, K. 2006. Organic matter and mineralizable nitrogen relationships in wetland rice soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 37:787-796.
- Sainz, H.R., Echeverría, H.E., and Barbieri, P.A. 2004: Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. *Agron. J.* 96(6), 1622-1631.
- Schreiner, R., C. Scagel, and J. Baham. 2006. Nutrient uptake and distribution in mature "Pinot noir" vineyard. *HortScience* 41(2):336-345.
- Sharma, P., C. Chatterjee, C. Sharma, and S. Agarwala. 1986. Zinc deficiency and anther development in maize. *Plant and Cell Physiology* 28:11-18.
- Sheehy, J.E., M. Mnzava, K.G. Cassman, P.L. Mitchell, P. Pablico, R.P. Robles, and A. Ferrer. 2004. Uptake of nitrogen by rice studied with a 15N point-placement technique. *Plant and Soil* 259:259-265.

- Shimizu, T. 1967. Processes of yield formation in rice plants from the point of dry matter production (in Japanese). *Dry Matter Production in Crops* 4:12-26.
- Sims, J.T., and D.C. Wolf. 1994. Poultry waste management: agricultural and environmental issues. *Advances in Agronomy* 52:1-83.
- Singh, J.N., and N. Murayama. 1963. Analytical studies on the productive efficiency of nitrogen in rice. *Soil Science and Plant Nutrition* 9:25-35.
- Smith, G.S., C.J. Clark, and J.G. Buwalda. 1988. Nutrients dynamics of a kiwifruit ecosystem. *Scientia Horticulturae* 37:87-109.
- Stassen, P., and M. North. 2005. Nutrient distribution and requirement of ?Forelle? pear trees on two rootstocks. *Acta Horticulturae* 671:493-500.
- Stone, P.J., and R. Savin. 1999. Grain quality and its physiological determinants. p. 85-120. In Satorre, E.H., and G.A. Slafer (eds.) *Wheat: ecology and physiology of yield determination*. Food Products Press, New York, USA.
- Soon, Y., A. Haq., and M. Arshad. 2007. Sensitivity of nitrogen mineralization indicators to crop and soil management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38:2029-2043.
- Soto, P., E. Jahn, y S. Arredondo. 2002. Población y fertilización nitrogenada en un híbrido de maíz para ensilaje en el valle regado. *Chilean Journal of Agricultural Research* 62:255-265.
- Tagliavini, M., C. Zavalloni, A. Rombola, M. Quartieri, D. Malaguti, F. Mazzanti, P. Millard, and B. Marangoni. 2000. Mineral nutrient partitioning to fruits of deciduous trees. *Acta Horticulturae* 512:131-140.
- Tanaka, A., S. Patnaik and C.T. Abichandani. 1959. Studies on the nutrition of rice plant. III. Partial efficiency of nitrogen absorbed by rice plant at different stages of growth in relation to yield of rice (*O. sativa*, var. *indica*). *Proc. Indian Acad. Sci. Sec. B* 49(4):207-216.
- Tinarelli, A. 1989. *El arroz*. 575 p. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Tyson, S.C., and M.L. Cabrera. 1993. Nitrogen mineralization in soils amended with composted and uncomposted poultry litter. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 24(17-18):2361-2374.
- Trolldenier, G. 1979. Nitrogenaseaktivitaet in der Rhizosphaere von Sumpfrez in Abhaengigkeit von der Mineralstoffernaehrung. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*. Goettingen 29:334-337.

- Val, J., A. Gil, Y. Aznar, E. Monge and A. Blanco. 2000. Nutritional study of an apple orchard as endemically affected by Bitter Pit. *Acta Horticulturae* 512. P. 493-502.
- Villalobos, R. 2008. Evaluación de enmiendas orgánicas como fuentes alternativas de fertilización en el cultivo de arroz. Tesis de Ingeniero Agrónomo. 34 p. Universidad de Talca, Talca, Chile.
- Whalen, J.K., C. Chang, G.W. Clayton, and J.P. Carefoot. 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Science Society of America Journal* 64:962-966.
- Wienhold, B. 2007. Comparison of laboratory methods and an in situ method for estimating nitrogen mineralization in an irrigated silt-loam soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38:1721-1732.
- Wilson, C.E., R.J. Norman, and B.R. Wells. 1994. Chemical estimation of nitrogen mineralization in paddy rice soils. I. Comparison to laboratory indices. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 25(5&6):573-590.
- Yuri, J. 2002. Nutrición Mineral en Pomáceas. Bitter pit: "Un problema vigente". Revista Frutícola Vol 23(1). Centro de Pomáceas, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca.
- Zavalloni, C., B. Marangoni, M. Tagliavini, and D. Scudellari. 2001. Dynamics of uptake of calcium, potassium and magnesium into apple fruit in a high density planting. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Mineral Nutrition of Deciduous Fruit Crops. Acta Horticulturae* 564:113-122.

Capítulo 3

Manejo sustentable de la fertilidad del suelo: Recomendaciones para la fertilización mineral

Juan Hirzel C. y Christian Hepp K.

3.1. Fertilización de cultivos

Si bien las alternativas de cultivos son variadas para Chile, se enfatizará en 3 de las especies de mayor superficie de siembra (maíz, trigo y arroz), y en la parte final se presenta una pauta de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio para la mayoría de las especies de cultivo que se desarrollan en nuestro país.

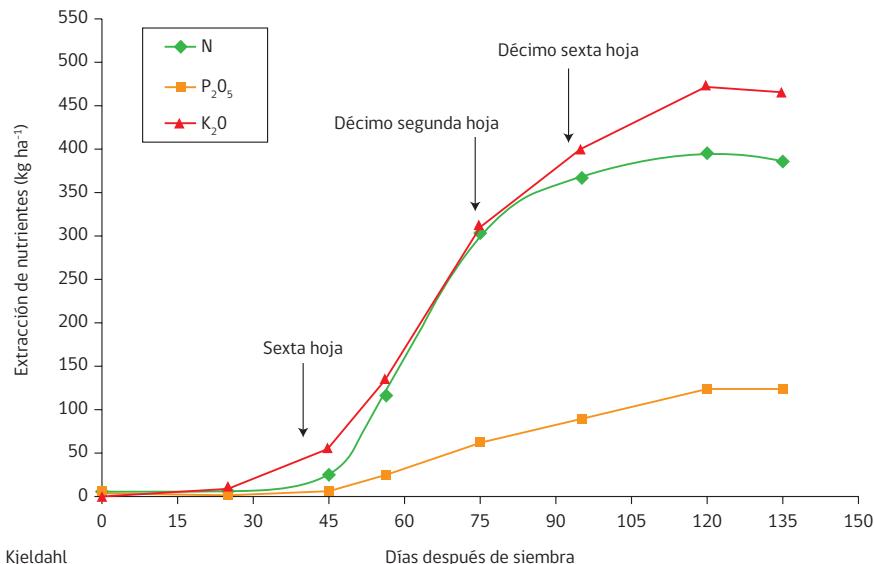
3.1.1 Maíz

El maíz (*Zea mays L.*) es un cultivo que se puede desarrollar en una amplitud de condiciones de suelo y clima. Presenta una alta extracción de nutrientes, superando notablemente a otros cultivos como cereales de grano pequeño y leguminosas de grano. Este cereal se cultiva con distintos fines, pero principalmente para alimentación animal (ensilado y grano), avícola (granos) y de porcinos (granos), y para alimentación humana como grano, maíz dulce o maíz choclero.

El maíz de ensilaje es un importante suplemento alimenticio en sistemas pastorales, particularmente en la industria lechera, cuyas principales características son el alto rendimiento de materia seca (MS) y contenido de energía metabolizable. Los productores de leche de vaca en la zona centro sur y sur utilizan el maíz de ensilaje como alimento entre verano e invierno, con lo cual logran extender el período de lactancia y aumentar la producción, en tanto que en la zona central se utiliza durante todo el año.

En la planta de maíz, la relación de materia seca grano: hojas + tallo, es considerada un importante índice de valor nutritivo del forraje debido a la alta digestibilidad que presenta el grano y también su aporte de almidón.

Figura 3.1. Extracción de nutrientes en el cultivo de maíz (Hirzel y Best, 2002).



Si bien existen muchos híbridos comerciales con diferencias de precocidad en su ciclo de cultivo, en general todos presentan una extracción marcada de nutrientes que se acentúa a partir de la sexta hoja, como se puede observar en la **Figura 3.1**. Cabe destacar también la alta extracción de K que presenta este cultivo, la cual, expresada como K₂O supera notablemente a las necesidades de N, como ocurre también en muchas especies vegetales.

En relación a la extracción de nutrientes realizada sólo por el grano de maíz, Laegreid *et al.* (1999) señalan extracciones de N:P:K de aproximadamente 16:3:3,3 por cada tonelada de grano, respectivamente. Al respecto, Fernández (1995; 1996) señala extracciones de N:P:K que en promedio corresponden a 9:1,4:2,5 por cada tonelada de grano, respectivamente. Las diferencias señaladas por estos autores obedecen a las variaciones en los materiales genéticos empleados.

Antecedentes experimentales generados con estudios de fertilización del cultivo de maíz para grano y ensilaje, permiten estimar las necesidades nutricionales. Como se observa en el **Cuadro 3.1**, las necesidades nutricionales son muy variables, y esta variabilidad depende de muchos factores, dentro de los cuales destaca principalmente el material genético, las propiedades físico-químicas del suelo (disponibilidad de nutrientes en el medio), y también las condiciones de clima.

Cuadro 3.1. Necesidades nutricionales del cultivo de maíz para grano o ensilaje, expresadas en función de la unidad de rendimiento (n = 240 muestras en seis híbridos comerciales). Fuente: Adaptado de Hirzel (2007).

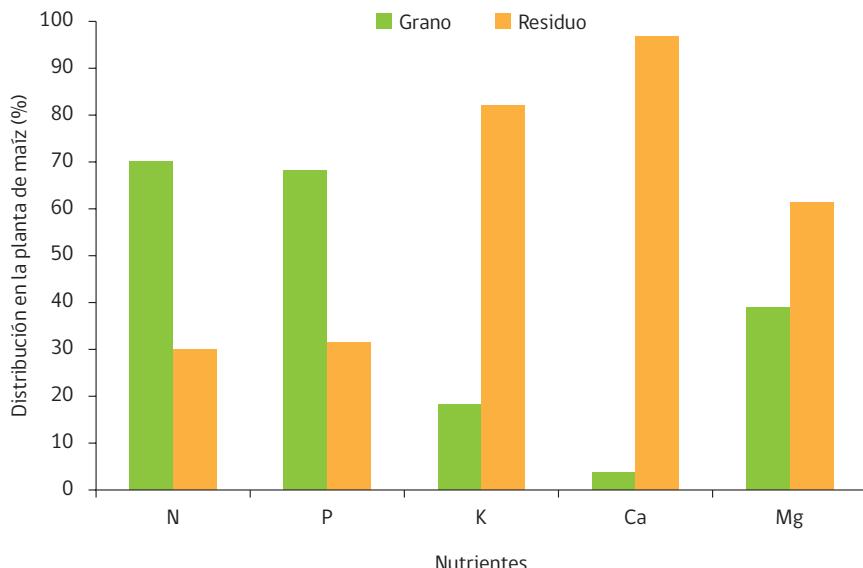
| Nutriente | Tipo de maíz y necesidad nutricional | |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| | Grano (kg/t) | Ensilaje (kg/t MS) |
| N | 14 - 26 | 6.9 - 14.5 |
| P ₂ O ₅ | 6 - 13 | 3.1 - 6.9 |
| K ₂ O | 16 - 38 | 8.2 - 23.2 |
| CaO | 3.0 - 7.5 | 1.5 - 4.5 |
| MgO | 3.2 - 7.4 | 1.7 - 4.0 |
| S | 1.4 - 2.6 | 0.8 - 1.3 |
| Fe | 0.24 - 0.41 | 0.109 - 0.185 |
| Mn | 0.04 - 0.06 | 0.019 - 0.029 |
| Zn | 0.03 - 0.05 | 0.013 - 0.021 |
| Cu | 0.002 - 0.009 | 0.001 - 0.004 |
| B | 0.016 - 0.018 | 0.007 - 0.008 |

La asignación de nutrientes en los diferentes componentes de planta de maíz se presenta en la **Figura 3.2**. Se observa que una gran parte de N y P extraído por la planta de maíz se concentra en el grano, en tanto que el residuo aéreo concentra una parte importante del K y Mg absorbido por la planta. Por su parte, el Ca se concentra principalmente en el residuo aéreo. Por lo tanto, al incorporar residuos de maíz se logra reciclar gran parte del K, Ca y Mg extraído con el cultivo, lo cual contribuye a reducir las necesidades de estos nutrientes en el cultivo siguiente, en la medida que el residuo incorporado logre su descomposición biológica en el suelo.

Respecto al efecto de la aplicación de diferentes nutrientes en el cultivo, diversos autores han demostrado efectos positivos de la aplicación de N, P, K, Ca y Zn. En relación al uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización, se ha demostrado el efecto favorable en rendimiento de grano o materia seca para ensilaje con el uso de enmiendas en estado fresco (guano de broiler y purines de cerdo, por ejemplo) y guanos compostados, dejando un efecto residual positivo en la disponibilidad de nutrientes para el cultivo siguiente.

Otro de los factores de manejo a considerar en la fertilización del cultivo de maíz es el manejo de los residuos. Al respecto, algunos modelos teóricos indican que el N contenido en los residuos es paulatinamente mineralizado por la biomasa

Figura 3.2. Distribución de los nutrientes en la planta de maíz. Fuente: Adaptado de Hirschel (2007).



microbiana del suelo una vez que ha sido incorporado al suelo, quedando disponible al cultivo siguiente. Sin embargo, esta disponibilidad no ha sido evidenciada en condiciones experimentales de campo, dado que la descomposición del residuo obedece también al fraccionamiento inicial del mismo (trituración) y a la temperatura del suelo. Además, la biomasa del suelo tiende a generar compuestos humificados, los cuales presentan una relación C/N que fluctúa entre 18 y 22, por tanto una fracción importante del N contenido en el residuo formará parte de los compuestos húmicos que serán sintetizados por la actividad biológica del suelo, situación que permite incrementar el contenido de materia orgánica del suelo y mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

3.1.2. Trigo

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

En relación al N, las plantas de trigo absorben este nutriente como ión nitrato o como ión amonio. La forma en que ocurre la traslocación de este elemento depende de la fuente del N absorbido y del metabolismo de la raíz. El N absorbido es transportado por el xilema hacia las hojas como ión nitrato, o puede ser reducido en las raíces y transportado en forma orgánica como aminoácidos o amidas. Al respecto, gran parte del amonio absorbido tiene que ser incorporado en compuestos orgánicos en las raíces.

A nivel de floema, el N es un nutriente móvil, por lo cual, en condiciones de deficiencia de este elemento, puede ser retraslocado desde las hojas viejas a las más jóvenes, y posteriormente traslocado desde allí a los granos en desarrollo. Las principales formas orgánicas de N en la savia del floema son amidas, aminoácidos y ureidos. Los iones nitrato y amonio no están presentes en esta savia, sino principalmente en el xilema. El N en el cultivo de trigo es el mayor componente de proteínas, aminoácidos, enzimas y del ácido nucleico. Forma parte también del grano maduro, principalmente como proteínas concentradas en el endosperma, que es la parte que compone la harina.

La deficiencia de N en las plantas reduce notoriamente la tasa de crecimiento. En el caso de los cereales, el macollaje es pobre y la área foliar es pequeña; el número de espigas por unidad de área junto con el número de granos por espiga son reducidos. Como este nutriente es un componente de la clorofila, su deficiencia se visualiza como un amarillamiento o clorosis generalizada de las hojas, apareciendo primero en las hojas basales mientras que las superiores permanecen verdes. En casos de deficiencia severa se manifiesta una clorosis generalizada en toda la planta. Finalmente disminuye el rendimiento del cultivo y el contenido de proteínas del grano. Los excesos de N son menos evidentes que su deficiencia. Ellos incluyen crecimiento vegetativo prolongado, coloración verde oscuro en el follaje, aumento en la susceptibilidad de la planta al ataque de fitopatógenos y un retraso de la madurez del cultivo.

La concentración de N en la planta de trigo disminuye con el transcurso de los períodos fenológicos, alcanzando valores de 3,5-4,2% en el estado de plena macolla, hasta 0,9-1,2% al estado de madurez a la cosecha. La concentración adecuada en hojas superiores previo al estado de espiga formada, fluctúa entre 1,75 y 3,0%. En el caso del grano de trigo la concentración de N fluctúa entre 1,6 y 2,4% al momento de la cosecha, superando a los otros nutrientes.

Respecto al P, la deficiencia de este nutriente restringe el desarrollo de la planta, retarda el crecimiento, macollaje, desarrollo de raíces y la madurez. Los síntomas de deficiencia normalmente comienzan en las hojas más viejas y se caracterizan

por una coloración azul-verdosa a rojiza, lo cual puede llevar a una coloración rojiza y tintes bronceados, que normalmente se inician desde los márgenes. A menudo las hojas presentan una coloración verde más oscura que las plantas normales. Esto se debe a que la expansión de las células y hojas se retarda más que la formación de clorofila, de modo que el contenido de clorofila por unidad de área foliar resulta mayor. Un síntoma de la deficiencia de P es la disminución de la relación tallo/raíz, así como el menor crecimiento del conjunto de los puntos de crecimiento. Niveles extremadamente elevados de P pueden resultar en síntomas de toxicidad, lo cual se manifiesta generalmente como puntos acuosos en el tejido de la hoja, tornándose finalmente en necróticos. En casos muy severos, la toxicidad por P puede provocar la muerte de la planta.

La concentración de P en la planta de trigo disminuye con el proceso de madurez, pudiendo oscilar entre 0,23 y 0,30% en el estado de plena macolla, y disminuir a valores entre 0,12 y 0,18% al estado de madurez de cosecha.

En relación al K, la deficiencia de este nutriente es manifestada como una clorosis a lo largo del borde de la hoja, seguido por una quemadura y bronceamiento del extremo de las hojas viejas. El área afectada se presenta encarrujada cuando aumenta la deficiencia de este elemento. Los síntomas de deficiencia de K aparecen en las hojas viejas debido a la movilidad de este nutriente. Las plantas afectadas están generalmente achaparradas y presentan entrenudos acortados. Estas plantas muestran crecimiento lento y achaparrado, cañas débiles y susceptibles a la tendedura, mayor incidencia de plagas y enfermedades, rendimientos más bajos, granos chupados y baja calidad del grano. Las plantas con deficiencia de K pueden perder el control sobre la tasa de respiración y presentar déficit de agua interno. Altas concentraciones de K contribuyen a incrementar la tolerancia y resistencia de la planta frente a enfermedades y plagas.

La concentración de K en la planta de trigo disminuye con la madurez del cultivo, fluctuando desde 3,8-4,5% al estado de plena macolla, disminuyendo a 0,9-1,2% al estado de madurez de cosecha.

Por su parte, la deficiencia de Ca genera hojas pequeñas, retorcidas y de coloración verde oscuro. Aunque todos los puntos de crecimiento son sensibles a la deficiencia de Ca, los meristemas de las raíces son los más afectados. El Ca es un nutriente mineral no tóxico incluso en altas concentraciones, y es muy efectivo en detoxificar concentraciones elevadas de otros elementos minerales en las plantas. Además, contenidos elevados de Ca dentro de la planta favorecen la tolerancia o resistencia frente al ataque de enfermedades y plagas.

La concentración de Ca en la planta de trigo disminuye con la madurez, alcanzando valores de 0,28–0,30% al estado de plena macolla, hasta niveles de 0,08–0,10% durante la madurez de cosecha.

Por su parte, el Mg es un elemento que se trasloca fácilmente desde las partes viejas hacia las más jóvenes, por tanto sus síntomas de deficiencia aparecen primero en las partes más viejas de la planta. Un síntoma típico de la deficiencia de Mg es la clorosis intervenal de hojas viejas en la cual las venas permanecen verdes pero el área entre ellas se torna amarilla. Cuando la deficiencia llega a ser más severa, el tejido de la hoja se torna uniformemente clorótico, luego de color café y necrótico. Las hojas se manifiestan pequeñas y se quiebran fácilmente.

La concentración de Mg en la planta de trigo tiende a disminuir con la madurez, pudiendo fluctuar desde 0,14–0,16% al estado de plena macolla hasta valores de 0,05–0,07% a la madurez de cosecha.

Respecto al Zn, en el trigo los síntomas comunes de la deficiencia son detención del crecimiento de la planta, macollaje pobre, desarrollo de coloración verde ligera, amarillamiento, puntos blanqueados, bandas cloróticas en ambos lados de la nervadura central, y hojas pequeñas. Los entrenudos son cortos y los procesos de floración, fructificación y madurez pueden retrasarse. Una concentración elevada de P en la solución de suelo puede inducir deficiencia de Zn. La toxicidad por Zn puede traducirse en reducción del crecimiento de la raíz y de la expansión de la hoja, seguida por clorosis. Ello está asociado con concentraciones superiores a 200 mg/kg de Zn en el tejido. El exceso de Zn puede inducir deficiencia de Fe, que se reconoce por una clorosis intervenal en las hojas nuevas de la planta.

La concentración de Zn decrece con la madurez de la planta de trigo, alcanzando niveles de 12 a 20 mg/kg al estado de plena macolla y de 10 a 12 mg/kg a la madurez de cosecha del cereal.

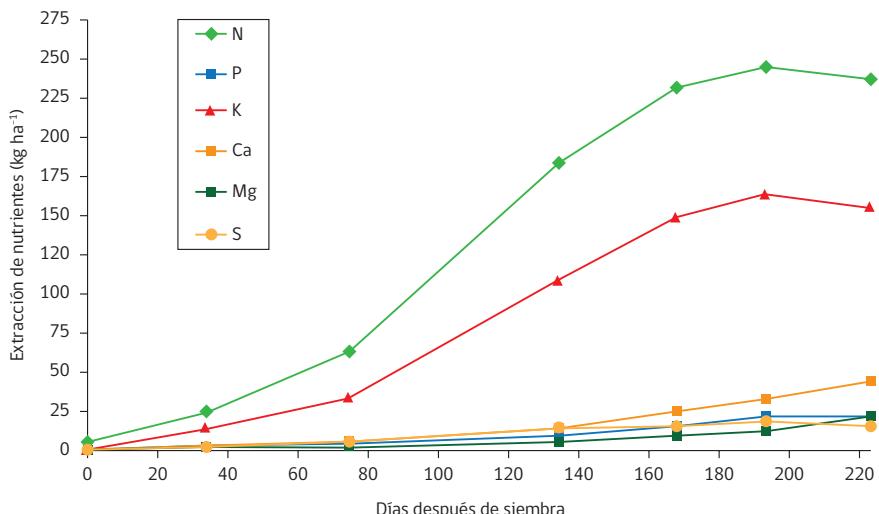
Respecto al manejo nutricional del cultivo de trigo, se debe considerar que cuanto mayor sea el nivel de rendimiento, mayor será también la necesidad de nutrientes por el cultivo. Sin embargo, en el caso del cultivo de trigo es fundamental considerar también el cultivar (variedad comercial) y el hábito de crecimiento. En relación al cultivar se observan diferencias en la acumulación de proteínas del grano, indicando así variaciones en la necesidad de N de la planta. Cada cultivar presenta una base genética única, que le otorga atributos exclusivos respecto a rendimiento, potencial y calidad del grano. Respecto al hábito de crecimiento, en general los cultivares de hábito invernal generan mayores extracciones totales

de nutrientes que aquellos de hábito primaveral, principalmente por su mayor permanencia en el suelo. Otros factores que afectan la variabilidad en las necesidades nutricionales del cultivo de trigo son las propiedades físico-químicas del suelo, condiciones climáticas, y el manejo agronómico. De esta forma, un mismo cultivar de trigo sembrado en diferentes sitios presentará también diferentes necesidades nutricionales para iguales niveles de rendimiento. Por tanto, para definir las cantidades de nutrientes a aplicar en este cultivo y en otros cultivos, se deben considerar los factores que influyen en sus necesidades nutricionales.

Respecto a las necesidades nutricionales del cultivo de trigo, en la **Figura 3.3** se puede observar que la extracción de nutrientes en el trigo cv. Dollinco-INIA (cultivar de hábito alternativo) presenta una extracción paulatina que alcanza su máximo casi al término del cultivo, y que a su vez el mayor nutriente extraído es el N. La extracción de nutrientes de este cultivar en su período de máxima acumulación corresponde a 30,6; 5,7; 24,7; 7,9; y 4,1 kg/t de N, P₂O₅, K₂O, CaO, y MgO, respectivamente, para un rendimiento de grano de 8 t/ha.

Respecto al mayor nutriente extraído, otros cultivares presentan una mayor extracción de K, como por ejemplo los cv. Tukán-INIA y Domo-INIA, cuya extracción de nutrientes en su período de máxima acumulación corresponde a 26,4-31,1; 6,0-7,4;

Figura 3.3. Extracción de nutrientes (Kg/ha)en el cultivo de trigo de invierno cv Dollinco-INIA.



30,7–32,5; 4,0–8,6; y 2,1–4,2 kg/t de N, P₂O₅, K₂O, CaO, y MgO, respectivamente, para un rendimiento de grano de 7 y 9 t/ha en cada cultivar respectivamente.

Las curvas de extracción de nutrientes permiten ajustar y armonizar de mejor forma los criterios de fertilización con el ritmo de crecimiento del cultivo de trigo. Por ejemplo, en los estadios fenológicos iniciales del cv. Kumpa-INIA (**Cuadro 3.2**) se produce gran parte de la extracción de los nutrientes evaluados. Así, al acercarse el término de la etapa vegetativa (inicio de hoja bandera), ya se ha producido una extracción de 80,3% del N; 76,6% del P; 98,4% del K; 62,6% del Ca; y 67,1% del Mg, en tanto que para el cv. Dollinco-INIA (**Cuadro 3.3**) al acercarse el término de

Cuadro 3.2. Extracción porcentual de N, P, K, Ca y Mg en trigo invernal cv. Kumpa-INIA.

| Estado fenológico | Días después de siembra | Porcentajes acumulados* | | | | |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | N | P | K | Ca | Mg |
| Fin de macolla | 111 | 27.3 | 16.1 | 36.2 | 18.3 | 15.4 |
| Dos nudos | 133 | 46.3 | 38.6 | 51.0 | 33.5 | 30.1 |
| Inicio hoja bandera | 153 | 80.3 | 76.6 | 88.4 | 62.6 | 67.1 |
| Espigadura | 174 | 98.5 | 95.9 | 97.2 | 93.1 | 95.1 |
| Antesis | 182 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

*La extracción máxima obtenida durante el ciclo de desarrollo evaluado del cultivo correspondió a 269 kg de N, 26 kg de P, 249 kg de K, 36 kg de Ca, y 14 kg de Mg.

Cuadro 3.3. Extracción porcentual de N, P, K, Ca y Mg en trigo invernal cv. Dollinco-INIA.

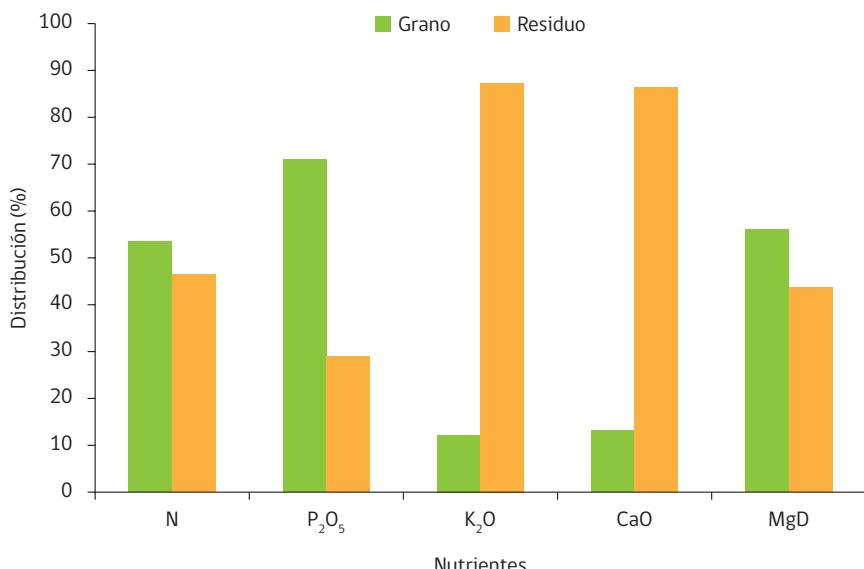
| Estado fenológico | Días después de siembra | Porcentajes acumulados* | | | | |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | N | P | K | Ca | Mg |
| Fin de macolla | 118 | 27.1 | 11.4 | 29.6 | 13.9 | 10.6 |
| Dos nudos | 140 | 43.6 | 30.5 | 53.1 | 35.7 | 28.8 |
| Inicio hoja bandera | 160 | 56.9 | 33.9 | 62.2 | 53.8 | 38.4 |
| Espigadura | 167 | 98.9 | 89.5 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| Antesis | 181 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

*La extracción máxima obtenida durante el ciclo de desarrollo evaluado del cultivo correspondió a 286 kg de N, 33 kg de P, 244 kg de K, 36 kg de Ca, y 16 kg de Mg.

la etapa vegetativa (inicio de hoja bandera), ya se ha producido una extracción de 56,9% del N; 33,9% del P; 62,2% del K; 53,8% del Ca; y 38,4% del Mg. Sin embargo, los valores de absorción acumulada son menores que los del cv. Kumpa-INIA.

En relación al efecto de la aplicación de diferentes nutrientes en el cultivo, diversos autores han demostrado efectos positivos de la aplicación de N, P, Zn y encalado. Respecto a la parcialización de nutrientes en el cultivo de trigo, muchos trabajos experimentales han demostrado que existe respuesta a la aplicación parcializada de N, y que en general el rendimiento se maximiza con 3 aplicaciones de este nutriente, correspondientes a siembra (entre 15 y 20% del N total), inicio de macolla (entre 40 y 50% del N total) e inicio de encañado (30–40% del N total). En relación a la dosis de este nutriente, trabajos experimentales indican que existen diferencias entre cultivares y condiciones edafoclimáticas, pero que en general el rendimiento se maximiza cuando la dosis de N se determina en función de la necesidad de absorción del cultivo (dosis de reposición), con una variación que puede fluctuar entre 90 a 120% del consumo del cultivo. Las dosis de los otros nutrientes deben ajustarse a las necesidades nutricionales y las propiedades químicas del suelo.

Figura 3.4. Distribución de nutrientes en la planta de trigo de pan (promedio de los cv. Domo-INIA y Quelén-INIA). Fuente: Hirzel (2004).



La incorporación de residuos del cultivo de trigo es una práctica que trae beneficios a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Al respecto en la **Figura 3.4** se observa que una fracción importante del N, P y Mg, y que la mayor parte del K y Ca extraídos con este cultivo, será devuelta al suelo junto con la incorporación de los residuos, lo cual tendrá un efecto notable sobre la reducción de dosis de algunos de estos nutrientes en el cultivo sucesivo. No obstante, se deberá considerar la aplicación de N necesario para lograr una adecuada descomposición del residuo incorporado, y así no afectar la disponibilidad de N para el cultivo sucesivo.

3.1.3. Arroz

El arroz (*Oryza sativa L.*) es uno de los cereales más importantes en el mundo y es alimento base para, al menos, la mitad de la población mundial. Generalmente se considera un cultivo anual semiacuático, reconociéndose más de 20 especies del género *Oryza*, de las cuales sólo dos son cultivadas, pudiendo ser acuáticas, semiacuáticas y de secano.

Respecto a las funciones nutricionales y los efectos de los nutrientes en la planta, el Nitrógeno debe ser suministrado de manera constante al cultivo para lograr una cosecha adecuada, especialmente durante la formación y desarrollo de la panícula. El rendimiento del cultivo está definido por el número de panículas por m² y por el número de granos por panícula. A su vez, el número de panículas depende del número de macolllos, quedando definido dentro de los primeros 10 días posteriores al máximo macollaje. Los componentes anteriores están influenciados por la disponibilidad de N durante estos estados de desarrollo. Por su parte, el número de espiguillas por panícula se relaciona estrechamente con el contenido de N que presenta la vaina foliar durante las semanas previas a floración. Posteriormente, el N influirá en una eficiente asimilación de carbohidratos por parte del grano, y en un correcto llenado del mismo.

Respecto a la forma de N absorbido, durante las primeras fases de crecimiento la planta de arroz prefiere las formas amoniacales (NH₄⁺), mientras que en las fases cercanas a madurez prefiere el N en forma de nitrato (NO₃⁻). El N en forma de amonio es favorable hasta el estado de iniciación de panículas, y posteriormente la absorción de nitrato se ve favorecida, sobre todo durante la fase de formación embrionaria de la panícula, estimulando el incremento en el número de flores de la panícula y el peso de los granos. El N amoniacial, por su parte, aumenta el número de macollas y el número de panículas por planta. Si bien en condiciones de suelo inundado se prefiere aplicar las formas amoniacales de N, o que deriven

en amonio (urea), dependiendo de la profundidad de laboreo. En los primeros 5-10 cm de suelo se presenta una condición aeróbica que permitiría la transformación de amonio a nitrato, proceso que es acelerado por la acumulación de temperatura. No obstante, lo señalado anteriormente, en Chile no hay evidencia científica en las variedades modernas que indique las ventajas de realizar aplicaciones de N a la forma de nitrato posteriores a la siembra. Los excesos de N, sobre todo asociados a fenómenos climáticos anormales durante la fase reproductiva, especialmente bajas temperaturas, generan desórdenes de crecimiento y distribución interna de este nutriente que favorece el crecimiento vegetativo, puede retardar la cosecha y reducir el rendimiento.

En relación al reparto interno de N en la planta de arroz, estudios realizados con N15 indican que entre 3 y 5% se encuentra en las raíces, entre el 30 y 44% se encuentra en las estructuras vegetativas aéreas, entre el 37 y 40% se encuentra en la panícula, y entre el 7 y 13% se encuentra en las estructuras senescentes.

Respecto al Fósforo, este elemento favorece el crecimiento radical y por tanto mejora la absorción de agua y otros nutrientes. También aumenta la resistencia a períodos de menor disponibilidad de agua. Un suministro adecuado de P mejora la floración y fecundación de granos, aumenta la precocidad del cultivo, y eleva el peso de los 1000 granos. La mayor absorción de P se presenta durante el período de desarrollo vegetativo y se reduce después de la formación embrionaria de la panícula. A su vez, esta absorción es favorecida por incrementos de temperatura, con un óptimo de 30°C. La disponibilidad de P en suelos inundados es favorecida por los procesos de óxido-reducción, liberándose parte del fósforo retenido como fosfato de hierro y de aluminio.

El potasio, por su parte, juega un rol importante al principio del crecimiento vegetativo, con énfasis durante la formación de macollas, teniendo una influencia directa en la determinación del número final de panículas. Durante la fase de maduración favorece la síntesis y traslocación de hidratos de carbono de bajo peso molecular, interviene en la activación de procesos de fosforilación (transporte de energía) para activar el transporte de compuestos nitrogenados solubles hacia los granos en formación, evitando su acumulación en otros tejidos, favoreciendo también el peso de los 1000 granos. Además, el K aumenta la resistencia de la planta a diversas enfermedades, como por ejemplo a la pudrición de tallos detectada en Chile, como también a condiciones climáticas adversas (altos niveles de radiación solar y temperatura, o baja temperatura durante el macollaje y la floración), presentando un rol importante en la economía de uso y pérdida del agua por transpiración desde la planta.

El K estimula también la división celular, participa del transporte de fotones durante la fotosíntesis, dirige la síntesis de almidón, inulina, aminoácidos y proteínas, también modifica la permeabilidad de las células e interfiere en los mecanismos de plasmólisis y turgencia, y junto al P y Mg participan activamente del metabolismo de los hidratos de carbono.

Respecto al Azufre, este elemento es importante durante todo el ciclo de crecimiento de la planta de arroz, incidiendo fuertemente en la calidad del grano, ya que forma parte de algunos aminoácidos esenciales, forma parte del metabolismo del N en la síntesis de proteínas y de hidratos de carbono. Está relacionado con la reducción de nitratos, cataliza la formación de clorofila junto al Cu y Fe, interviene como transportador de hidrógeno, contribuye a regular el ciclo de los ácidos tricarboxílicos, y forma parte de los radicales del tipo sulfuro (SH). Las cantidades de S absorbidas por el cultivo son relativamente bajas en comparación a otros nutrientes (N y K), siendo cubiertas por el aporte natural de los suelos (mineralización de la materia orgánica), por lo cual, es poco común aplicar fertilizantes azufrados en el cultivo de arroz. La disponibilidad de S es reducida en sistemas inundados como efecto de las reacciones óxido-reducción.

El calcio por su parte, contribuye a la rigidez de las plantas y resistencia a la tendedura. Por su parte, el Magnesio se localiza en los anillos pirrólicos que constituyen la clorofila, y participa como catalizador en las actividades enzimáticas de las nitrato reductasas o enzimas autoinducidas que requieren presencia de molibdeno (Mo). En sistemas inundados la disponibilidad de Ca y Mg es mejorada como efecto de los procesos de óxido-reducción.

Otro elemento de importancia para el cultivo de arroz es el Silicio. La extracción de silicio (Si) que realiza la planta de arroz es superior a la de cualquier otro elemento mineral, presentando una concentración que puede fluctuar entre el 2 y 9% de la materia seca de la planta. Este elemento se deposita principalmente en las células epidérmicas de las hojas, formando una doble capa silícea que es responsable de la resistencia a enfermedades. Estudios realizados en Japón señalan una extracción promedio de 433 kg/ha de Si. En términos cuantitativos, por cada tonelada de rendimiento de grano paddy la planta de arroz extrae 100 kg de Si, de los cuales gran parte se concentra en la cáscara de arroz.

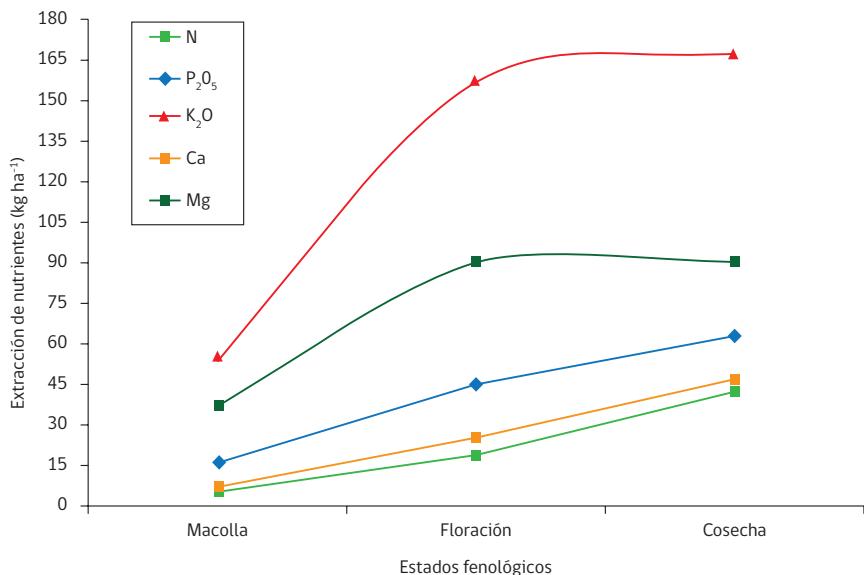
El Si está involucrado en todo el ciclo de crecimiento de la planta de arroz, afectando principalmente en la fase entre formación de panícula y maduración del grano. Este elemento esencial para el cultivo del arroz promueve el desarrollo en longitud y la actividad oxidativa del sistema radical, protegiendo además a las plantas de las toxicidades de Fe y Mn producidas en condiciones anaeróbicas del

suelo inundado. Por último, un buen nivel de Si en el suelo mejora la disponibilidad de P para el cultivo de arroz.

Respecto a los micronutrientes, el Fe participa en la formación de clorofila, previene la clorosis y forma parte de actividades enzimáticas. Los excesos de Fe pueden inhibir la absorción de K. El boro contribuye a la absorción del N y participa en el metabolismo del Ca, estimula la actividad meristemática y la formación del polen. El zinc estimula el desarrollo inicial de las plantas, y su deficiencia puede afectar el rendimiento potencial del cultivo. En sistemas inundados y como efecto de los procesos de óxido-reducción, se generan aumentos en la disponibilidad de Fe, Mn y Mo, y reducción de la disponibilidad de Zn y Cu.

En relación a las necesidades nutricionales del cultivo de arroz, en la **Figura 3.5** se observa que la extracción de nutrientes en el cv. Diamante-INIA (principal cultivar utilizado en Chile) presenta una extracción paulatina entre los estados iniciales y el máximo macollaje, y posteriormente leves aumentos en la acumulación de Ny K, a diferencia de otros nutrientes que presentan una acumulación creciente hasta estados avanzados del cultivo. A su vez, el nutriente con mayor extracción es el K. En términos productivos, las necesidades nutricionales corresponden a 12 kg de N; 8,4 kg de P₂O₅; 22 kg de K₂O; 6,2 kg de CaO; y 5,6 kg de MgO por cada tonelada

Figura 3.5. Extracción de nutrientes en el cultivo de arroz cv. Diamante-INIA para un rendimiento de 75 qq/ha.

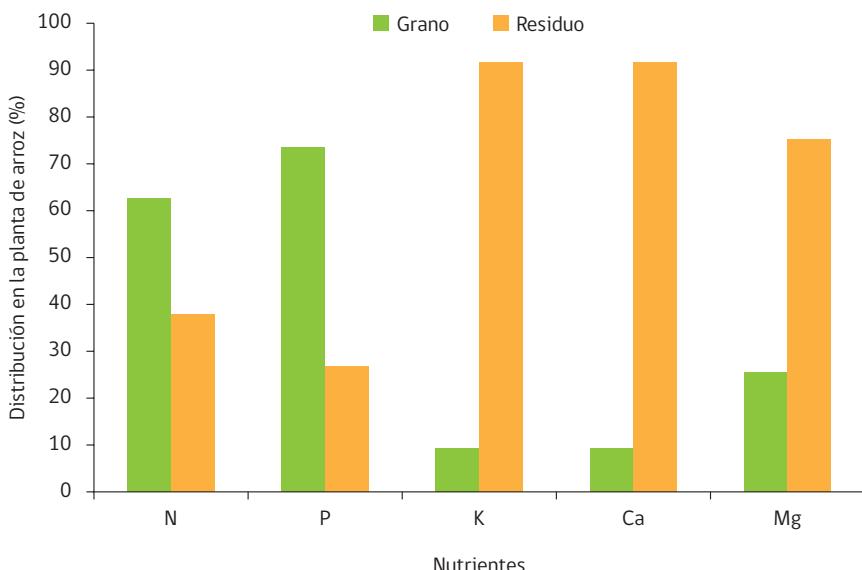


de rendimiento. Como información adicional y también de manera orientativa, las necesidades de micronutrientes para este cultivar corresponden a 6,4 kg de Fe; 1,88 kg de Mn; 56 g de Zn; 12 g de B; y 15 g de Cu por cada tonelada de rendimiento.

Si bien las necesidades nutricionales del cultivo de arroz son altas para algunos nutrientes como el K, generalmente desde el campo sólo se extrae el grano cosechado, dejando el residuo en pie para su incorporación o quema en la próxima preparación de suelo. Por su parte, la incorporación de residuos permite reponer gran parte del K, Ca, S, y de los microelementos; sin embargo, cuando se realizan labores de quema de residuos previo al siguiente cultivo, se produce una pérdida del N y S contenido en los residuos, a través del proceso de volatilización hacia la atmósfera.

En la **Figura 3.6** se presenta la distribución de nutrientes en la planta de arroz considerando el grano y el residuo, lo cual permite estimar los aportes nutricionales generados con la incorporación de residuos, y a su vez fundamenta la importancia de realizar esta labor. Como se observa en dicha figura, la incorporación de residuos de arroz al suelo permite retornar gran parte del K, Ca y Mg extraído con el cultivo de arroz anterior, lo cual reduce notablemente las necesidades nutricionales del cultivo siguiente.

Figura 3.6. Distribución de nutrientes en la planta de arroz (grano y residuo aéreo). Adaptado de Cordero-Vásquez y Murillo-Vargas (1990).



Respecto al manejo de nutrientes en el cultivo de arroz, la mayor atención se debe prestar a la dosis de N y a su forma de parcialización. La dosis se debe determinar en función de la productividad del cultivo que genera diferencias en la necesidad de N, y en la capacidad de aporte natural del suelo (con diferencias entre distintos órdenes taxonómicos de suelo asociado a la evolución de los materiales secundarios y su relación con los pools activos de materia orgánica), dado que la absorción de N proviene principalmente desde las reservas (mineralización de materia orgánica, ciclos dinámicos de la biomasa microbiana, y $\text{N}-\text{NH}_4^+$ fijado en las arcillas) y de la fertilización nitrogenada. Además, una pequeña fracción deriva del agua de riego y otras fuentes ambientales y bióticas. La capacidad de suministro natural de N del suelo es determinada a través de la mineralización en condiciones similares a las que se presentan en condiciones de campo. Para determinar esta capacidad de suministro natural del suelo, las muestras se deben incubar en condiciones óptimas de mineralización; suelos inundados en relación suelo: agua de 1:2,5 con una temperatura de 20 a 40°C, por un tiempo de 14 a 21 días sin agitación de las muestras.

El uso de dosis de N mayores a las necesidades del cultivo puede generar desórdenes en el desarrollo fenológico, aumentando el período vegetativo y produciéndose el inicio del período reproductivo en forma más tardía, lo que puede aumentar la esterilidad floral debido a las bajas temperaturas que se pueden producir en ese período, dado que en la fase final del cultivo las temperaturas ambientales comienzan a disminuir, afectando negativamente la madurez de los granos y finalmente el rendimiento comercial. Al respecto, es común encontrar situaciones productivas en las cuales no se ha conseguido una adecuada madurez del grano asociado a un uso incorrecto en la dosis de N (dosis mayores a lo necesario para la situación edafoclimática particular). Cuando se reduce el tiempo de desarrollo del cultivo también disminuye el potencial de rendimiento y con ello las necesidades de N.

Respecto a la parcialización del N, el mayor rendimiento de grano se genera con aplicaciones de N en 2 ó 3 estados fenológicos; (1) 50% siembra y 50% al inicio de panícula, ó (2) 33% a la siembra, 33% al inicio de macolla y 34% al inicio de panícula. La estrategia de parcialización a usar por el productor dependerá de la oportunidad de realización de las labores (fecha de siembra y su relación con la fecha adecuada) y de la superficie sembrada.

3.1.4. Pautas de fertilización para cultivos en general

En términos generales y para la mayoría de los cultivos, las dosis referenciales de nitrógeno, fósforo y potasio se pueden determinar en función del rendimiento del

cultivo y de la categoría de fertilidad del elemento de referencia dentro del suelo, como se presenta en el **Cuadro 3.4**. La dosificación del nutriente se determinará con la siguiente ecuación:

$$\text{Dosis de nutriente (kg/ha)} = \text{rendimiento (qq/ha)} * \text{dosis de referencia (kg/qq)}$$

Para la dosificación de nitrógeno y en términos muy generales, se deberá considerar el contenido de materia orgánica del suelo (menor a 3%, entre 3,1 y 6%, o mayor a 6,1%, para una categoría baja, adecuada, o alta, respectivamente) o con mayor precisión, la concentración de nitrógeno mineralizable (menor a 30 ppm, entre 31 y 60 ppm, y mayor a 61 ppm para una categoría baja, adecuada o alta, respectivamente). Para la dosificación de fósforo y en términos generales,

Cuadro 3.4. Dosis de referencia de N - P₂O₅ - K₂O para cultivos anuales. (kg de nutriente a aplicar por cada quintal producido).

| Cultivo | Rendimiento (qq/ha) | N kg/qq) | P ₂ O ₅ (kg/qq) | K ₂ O (kg/qq) |
|-----------------|---------------------|------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Arroz | 40 - 80 | 1,2 - 1,5 | 0,5 - 0,8 | 0,5 - 1 |
| Arveja | 10 - 30 | 4 - 6 | 3 - 4 | 2 - 3 |
| Avena | 40 - 60 | 2,5 - 2,8 | 2 - 2,5 | 1 - 1,5 |
| Cebada | 50 - 70 | 2,2 - 2,5 | 1,8 - 2,2 | 1 - 1,5 |
| Frejol | 10 - 30 | 3 - 3,5 | 2 - 3 | 2 - 3 |
| Garbanzo | 6 - 20 | 0 - 4 | 3 - 4 | 2 - 3 |
| Lenteja | 6 - 20 | 0 - 4 | 3 - 4 | 2 - 3 |
| Maíz | 120 - 200 | 2,2 - 2,5 | 0,6 - 1 | 0,4 - 1 |
| Maravilla | 30 - 50 | 4 - 5 | 2 - 3 | 1,5 - 2,5 |
| Papa tardía | 400 - 700 | 0,3 - 0,4 | 0,4 - 0,8 | 0,3 - 0,7 |
| Papa temprana | 300 - 600 | 0,3 - 0,4 | 0,5 - 0,8 | 0,4 - 0,8 |
| Raps - Canola | 25 - 40 | 4 - 6 | 2 - 4 | 2 - 3 |
| Remolacha | 800 - 1200 | 0,15 - 0,2 | 0,2 - 0,4 | 0,12 - 0,2 |
| Tabaco Burley | 30 - 50 | 4 - 5 | 2,5 - 3,5 | 3 - 4 |
| Tabaco Virginia | 30 - 50 | 4 - 5 | 2,5 - 3,5 | 3 - 4 |
| Trigo Pan | 40 - 120 | 2,5 - 3,2 | 1 - 1,6 | 0,8 - 1,2 |
| Trigo Candeal | 60 - 100 | 3,2 - 3,4 | 1 - 1,6 | 0,8 - 1,2 |

1 tonelada = 10 quintales

se deberá considerar la concentración de Fósforo disponible (Olsen) (menor a 8 ppm, entre 8,1 y 16 ppm, y mayor a 16,1 ppm para una categoría baja, adecuada o alta, respectivamente).

Para la dosificación de potasio y en términos muy generales, se deberá considerar la concentración de Potasio disponible (menor a 120 ppm, entre 121 y 160 ppm, y mayor a 160 ppm para una categoría baja, adecuada, o alta respectivamente). De esta forma, entre mayor sea la concentración del elemento o nivel de disponibilidad del elemento en el suelo, menor será la dosis de referencia a emplear.

La dosis referencial de nutriente "kg/qq" tiene un rango de variación, que depende del nivel de fertilidad del suelo. De esta forma, en suelo cuya categoría de fertilidad del elemento es alta, se usará el valor menor dentro del rango, en tanto que en suelos donde el elemento se encuentre dentro de la categoría baja se usará el valor mayor dentro del rango. Para suelos donde el elemento se encuentre en la categoría media o normal o adecuada, se usará un valor medio dentro del rango. En el caso del nitrógeno, cuando se dispone de sistemas de riego que permitan realizar muchas aplicaciones dentro del ciclo del cultivo (pivote u otro), se usará el valor menor del rango, dado que al aumentar el número de aplicaciones se hace más eficiente su uso (reducción de pérdidas desde el sistema suelo-planta). Los niveles de referencia para el análisis de suelo se presentan en el **Cuadro 3.5**.

Por ejemplo, un productor de papa tardía de la zona de Orilla de Maule (región del Maule) cuyo rendimiento normal para este cultivo fluctúa entre los 45 y 50 t/ha (400 a 450 qq/ha) debe calcular las necesidades totales de nitrógeno, fósforo y potasio de su cultivo. Considerando que el suelo es textura franco arenosa, de nivel medio de fósforo y nitrógeno, bajo en potasio, y que el rendimiento de referencia para el cálculo será de 50 t/ha (500 qq/ha). Los factores de dosificación de nutrientes y dosis de nutrientes a aplicar serán los siguientes:

- N; 0,35 kg/qq * 500 qq/ha = 175 kg de N/ha.
- P₂O₅; 0,6 kg/qq * 500 qq/ha = 300 kg de P₂O₅/ha.
- K₂O; 0,7 kg/qq * 500 qq/ha = 350 kg de K₂O/ha.

Se debe considerar que en todos los cultivos, el fósforo se aplica 100% a la siembra en la línea de siembra, el potasio se puede aplicar 100% a la siembra para dosis menores a 150 kg de K₂O/ha, y en 2 parcialidades (siembra y aporca) cuando la dosis es mayor a 150 kg de K₂O/ha (para ajustar la dosis de mezcla total de siembra a la capacidad de aplicación de la máquina sembradora o abonadora de pre-siembra). El nitrógeno debe ser parcializado, es decir, entre 40 y 50% a la siembra y entre

Cuadro 3.5. Características químicas de suelo apropiadas a las especies agrícolas.

| Elemento o variable analizada | Unidad de medida | Nivel adecuado según textura | |
|--|------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| | | Franco arenosa a franco limo arenosa | Franco limosa a franco arcillosa |
| Materia orgánica | % | Mayor a 1,5 | Mayor a 1,5 |
| pH (agua 1:2,5) ** | -- | 6,2 - 7,5 | 6,0 - 7,2 |
| Conductividad eléctrica | dS/m | Menor a 1,5 | Menor a 1,5 |
| Capacidad de intercambio catiónico (CIC) | cmol(+) /kg | 8 - 15 | 15 - 30 |
| Nitrógeno inorgánico | mg/kg | 15 - 30 | 20 - 40 |
| Fósforo Olsen | mg/kg | Mayor a 15 | Mayor a 20 |
| Potasio intercambiable | cmol(+) /kg | 0,3 - 0,6 | 0,4 - 0,8 |
| Calcio intercambiable | cmol(+) /kg | 6 - 10 | 8 - 12 |
| Magnesio intercambiable | cmol(+) /kg | 1,0 - 1,5 | 1,2 - 2,0 |
| Sodio intercambiable | cmol(+) /kg | 0,03 - 0,3 | 0,05 - 0,6 |
| Suma de bases | cmol(+) /kg | Mayor a 8 | Mayor a 10 |
| Relación de calcio sobre la CIC | % | 60 - 65 | 55 - 65 |
| Relación de magnesio sobre la CIC | % | 12 - 15 | 10 - 15 |
| Relación de potasio sobre la CIC | % | 2 - 3 | 3 - 4 |
| Azufre | mg/kg | Mayor a 8 | Mayor a 10 |
| Hierro | mg/kg | 4 - 20 | 6 - 20 |
| Manganoso | mg/kg | 3 - 10 | 5 - 20 |
| Zinc | mg/kg | 2 - 10 | 2 - 10 |
| Cobre | mg/kg | 0,5 - 1 | 0,5 - 1 |
| Boro | mg/kg | 0,8 - 1,5 | 1 - 2 |

**La excepción es arándano y lupino (pH inferior a 5,8 para arándano e inferior a 6,5 para lupino).

50 y 60% a la aporca. En otros cultivos, la distribución de las parcializaciones de nitrógeno pueden ser diferentes, para lo cual se requiere de información específica de cada cultivo (consultar el Libro INIA N° 28. "Fertilización de Cultivos en Chile", 2011). Además, con los sistemas modernos de riego como el pivote y/o similares, se pueden realizar muchas aplicaciones de nitrógeno, aumentando la eficiencia de uso de este elemento (reducción de pérdidas desde el sistema suelo-planta), y reduciendo la dosis total a emplear en el cultivo.

3.2. Fertilización de frutales y viñas

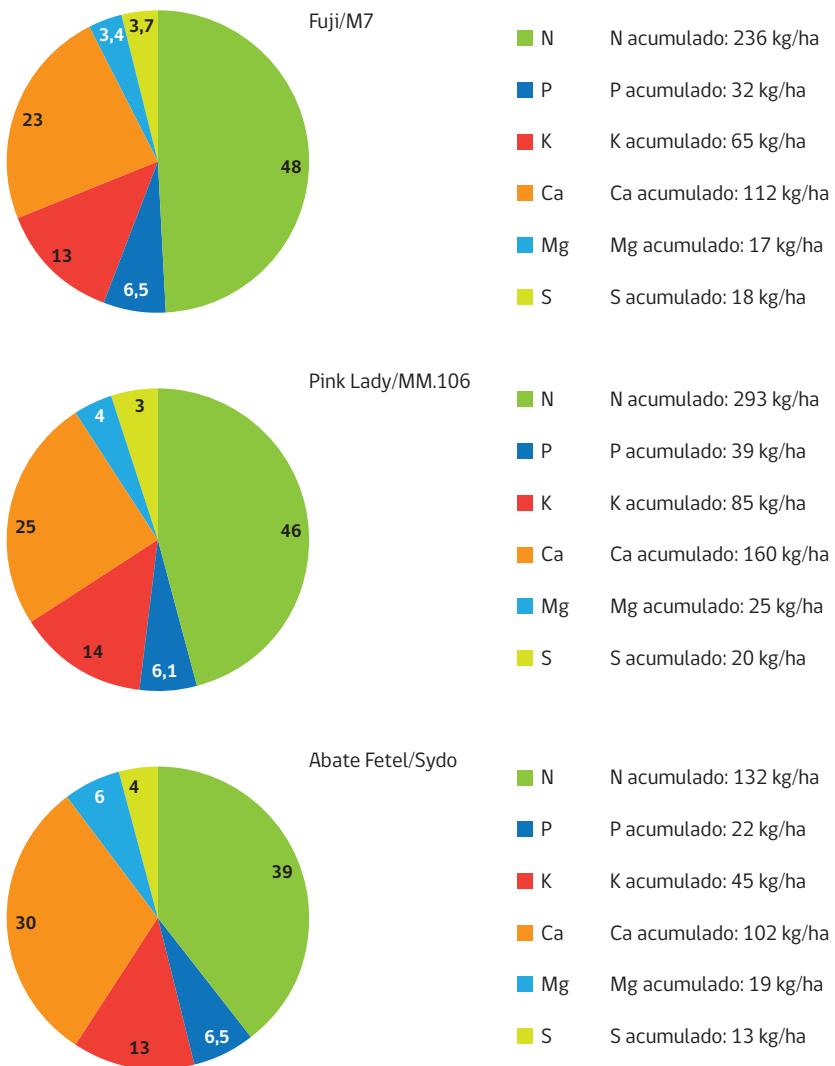
Al establecer un huerto frutal o un viñedo, las plantas utilizadas presentan reservas nutricionales acumuladas durante su proceso de multiplicación y producción en vivero, las cuales les permitirán iniciar el crecimiento radical y aéreo en el campo, para luego utilizar los nutrientes suministrados tanto por el suelo, fertilización de fondo, de cobertura o solución de fertirrigación.

Una vez determinada la capacidad de aporte de nutrientes del suelo y del agua, se deben determinar también las necesidades de fertilización o de aplicación de enmiendas, que permitan corregir aquellas propiedades físico-químicas del suelo que pudieran limitar el normal crecimiento y desarrollo de las plantas.

En muchas situaciones edáficas no será necesario realizar una fertilización abundante al momento del establecimiento del huerto (fertilización de fondo), ya que las necesidades nutricionales anuales de la mayoría de las especies frutales son inferiores a las presentadas por otras plantas cultivadas, como los cereales y las hortalizas, y los suelos utilizados normalmente presentan una condición de fertilidad química adecuada para la mayoría de los nutrientes esenciales. No obstante, en la medida que aumente la edad de los huertos y con ello se alcance el período de plena producción, será necesario incrementar paulatinamente las aplicaciones o aportaciones de nutrientes, sobre todo en algunos nutrientes específicos, ya que existen especies que presentan una mayor respuesta o necesidad nutricional para determinados nutrientes, como por ejemplo el kiwi, cuyas necesidades de K en el período de producción duplican a las necesidades de N; o el ciruelo, cuyo tamaño de fruto y producción por árbol son mejorados frente a una mayor disponibilidad de N, por lo cual, durante el período de producción de fruta o etapa adulta necesitarán de una fertilización más abundante en algunos nutrientes.

Respecto a los primeros años de desarrollo de un huerto frutal o viñedo, se puede mencionar que en general, los principales nutrientes extraídos son el N y el Ca, que es corroborado por la acumulación de nutrientes en plantas terminadas de vivero.

Figura 3.7. Reparto porcentual de la acumulación de macronutrientes (valores dentro del gráfico circular) y acumulación total (valores a la derecha de cada gráfico) en plantas de manzano (Fuji/M.7 y Pink Lady/MM.106) y peral (Abate Fetel/Sydo) al término del período de vivero. La acumulación total de plantas terminadas en vivero fue estimada en función de una densidad de 50.000 pl/ha. Análisis realizados en el Laboratorio de INIA Quilamapu (2010).

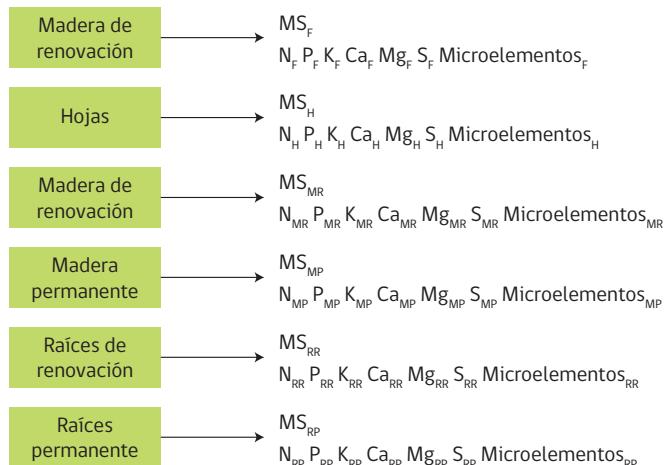


Posteriormente, cuando el huerto comienza su etapa productiva se incrementa notablemente la absorción de K, llegando a ser el principal elemento extraído.

Una vez realizadas las correcciones físico-químicas necesarias en el suelo donde se ha establecido la plantación, se podrá considerar que se ha alcanzado una condición de crecimiento y desarrollo que no presente limitaciones nutricionales al huerto frutal o viñedo (ausencia de respuesta a la fertilización). No obstante, para conservar y generar sustentabilidad en los recursos productivos, será necesario realizar anualmente la reposición de gran parte de los nutrientes extraídos, con excepción de aquellos que son suministrados muchas veces en cantidades superiores a las necesidades del huerto, como el caso del N en aquellos suelos con alto contenido de materia orgánica.

Para conocer la extracción anual de nutrientes se deben realizar muestreos destructivos (extracción de plantas o árboles completos y su análisis de producción de materia seca y composición nutricional para cada componente), los cuales son impracticables en huertos comerciales. No obstante, se dispone de bastante información científica que permite orientar la magnitud de estas necesidades en función del nivel de rendimiento que alcance cada huerto o viñedo, ya que existe una relación entre la producción de materia seca y la extracción de nutrientes en frutos respecto del total de la planta, como se puede apreciar en la **Figura 3.8**.

Figura 3.8. Representación del reparto de materia seca y de nutrientes dentro de un árbol frutal. F = frutos; H = hojas; MR = madera de renovación o de la misma temporada; MP = madera permanente; RR = raíces de renovación o de la misma temporada; RP = raíces permanentes.



En general, en etapa de producción, aquellas especies que fructifican en madera producida el mismo año (duraznero, nectarin, frambueso y vid), presentan una relación de extracción de N entre la biomasa total y los frutos, mayor a la que se presenta en especies que presentan otro hábito de fructificación (madera producida el año anterior, o dardos y brindillas producidos en madera de 2 o más años, como ocurre en manzano, peral y cerezo).

Una vez que se determina la extracción anual de nutrientes de un huerto, se puede realizar una relación de esta extracción con la productividad, expresando la necesidad nutricional como "kg de nutriente por 1 tonelada de fruta a producir (kg/t)", lo cual se empleará como índice agronómico que facilite la estimación de las necesidades nutricionales del huerto.

Por ejemplo, si un huerto de manzano en etapa de producción logra un rendimiento de 60 t/ha, y presenta una extracción anual de nutrientes (ganancia anual de nutrientes) de 62 kg de N; 28 kg de P₂O₅; 130 kg de K₂O; 55 kg de CaO; 32 kg de MgO, entonces los índices de necesidad nutricional para esta especie y huerto serán de 1 kg de N/t; 0,47 kg de P₂O₅/t; 2,2 kg de K₂O/t; 0,9 kg de CaO/t; y 0,53 kg de MgO/t de fruta a producir. No obstante, estos indicadores de necesidad nutricional no deben ser aplicados como una relación matemática directamente proporcional al rendimiento, sino que deben ser ajustadas a los índices de fertilidad del suelo para cada nutriente, a la relación de vigor del portainjerto (para especies que requieren del uso de portainjerto), y a posibles relaciones nutricionales que pudieran afectar negativa o positivamente la calidad de la fruta a producir.

En complemento a lo anterior, en el **Cuadro 3.6** se presentan los índices de necesidad de nitrógeno (N), fósforo (P₂O₅) y potasio (K₂O) por cada tonelada de fruta a producir en diferentes especies de frutales para el período de plena producción. Al igual que lo señalado para los cultivos, el índice de necesidad presenta un rango, desde el cual se elegirá un valor en función de la categoría de fertilidad en la cual se presente el nutriente en el suelo (ver **Cuadro 3.5**), como también del vigor de cada variedad dentro de una misma especie y de posibles efectos de antagonismo, defectos o beneficios del aporte de algunos nutrientes en dosis mayores a las de reposición.

Una vez que se determinan las necesidades nutricionales del huerto, se deberá realizar la parcialización de los nutrientes, para lo cual se sugiere usar la guía de parcialización que se presenta en el **Cuadro 3.7**. Para aquellas especies y variedades de cosecha temprana dentro de la temporada estival como por ejemplo los cerezos, se debe incrementar la fracción de nutrientes aplicada durante la

postcosecha. A su vez, para aquellas especies y variedades de cosecha tardía dentro de la temporada (corto período de postcosecha), como por ejemplo el kiwi o la vid vinífera, se debe disminuir el porcentaje de nutrientes aplicados durante la postcosecha, y en el caso del N se puede suspender esta aplicación para evitar problemas de diferenciación de yemas y lignificación de madera por aplicaciones tardías de este nutriente.

Cuadro 3.6. Dosis de referencia de N - P₂O₅ - K₂O para frutales (kg de nutriente a aplicar por tonelada producida).

| Especie | Rendimiento (t/ha) | N (kg/t) | P ₂ O ₅ (kg/t) | K ₂ O (kg/t) |
|---------------|--------------------|----------|--------------------------------------|-------------------------|
| Vid vinífera | 5 - 20 | 4 - 5 | 1,5 - 2 | 5 - 6 |
| Uva de mesa | 20 - 40 | 3 - 3,5 | 1,5 - 2 | 5 - 6 |
| Manzano verde | 50 - 100 | 0,6 - 1 | 0,3 - 0,6 | 1,5 - 2 |
| Manzano rojo | 50 - 80 | 0 - 0,6 | 0,3 - 0,6 | 1,2 - 1,8 |
| Peral | 30 - 70 | 2,5 - 3 | 0,6 - 1 | 3 - 4 |
| Naranjo | 40 - 70 | 2,5 - 3 | 0,5 - 1 | 3 - 4 |
| Limón | 30 - 60 | 3 - 3,5 | 0,5 - 1 | 3 - 4 |
| Kiwi | 30 - 60 | 2 - 3 | 1 - 1,5 | 6 - 8 |
| Nogal | 4 - 8 | 20 - 35 | 15 - 20 | 30 - 40 |
| Cerezo | 6 - 15 | 4 - 6 | 2 - 3 | 8 - 12 |
| Ciruelo | 10 - 40 | 4 - 6 | 2 - 3 | 4 - 8 |
| Duraznero | 20 - 40 | 4 - 5 | 2 - 3 | 6 - 8 |
| Damasco | 15 - 25 | 5 - 6 | 2 - 3 | 6 - 8 |
| Palto | 6 - 15 | 8 - 12 | 5 - 6 | 10 - 15 |
| Frambueso | 10 - 15 | 8 - 10 | 3 - 4 | 5 - 8 |
| Arándano | 10 - 30 | 3 - 6 | 1 - 2 | 5 - 8 |
| Frutilla | 30 - 60 | 2 - 3 | 1 - 2 | 3 - 5 |

Cuadro 3.7. Guía orientativa de parcialización de nutrientes en huertos frutales, parrocales o viñedos cuya cosecha se realiza a mediados de la temporada estival.

| Nutriente | Período fenológico | Porcentaje de la dosis a aplicar (%) |
|-----------|--------------------|--------------------------------------|
| Nitrógeno | Brotación a cuaja | 10 - 30 |
| | Cuaja a cosecha | 40 - 60 |
| | Postcosecha | 20 - 40 |
| Fósforo | Brotación a cuaja | 20 - 30 |
| | Cuaja a cosecha | 30 - 40 |
| | Postcosecha | 20 - 30 |
| Potasio | Brotación a cuaja | 10 - 20 |
| | Cuaja a cosecha | 50 - 60 |
| | Postcosecha | 20 - 30 |
| Calcio | Brotación a cuaja | 20 - 40 |
| | Cuaja a cosecha | 60 - 80 |
| Magnesio | Cuaja a cosecha | 50 - 60 |
| | Postcosecha | 40 - 50 |

Otro aspecto a considerar en la parcialización de nutrientes es el manejo específico de éstos durante el período de crecimiento de frutos, con el propósito de mejorar su calidad y condición de viaje, sobretodo en aquellas especies cuya fruta se destina a mercados lejanos. Al respecto se debe tener especial cuidado en el manejo de los nutrientes con mayor influencia en la calidad de la fruta, a saber; N, Ca y K.

Los excesos de N generan problemas en la calidad de la fruta, en tanto que el incremento en la concentración de Ca mejora la calidad. Por su parte, el K mejora la calidad de la fruta con énfasis en el calibre, concentración de sólidos solubles, color y firmeza, con la excepción que en los frutos de manzano susceptibles a desórdenes nutricionales como el "Bitter pit" una alta concentración de K compite con la absorción y acumulación de Ca, afectando negativamente la calidad.

Finalmente, el manejo de la fertilización se puede evaluar con un análisis de tejido, realizado anualmente en épocas y tejidos específicos para cada especie, como se presenta en el **Cuadro 3.8**, y cuyos valores referenciales son presentados en la segunda edición del Libros INIA N° 31 "Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides", 2014.

Cuadro 3.8. Pauta de muestreo de tejidos foliares para su diagnóstico.

| Especie | Época de muestreo | Tejido | Cantidad de tejido |
|---|--|--|--------------------|
| Kiwi | noviembre, enero, febrero | Hojas jóvenes maduras antes de formación de frutos | 60 - 100 |
| Vid vinífera | noviembre (fin de floración) | Pecíolos opuestos al racimo de la zona exterior de la planta, colectados al inicio de formación de las bayas | 50 - 100 |
| Durazno, Nectarín, Damasco, Ciruelo, Guindo, Cerezo, Almendro | enero – febrero | Hojas jóvenes maduras (incluyendo pecíolo) del tercio medio de la ramilla del año | 50 - 100 |
| Manzano, Peral | enero – febrero | Hojas jóvenes maduras de dardos nuevos sin frutos ubicados en la periferia | 50 - 100 |
| Nogal | enero – febrero | Hoja terminal de la hoja compuesta del tercio medio de un brote | 50 - 100 |
| Naranjo Limonero | marzo – abril | Hojas de 4 a 7 meses de edad provenientes de brotes de primavera que no presenten frutos | 50 - 100 |
| Palto | marzo – abril | Hojas de 5 a 7 meses de edad provenientes de brotes de primavera que no presenten frutos | 100 |
| Frutilla | Primavera (primer ciclo de producción con frutos presentes) | Hojas sin pecíolo recientemente maduras provenientes de todas las zonas de la planta | 50 - 100 |
| Frambueso | ½ diciembre a enero | Hojas recientemente maduras de las cañas laterales del año | 50 - 100 |
| Arándano | enero – febrero (una semana después de terminada la cosecha) | Hojas recientemente maduras del brote anual fructífero | 50 - 100 |

3.3. Fertilización de praderas en la Región de Aysén

La Región de Aysén está dominada por suelos originados de cenizas volcánicas (Andisols) con diferentes grados de desarrollo. En muchas zonas existen también Inceptisols e incluso Entisols, aunque también Mollisols en las zonas de estepa. La región se divide en una Zona Húmeda (vertiente occidental de la cordillera patagónica), Zona Intermedia (vertiente oriental), Estepa (planos orientales) y Microclima (rodea los grandes lagos: perilacustre). Dentro de cada zona hay también variaciones climáticas, desde el extremo norte al sur de la región.

La región tuvo una colonización reciente (siglo XX) y muchos valles cubiertos de bosque nativo fueron quemados durante ese período, lo que posteriormente implicó procesos profundos de erosión en laderas, junto con establecimiento de praderas rústicas para incorporar luego el ganado en las zonas más aptas. Estas praderas originalmente sembradas con pasto ovillo, trébol blanco, trébol rosado, chépica, poa, pasto miel y otras, constituye hoy la base de la pradera naturalizada de las diferentes zonas. Mediante manejo de la fertilidad del suelo es factible recuperar estas praderas y lograr niveles medios de producción entre 5 y 7 t MS/ha.

3.3.1. Fertilidad de suelos

El INIA realizó una prospección que incluyó más de 45.000 análisis de suelo en la Región de Aysén, los que se resumen en el **Cuadro 3.9**. Junto con apreciarse gran

Cuadro 3.9. Niveles de fertilidad en suelos de diferentes zonas de la Región de Aysén (Patagonia).

| Zona | n | N | P | K | S | pH | MO |
|--------------------|------|-------|------|-------|-----|-----|------|
| | | mg/kg | | | | % | |
| Estepa | 464 | 20,0 | 18,0 | 267,0 | 3,1 | 6,1 | 10,1 |
| Húmeda central | 1179 | 24,8 | 10,1 | 137,4 | 2,9 | 5,7 | 14,0 |
| Húmeda norte | 1011 | 36,0 | 11,1 | 127,2 | 3,1 | 5,4 | 18,4 |
| Húmeda sur | 271 | 15,8 | 11,9 | 107,4 | 2,3 | 5,5 | 11,3 |
| Intermedia central | 5341 | 17,1 | 17,5 | 211,3 | 2,8 | 6,1 | 11,6 |
| Intermedia norte | 238 | 17,8 | 9,9 | 125,6 | 2,6 | 5,8 | 13,5 |
| Intermedia sur | 615 | 18,2 | 21,8 | 205,3 | 3,2 | 6,0 | 11,2 |
| Perilacustre | 420 | 15,5 | 15,8 | 228,2 | 5,0 | 6,5 | 5,1 |
| Total muestras | 9539 | | | | | | |

variabilidad entre zonas, quedan de manifiesto las deficiencias generalizadas de azufre y secundariamente de fósforo. Los niveles de potasio son especialmente limitantes en las zonas más húmedas de la costa, donde también predominan suelos de mayor acidez.

En la mayoría de los casos, el azufre debe considerarse en las dosis de fertilización en praderas y cultivos, ya que su deficiencia limitará también la respuesta a los demás nutrientes. Así como ocurre con el nitrógeno, el azufre disponible (sulfato) se encuentra en el suelo en formas solubles y móviles, por lo que tiende a perderse con gran facilidad desde las capas superficiales de suelos muy permeables a través de lixiviación. Sólo un 6% de las muestras superó en promedio los 5 mg/kg, nivel considerado bajo para azufre, lo que indica la relevancia de este elemento en casi cualquier programa de mejoramiento de la fertilidad.

Gran parte de los suelos de Aysén presentan alto contenido de materia orgánica, la que por características del clima frío presenta una lenta mineralización y entrega sólo gradualmente nutrientes disponibles al suelo.

El **Cuadro 3.10** muestra promedios de contenido de bases del suelo y la saturación de aluminio asociada. Se aprecia que la saturación de aluminio es elevada en la Zona Húmeda, mientras que en la Intermedia Central (principal zona ganadera), los suelos tienen valores muy bajos de saturación. Lo anterior define requerimientos de encalado para ciertas zonas costeras.

Cuadro 3.10. Concentración de bases en suelos de la región de Aysén y saturación de aluminio.

| Zona | Ca | Mg | K | Na | Al | CICe | Sat Al |
|-------------------|------------|-----|-----|-----|-----|------|--------|
| | cmol(+)/kg | | | | | | % |
| Estepa | 9,6 | 2,7 | 0,9 | 0,2 | 0,0 | 13,1 | 0,3% |
| Intermedia norte | 4,4 | 1,0 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 5,8 | 2,9% |
| Intermedia centro | 10,2 | 1,6 | 0,6 | 0,1 | 0,0 | 12,7 | 0,7% |
| Intermedia sur | 7,3 | 1,3 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 9,7 | 2,7% |
| Húmeda norte | 1,2 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | 0,6 | 2,8 | 24,9% |
| Húmeda centro | 2,6 | 0,8 | 0,4 | 0,1 | 0,4 | 4,6 | 11,8% |
| Húmeda sur | 1,6 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | 0,6 | 3,0 | 19,1% |
| Perilacustre sur | 16,3 | 3,7 | 0,9 | 0,2 | 0,0 | 21,8 | 0,1% |

3.3.2. Estrategias de mejoramiento de praderas en Aysén

La pradera naturalizada en suelos de baja fertilidad crece en Aysén por períodos muy acotados, desde fines de octubre hasta enero o febrero y puede rendir desde menos de 1 t MS/ha hasta 2 a 3 t MS/ha. Estas praderas se pueden mejorar vía fertilización (S-P en la zona intermedia; P-cal en la zona húmeda) y llegar a rendir normalmente entre 5 a 8 t MS/ha. Dada la presencia abundante de leguminosas (sobre todo en la zona intermedia), se puede optar a que el nitrógeno requerido para el crecimiento sea aportado por el trébol blanco, mediante fijación simbiótica.

La pradera naturalizada fertilizada presenta un período de crecimiento más amplio (entre octubre y abril). Junto al aumento de cantidad de forraje, existe en estos casos un mejor valor nutritivo del forraje, debido a los cambios botánicos que se producen en las praderas, como también al mejor estatus nutricional del suelo. Ambas condiciones pueden aplicarse en la mayoría de las situaciones de suelos ganaderos, con mayor o menor dificultad, dependiendo de variables como pendiente, cobertura de vegetación, palizadas muertas, etcétera.

Figura 3.9. Pradera naturalizada con niveles corregidos de S y P. Presenta abundancia de trébol blanco.



En aquellos suelos que permiten labranza (CUS III y IV), es posible intensificar más los sistemas y lograr aumentos sustanciales de producción en praderas y cultivos. Las praderas establecidas son el paso siguiente, con la siembra de especies forrajeras de mayor potencial productivo y calidad; dentro de las gramíneas el pasto ovillo, ballica perenne y festuca, entre las leguminosas tréboles blancos y rosados mejorados. Estas praderas presentan crecimiento desde fines de septiembre hasta abril, aunque variable según la zona, ya que en sectores de mayor altitud puede ser más corta la temporada. Los rendimientos fluctúan habitualmente entre 7 y 10 t MS/ha, pudiendo en ciertos casos llegar a 12 t MS/ha.

También es posible desarrollar ciertos cultivos de zonas frías como brásicas forrajeras (raps, nabos, rutabagas) y cereales para uso forrajero o grano.

3.3.3. Dosis habituales de fertilización

Los fertilizantes más utilizados como fuente de azufre son el S elemental (ventilado o granulado) y el sulfato de calcio (yeso agrícola), siendo el segundo más recomendable por su mejor solubilidad y no tener efecto acidificante. La dosis de azufre fluctúa generalmente entre 30 a 50 kg S/ha como yeso, y entre 80 a 100 kg/ha en el caso del S elemental.

Una vez corregido el nivel de azufre, el fósforo se puede aportar en forma de superfosfatos, cuya dosis dependerá de los niveles de P en el suelo. Una vez corregido el fósforo a niveles sobre 20 a 25 mg/kg (Olsen), se utilizan dosis de mantención del orden de 30 a 40 kg de P_2O_5 /ha. En suelos ácidos puede ser recomendable utilizar fuentes menos solubles como la roca fosfórica.

Las dosis de fertilización indicadas debieran ajustarse de acuerdo a los rendimientos esperados en las praderas y/o cultivos.

Literatura consultada

- Andraski, T., and L.G. Bundy. 2008. Corn residue and nitrogen source effects on nitrogen availability in no-till corn. *Agronomy Journal* 100:1274-1279.
- Alvarado, R., R. Madariaga, y A. Gómez. 1991. Pudrición del tallo en arroz: Respuesta varietal. *IPA Quilamapu* 50:32-35.
- Angus, J.F., M. Ohnishi, T. Horie, and L. Williams. 1994. A preliminary study to predict net nitrogen mineralization in a flooded rice soil using anaerobic incubation. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34:995-999.

- Atanasiu, N., y J. Samy. 1985. Nutrición de la planta: fertilizantes y abonos orgánicos para el arroz. En: Arroz uso eficaz de los fertilizantes. Conzett + Huber AG, Zurich, Suiza.
- Baghdadi, M., and A. Sadowski. 1998. Estimation of nutrient requirements of sour cherry. *Acta Horticulturae* 468:515-521.
- Bengtsson, B., and P. Jensén. 1997. Uptake and transport of calcium and boron in apple trees. Third International Symposium on Mineral Nutrition of deciduous Fruit Trees. p. 87. Zaragoza, Spain.
- Benton, J. 1998. Plant nutrition manual. 149 p. CRC Press LLC, Washington, USA.
- Brooke, A., and R. Stevens. 1994. Tree fruit nutrition. A comprehensive manual of deciduous tree fruit nutrient needs. Washington State Fruit Commission. Published by Good Fruit Grower. 211 p.
- Bushong, J.T., R.J. Norman, W.J. Ross, N.A. Slaton, C.E. Wilson, and E.E. Gbur. 2007. Evaluation of several indices of potentially mineralizable soil nitrogen. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38:2799-2813.
- Campillo, R., C. Jobet, y P. Undurraga. 2007. Optimización de la fertilización nitrogenada para trigo de alto potencial de rendimiento en Andisoles de la Región de La Araucanía, Chile. *Agricultura Técnica, Chile* 67:281-291.
- Campillo, R., C. Jobet, and P. Undurraga. 2010. Effects of nitrogen on productivity, grain quality, and optimal nitrogen rates in winter wheat cv. Kumpa-INIA in Andisols of Southern Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70:122-131.
- Cherney, D.J., J.H. Cherney, and E.A. Mikhailova. 2002. Orchardgrass and tall fescue utilization of nitrogen from dairy manure and commercial fertilizer. *Agronomy Journal* 94:405-412.
- Chescheir, G.M., P.W. Westerman, and L.M. Safley Jr. 1986. Laboratory methods for estimating available nitrogen in manures and sludges. *Agricultural Wastes* 18:175-195.
- Circular 9B/20, Instruye en relación a utilización de guano de aves de carne, MINSA, JULIO 2001.
- Cordero-Vásquez, A., and J.I. Murillo-Vargas. 1990. Removal of nutrients by rice cultivar CR 1821 under flood irrigation. *Agronomía Costarricense* 14:79-83.
- Coulter, J., and E.D. Nafziger. 2008. Continuous corn response to residue management and nitrogen fertilization. *Agronomy Journal* 100:1774-1780.

- Cuevas, G., F. Martínez, and I. Walter. 2003. Field-grown maize (*Zea mays L.*) with composted sewage sludge. Effects on soil and grain quality. Spanish Journal of Agricultural Research 1:111–119.
- Fernández, M. 1996. Influencia de la fertilización de largo plazo en el cultivo de maíz y en la residualidad de P y K en un Mollisol calcáreo. Agricultura Técnica (Chile) 56:107–115.
- Frageria, N.K., Carvalho, G.D., Santos, A.B., Ferreira, E.P.B., and Knupp, A.M. 2011. Chemistry of Lowland Rice Soils and Nutrient Availability. Communications in Soil Science and Plant Analysis 42:1913–1933
- Grist, D.H. 1975. Rice. 5th ed. Longman, London, UK.
- Halvorson, A.D., D.C. Nielsen, and C.A. Reule. 2004. Nitrogen fertilization and rotation effects on no-till dryland wheat production. Agronomy Journal 96:1196–1201.
- Hargreaves, J. 2008. The use of compost and compost teas in the production of strawberries and raspberries. Ph.D. Tesis. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia.
- Hargreaves, J., M.S. Adl., and P.R. Warman. 2009. Are compost teas an effective nutrient amendment in the cultivation of strawberries? Soil and plant tissue effects. J Sci Food Agric 89:390–397.
- Haynes, R.J., and M.S. Mokolobate. 2001. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. Nutrients Cycling and Agroecosystems 59:47–63.
- Hepp, C. y Stolpe, N.B. 2014. Caracterización y propiedades de los suelos de la Patagonia Occidental (Aysén). Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigación INIA Tamel Aike, Coyhaique, Chile. Boletín Técnico Nº 298, 138pp.
- Hepp, C., Teuber, O., Salvo, R., Pinochet, D., Cisternas, E., Galdames, R., Elizalde, F. y Tapia, M. 2011. Cultivo y utilización de brásicas forrajeras en la Patagonia húmeda (Aysén). Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. C.Hepp (ed.). Coyhaique, Chile, 2011. Boletín Técnico Nº 228, 116 p.
- Herrmann, A., and F. Taube. 2004. The range of the critical nitrogen dilution curve for maize (*Zea mays L.*) can be extended until silage maturity. Agronomy Journal 96:1131–1138.

- Hewstone, C. 1999. Producción de materia seca y absorción de macro y micro-nutrientes en trigo cultivado en el sur de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 59:271-282.
- Hirzel, J., y S. Best. 2002. Necesidades nutricionales del cultivo de maíz en el valle regado de la VIII región. *Informativo Agropecuario BIOLECHE - INIA-QUILAMAPU 15-3*. VIII región. Chile.
- Hirzel, J. 2004. Fertilización del cultivo. p. 49-75. En M. Mellado (ed.) *Boletín de trigo 2004. Manejo tecnológico*. Boletín INIA N° 114. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.
- Hirzel, J. 2007. Estudio comparativo entre fuentes de fertilización convencional y orgánica, cama de broiler, en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. España. 139 p.
- Hirzel, J., I. Matus, F. Novoa, and I. Walter. 2007a. Effect of poultry litter on silage maize (*Zea mays L.*) production and nutrient uptake. *Spanish Journal of Agricultural Research* 5:102-109.
- Hirzel, J., I. Walter, P. Undurraga, and M. Cartagena. 2007b. Residual effects of poultry litter on silage maize (*Zea mays L.*) growth and soil properties derived from volcanic ash. *Soil Science and Plant Nutrition* 53:480-488.
- Hirzel, J., and I. Walter. 2008. Availability of nitrogen, phosphorous and potassium from poultry litter and conventional fertilizers in a volcanic soil cultivated with silage corn. *Chilean Journal of Agricultural Research* 68:264-273.
- Hirzel, J., F. Novoa, P. Undurraga, and I. Walter. 2009. Short-term effects of poultry litter application on silage maize (*Zea mays L.*) Yield and soil chemical properties. *Compost Science and Utilization* 17(3):189-196.
- Hirzel, J., and S. Best. 2009. Effect of two rootstocks on the seasonal nutritional variability of Braeburn apple. *International Plant Nutrition Colloquium*. Paper 1375. Davis, California, USA.
- Hirzel, J., P. Undurraga and I. Walter. 2010. Mineralization of nitrogen and nutrients released in a volcanic soil amended with poultry manure. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70(1):113-121.
- Hirzel, J. *Fertilización de Cultivos en Chile*. 2011 (Editor). Colección Libros INIA N-28, Chillán, Chile. 434 p.
- Hirzel, J., y F. Salazar. 2011. Uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización en cultivos. *Fertilización de Cultivos en Chile*. Hirzel, J. (Editor). Colección Libros INIA N°28, Chillán, Chile. 2011. 434 p.

- Hirzel, J. 2011. Acumulación de nutrientes en Frutos de Arándano. Revista Red Agrícola 40:36-41.
- Hirzel, J., P. Undurraga, y J. González. 2011. Chemical properties of volcanic soil as affected by seven years rotations. Chilean Journal of Agricultural Research 71:304-312.
- Hirzel, J., K. Cordero, C. Fernández, J. Acuña, M. Sandoval, and E. Zagal. 2011. Soil potentially mineralizable nitrogen and its relation to rice production and nitrogen needs in two paddy rice soils of Chile. J. Plant Nut. Japón 35:396-412.
- Hirzel, J. F. Cerda, P. Millas and A. France. 2012. Compost Te effects on Production and extraction of nitrogen in ryegrass cultivated on soil amended with commercial compost. Compost&Science Utilization 20(2):97-104.
- Hirzel, J. y R. Galdames. 2013. Acumulación de nutrientes en frutos de peras: estudio prospectivo en un huerto comercial. Revista Frutícola 1:42-45.
- Hirzel, J., and P. Undurraga. 2013. Nutritional Management of Cereals Cropped Under Irrigation Conditions. pp: 99-130. In: Crop Production, Aakash Goyal and Muhammad Asif (Ed). ISBN 978-953-51-1174-0. 190 p.
- Hirzel, J., L. León, F. Flores, and F. Cerda. 2013. Manure-Based Organic soil amendments provide an adequate nutritional source for corn production in Chile when combined with urea applications. Compost&Science 21:1-13.
- Hirzel, J., M. Barrera, y A. Ried. 2013a. Necesidades nutricionales del olivo cultivar Arbequina de diferentes edades. Parte 1: Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Revista Tierra Adentro 102:47-50.
- Hirzel, J., M. Barrera, y A. Ried. 2013b. Necesidades nutricionales del olivo cultivar Arbequina de diferentes edades. Parte 2: Calcio, Magnesio y Azufre. Revista Tierra Adentro 102:51-54.
- Hirzel, J. 2014. Acumulación de nutrientes en frutos de kiwi: estudio prospectivo en un huerto comercial. Revista Frutícola 35:53-56.
- Hirzel, J., S. Rebollo, M. Carus, y V. Bianchini. 2014. Estudio de la composición nutricional de árbol de nogal adulto. Revista Frutícola 36:53-56.
- Hirzel, J. 2014 (Editor). Diagnóstico Nutricional y Principios de Fertilización en Frutales y Vides. Segunda edición aumentada y corregida. Colección Libros INIA-31. ISSN 0717-4713. 322 p.
- Hirzel, J., and I. Walter. 2015. Pig Compost Use on Zinc and Copper Concentrations in Soils and Corn Plants. American Journal of Plant Sciences 6:524-536.

- Jensen, L.S., I.S. Pedersen, T.B. Hansen, and N.E. Nielsen. 2000. Turnover and fate of 15N-labelled cattle slurry ammonium-N applied in the autumn to winter wheat. European Journal of Agronomy 12:23–35.
- Johnson, V., A. Dreier, and P. Grabouski. 1973. Yield and protein responses to nitrogen fertilizer of two winter wheat varieties differing in inherent protein content of their grain. Agronomy Journal 65:259–263.
- Jokela, W.E., and G.W. Randall. 1997. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time and rate of application on maize. Soil Science Society of America Journal 61:1695–1703.
- Jordan-Meille, L., and S. Pellerin. 2004. Leaf area establishment of a maize (*Zea mays* L.) field crop under potassium deficiency. Plant and Soil 265(1–2):75–92.
- Kim, K., D.E. Clay, C.G. Carlson, S.A. Clay, and T. Trooien. 2008. Do synergistic relationships between nitrogen and water influence the ability of corn to use nitrogen derived from fertilizer and soil? Agronomy Journal 100:551–556.
- Kowalenko, C. 1994. Growing season dry matter and macroelement accumulations in Willamette red raspberry and related soil-extractable macroelement measurements. Canadian Journal of Plant Science 74:565–571.
- Kumura, A. 1956. Studies on the effect of internal nitrogen concentration of rice plant on the constitutional factor of yield. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 24:177–180.
- Laos, F., P. Satti, I. Walter, M.J. Mazzarino, and S. Moyano. 2000. Nutrient availability of composted and noncomposted residues in a Patagonian Xeric Mollisol. Biology and Fertility of Soils 31:462–469.
- Marschner, H. 1990a. Functions of mineral nutrients: macronutrients. Part I Nutritional Physiology. p. 195–267. In Marschner, H. (ed.) Mineral nutrition of high plants. Academic Press Limited, London, England.
- Marschner, H. 1990b. Functions of mineral nutrients: Micronutrients. Part I Nutritional physiology. p. 269–340. In Marschner, H. (ed.) Mineral nutrition of high plants. Academic Press Limited, London, England.
- Mellado, Z.M. 2007. Importancia y evolución del trigo en Chile. In M. Mellado (ed) El trigo en Chile. Cultura, ciencia y tecnología. Colección Libros INIA Nº 21. p. 15–35. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Millner, J.P., R. Villaver, and A.K. Hardacre. 2005. The yield and nutritive value of maize hybrids grown for silage. New Zealand Journal of Agricultural Research 48:101–108.

- Navarro, S., y G. Navarro. 2003. Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. 478 p. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Pang, X.P., and J. Letey. 2000. Organic farming: challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(1):247-253.
- Policarpo, M., L. Di Marco, T. Caruso, P. Gioacchini, and M. Tagliavini. 2002. Dynamics of nitrogen uptake and partitioning in early and late fruit ripening peach (*Prunus persica*) tree genotypes under a mediterranean climate. *Plant and Soil* 239:207-214.
- Preusch, P.L., P.R. Adler, L.J. Sikora, and T.J. Tworkosky. 2002. Nitrogen and phosphorus availability in composted and uncomposted poultry litter. *Journal of Environmental Quality* 31(6):2051-2057.
- Plénet, D., S. Etchebest, A. Mollier, and S. Pellerin. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. *Plant and Soil* 223:117-130.
- Redman, M.H., S.A. Wigglesworth, and A.J.A. Vinten. 1989. Nitrogen dynamics of a leguminous green manure. p. 98-112. In Hansen, J., and K. Henriksen (eds.) *Nitrogen in organic wastes applied to soils*. Academic Press, San Diego, California, USA.
- Rettke, M., T. Pitt, N. Maier, and J. Jones. 2006. Quality of fresh and dried fruit of apricot (cv. Moorpark) in response to soil-applied nitrogen. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46:123-129.
- Rodriguez, A., W. Hoogmoed, and L. Brussaard. 2008. Soil quality assessment in rice production systems: establishing a minimum data set. *Journal of Environment Quality* 37:623-630.
- Rogers, B.F., U. Krogmann, and L.S. Boyles. 2001. Nitrogen mineralization rates of soils amended with nontraditional organic wastes. *Soil Science* 166:353-363.
- Roy, R.N., A. Finck, G.J. Blair, and H.I.S. Tandon. 2006. Plant nutrients and basics of plant nutrition. p. 25-42. In Roy, R.N. et al. (eds.) *Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management*. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 16. FAO, Rome, Italy.
- Sahrawat, K. 2006. Organic matter and mineralizable nitrogen relationships in wetland rice soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 37:787-796.
- Sainz, H.R., Echeverría, H.E., and Barbieri, P.A. 2004: Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. *Agron. J.* 96(6), 1622-1631.

- Schreiner, R., C. Scagel, and J. Baham. 2006. Nutrient uptake and distribution in mature "Pinot noir" vineyard. *HortScience* 41(2):336–345.
- Sharma, P., C. Chatterjee, C. Sharma, and S. Agarwala. 1986. Zinc deficiency and anther development in maize. *Plant and Cell Physiology* 28:11–18.
- Sheehy, J.E., M. Mnzava, K.G. Cassman, P.L. Mitchell, P. Pablico, R.P. Robles, and A. Ferrer. 2004. Uptake of nitrogen by rice studied with a 15N point-placement technique. *Plant and Soil* 259:259–265.
- Shimizu, T. 1967. Processes of yield formation in rice plants from the point of dry matter production (in Japanese). *Dry Matter Production in Crops* 4:12–26.
- Sims, J.T., and D.C. Wolf. 1994. Poultry waste management: agricultural and environmental issues. *Advances in Agronomy* 52:1–83.
- Smith, G.S., C.J. Clark, and J.G. Buwalda. 1988. Nutrients dynamics of a kiwifruit ecosystem. *Scientia Horticulturae* 37:87–109.
- Stassen, P., and M. North. 2005. Nutrient distribution and requirement of 'Forelle' pear trees on two rootstocks. *Acta Horticulturae* 671:493–500.
- Soon, Y., A. Haq, and M. Arshad. 2007. Sensitivity of nitrogen mineralization indicators to crop and soil management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38:2029–2043.
- Soto, P., E. Jahn, y S. Arredondo. 2002. Población y fertilización nitrogenada en un híbrido de maíz para ensilaje en el valle regado. *Chilean Journal of Agricultural Research* 62:255–265.
- Tagliavini, M., C. Zavalloni, A. Rombola, M. Quartieri, D. Malaguti, F. Mazzanti, P. Millard, and B. Marangoni. 2000. Mineral nutrient partitioning to fruits of deciduous trees. *Acta Horticulturae* 512:131–140.
- Tanaka, A., S. Patnaik and C.T. Abichandani. 1959. Studies on the nutrition of rice plant. III. Partial efficiency of nitrogen absorbed by rice plant at different stages of growth in relation to yield of rice (*O. sativa*, var. *indica*). *Proc. Indian Acad. Sci. Sec. B* 49(4):207–216.
- Tyson, S.C., and M.L. Cabrera. 1993. Nitrogen mineralization in soils amended with composted and uncomposted poultry litter. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 24(17–18):2361–2374.
- Val, J., A. Gil, Y. Aznar, E. Monge and A. Blanco. 2000. Nutritional study of an apple orchard as endemically affected by Bitter Pit. *Acta Horticulturae* 512. P. 493–502.

- Villalobos, R. 2008. Evaluación de enmiendas orgánicas como fuentes alternativas de fertilización en el cultivo de arroz. Tesis de Ingeniero Agrónomo. 34 p. Universidad de Talca, Talca, Chile.
- Whalen, J.K., C. Chang, G.W. Clayton, and J.P. Carefoot. 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Science Society of America Journal* 64:962-966.
- Wienhold, B. 2007. Comparison of laboratory methods and an in situ method for estimating nitrogen mineralization in an irrigated silt-loam soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38:1721-1732.
- Yuri, J. 2002. Nutrición Mineral en Pomáceas. Bitter pit: "Un problema vigente". *Revista Frutícola Vol 23(1)*. Centro de Pomáceas, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca.
- Zavalloni, C., B. Marangoni, M. Tagliavini, and D. Scudellari. 2001. Dynamics of uptake of calcium, potassium and magnesium into apple fruit in a high density planting. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Mineral Nutrition of Deciduous Fruit Crops. Acta Horticulturae* 564:113-122.

Capítulo 4

Producción sustentable de cultivos con manejo de rastrojos

Carlos Ruiz S.

La quema de rastrojos es una práctica que afecta la sustentabilidad agrícola y se utiliza para facilitar el establecimiento del cultivo que sigue en la rotación. En Chile durante el año 2018 se quemaron en forma controlada 248.399,94 ha, de las cuales 226.395,90 ha (91,14%) corresponden a quemas de rastrojos y desechos agrícolas, y el resto a desechos forestales. Las quemas de origen agrícola las encabeza la Región de La Araucanía con 137.924,76 ha, seguida por la Región del Ñuble con 35.846,11 ha, ambas representan el 76,75% de las quemas de origen agrícola del país (Conaf). No obstante, quemas agrícolas se realizan en todas las regiones de Chile y están reguladas por el Decreto Ley N° 276 de 1980.

En el año 2018 la quema de rastrojos de trigo ocupó el primer lugar con 110.097,18 ha, de las cuales 66.518,68 ha (60,41%) corresponden a la Región de La Araucanía y 22.109,87 ha (20,08%) a la Región del Ñuble. Las quemas de rastrojos de avena ocupan el segundo lugar con 54.850,74 ha, de las cuales 39.518,88 ha (72,04 %) se queman en la Región de La Araucanía y 8.333,82 ha (15,19%) en la Región del Ñuble. Las quemas de rastrojos de maíz a nivel nacional también tienen relevancia y alcanzan a 6.055,07 ha con un 59,29% en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, 10,73% en la Región del Biobío y un 9,99 % en la Región del Ñuble (Conaf).

De las cifras expuestas se concluye que la quema de los residuos agrícolas es un problema de enorme envergadura en el país, tanto por sus implicancias agro-nómicas como ambientales. En efecto, la quema de rastrojos, facilita la erosión de los suelos y afecta negativamente su fertilidad natural que es esencial para mantener su productividad. Adicionalmente, la combustión genera pérdida de nutrientes, muerte de microorganismos del suelo, emisión de gases de efecto invernadero, gases contaminantes y material particulado dañino para la salud humana. Cuando el rastrojo no se quema y se maneja adecuadamente presenta una serie de beneficios, entre ellos mejora el ambiente y micro fauna del suelo,

mejora la infiltración de las aguas lluvias, incrementa la retención de humedad, retarda la germinación de las malezas y disminuye la erosión, entre otros. Además, los rastrojos pueden ser fuente importante como recurso alimenticio básico para animales en época de escasez de forraje y pueden constituir adicionalmente un importante recurso para generar energía, entre otros usos.

INIA y algunas universidades han propuesto manejos alternativos de los rastrojos para evitar el uso del fuego. Algunas soluciones para el manejo sin quema son enfardar y retirar parte del rastrojo, triturar la caña remanente y/o adicionalmente mezclarla con el suelo. Una solución un tanto más económica, que se ha venido desarrollando los últimos años, es picar y distribuir todo el rastrojo con la cosechadora, luego triturar el residuo de caña y después mezclar todo con el suelo. La alternativa de sembrar sobre caña parada, con retiro del 50% del rastrojo en trigo y avena se encuentra actualmente en evaluación a nivel de campo. En este capítulo se detalla el procedimiento para establecer un manejo de rastrojos y se entregan algunos antecedentes de referencia de costos de la quema.

4.1. Acondicionamiento del suelo

Para iniciar cultivos con manejo de rastrojos es muy necesario inicialmente hacer un estudio de suelo que permita observar su perfil y evaluar si existe algún impedimento físico para el desarrollo radicular de los cultivos. En muchas oportunidades y por años de uso del suelo se genera pie de arado, que es una compactación sub superficial que incluso se presenta en los suelos de origen volcánico, y es necesario eliminar a través de un subsolado para facilitar la infiltración de agua y desarrollo radicular.

Para determinar la existencia de pie de arado lo más práctico es hacer una calicata, que consiste en hacer un hoyo de 70 x 70 cm, con unos 80 cm de profundidad y examinar con una cortapluma en sus paredes la presencia de alguna capa dura que correspondería a la zona compactada, luego se debe medir a qué profundidad se encuentra esta capa, y con esta información regular la profundidad del subsolador de tal manera que sobrepase la capa dura detectada. Esta labor se debe efectuar a comienzos de primavera del año anterior o a fines de marzo si las condiciones del suelo lo permiten. Una vez realizado el subsolado, según la vegetación existente, se debe realizar un rastraje o una mezcla de los rastrojos con el suelo para después realizar un barbecho químico y dejar el suelo en condiciones de sembrar. El subsolado debe repetirse cada 4 o 5 años si las condiciones del suelo lo requieren.

4.2. Rotación de cultivos para introducir manejo de rastrojos

Para establecer cultivos con manejo de rastrojos es esencial planificar la rotación de cultivos de especies pertenecientes a familias diferentes. Se deben usar cultivos con características biológicas y requerimientos agronómicos contrastantes, por ejemplo, después de raps o de una leguminosa forrajera o de grano, sembrar trigo. En un esquema de rotación más amplio las praderas anuales o permanentes se adaptan muy bien para incluirlas en un esquema de rotación a largo plazo para establecer cultivos sin quema de rastrojos. La rotación de cultivos aporta al control de enfermedades, control de plagas, control de malezas, aumento de los nutrientes residuales en el suelo y finalmente al aumento de la sustentabilidad agrícola. Por las razones anteriores se debe evitar el monocultivo.

Un ejemplo de lo señalado anteriormente es el caso de la enfermedad del mal del pie (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*) que ataca las raíces de trigo. La inclusión de raps o alguna leguminosa (arveja, lenteja o lupino) en la rotación por sólo 1 año es suficiente para reducir el inóculo del hongo a niveles seguros para el cultivo de trigo. Sin embargo, el raps o la leguminosa deben crecer libre de gramíneas para romper el ciclo de la enfermedad. La avena también se puede utilizar en rotación con trigo para bajar la incidencia de mal del pie, pero es menos recomendable dado que es susceptible a Fusariosis, que es otra enfermedad radical de importancia en trigo (Silva, P., Vergara, W., y Acevedo, E. 2015).

Figura 4.1. Trigo Pantera-INIA, a la izquierda, establecido en agosto y trigo Roky-INIA, a la derecha, establecido en mayo, ambos sobre 10 t/ha de rastrojo de avena mezclado con el suelo. El Carmen, Región de Ñuble.



4.3. Manejo de la paja

La cantidad de paja producida por un cultivo es muy variable, y depende del tipo de suelo del área agroecológica, del manejo del cultivo, de la variedad utilizada y del rendimiento, por lo que existen fluctuaciones en los niveles de producción. La cantidad de paja producida puede ser calculada en función de su índice de cosecha (IC); este índice se obtiene de la relación entre el peso del grano y el peso total de la planta a la madurez sin considerar las raíces. Este índice puede variar de acuerdo a la zona, variedad y manejo del cultivo. El índice de cosecha (IC) = Peso del grano / Peso total planta excepto raíces. En tanto, Producción de paja (t/ha) = Producción de grano (t/ha) x (1 - IC) / IC (Mellado, 2007). El índice de cosecha del trigo harinero y trigo candeal es 0,45; de la avena 0,37; del triticale 0,29; de la cebada cervecera 0,45 y del maíz 0,46.

El manejo de la paja se debe iniciar a la cosecha, en la actualidad para los rastrojos de trigo, triticale, avena, cebada se están usando tres alternativas, pudiendo existir otras:

- a) Retiro parcial de la paja (50%) y mezcla del remanente con el suelo.
- b) Retiro parcial (50%) y trituración del remanente.
- c) Picado y esparcido del total del rastrojo con la cosechadora automotriz.

El retiro parcial de 50% de la paja obedece a que se debe asegurar, en zonas de secano, su descomposición durante el año, ya sea mezclándola con el suelo o sembrando directamente sobre ella. En ambos casos, el mezclado con el suelo y/o trituración, se debe realizar lo más lejano posible a la fecha de siembra, inmediatamente antes de iniciadas las lluvias en el mes de marzo, para evitar riesgo de incendios y dar un posible aprovechamiento como recurso para la alimentación animal.

Con las últimas tecnologías disponibles y el acceso económico a ellas, se ha constatado que el picado y distribución de la paja con la cosechadora y su posterior mezclado con el suelo permite una mejor acción de microrganismos descomponedores de la paja y se ha constituido en una alternativa viable, incluso en zonas de secano, y es posible realizar en algunas áreas de mayor y mejor distribución de la pluviometría desde la Región del Biobío al sur. En áreas con seguridad de riego el mezclado de paja con el suelo se puede realizar desde la Región Metropolitana al sur.

Cabe señalar que el concepto “mezcla de rastrojos con el suelo” se refiere a una distribución de la paja en el perfil del suelo, en tanto “incorporación de los rastrojos” se refiere a la labor que realiza un arado de vertedera convencional y que permite

dejar todos los rastrojos en profundidad, con el inconveniente que esta práctica no es la más recomendable para favorecer una descomposición rápida de los rastrojos.

Figura 4.2. Sembradora equipada con disco turbo frontal para sembrar sobre rastrojos.



En el caso del maíz, cuyas cañas no se cortan durante la cosecha, sino que las mazorcas son arrancadas de las cañas, la industria de la maquinaria ha ideado un sistema, en que por debajo del cabezal recolector va montado un sistema picador de caña denominado "Hichopper". Esta tecnología ya está disponible en Chile, como por ejemplo la plataforma de la marca alemana Geringhoff. Los rastrojos de maíz se pueden mezclar con el suelo. También se puede sembrar directamente sobre ellos.

Figura 4.3. Rastrojo de avena (10 t/ha) mezclado con suelo. El Carmen, Ñuble, marzo 2018.



4.4. Descomposición de los rastrojos

La tasa de descomposición de los rastrojos depende de su relación carbono/nitrógeno (C/N), de su manejo y de las características del suelo. Dentro de los factores relacionados con el suelo, la temperatura y humedad son determinantes para la descomposición de los rastrojos.

Desde el inicio de las lluvias, con el rastrojo mezclado con el suelo y con disponibilidad de humedad, se activan los procesos biológicos, donde los microrganismos empiezan a descomponer los rastrojos. En términos prácticos, estos microorganismos reciclan los nutrientes, generando beneficios para el suelo, los cultivos y para la economía del productor. Por lo general, en suelos volcánicos, se está en condiciones de realizar la mezcla del rastrojo con el suelo desde de marzo, con las primeras lluvias, iniciándose el proceso de descomposición de los rastrojos.

Si se desea apurar la descomposición del rastrojo y no causar hambre de nitrógeno al cultivo que se establecerá, es recomendable aplicar 10 kg de nitrógeno por tonelada de rastrojo, si los residuos son de trigo u otros cereales menores, en tanto que si se trata de residuos de maíz, la dosis recomendada es de 7 kg de nitrógeno por cada tonelada de rastrojo que queda en el suelo.

4.5. Manejo de cereales de grano pequeño con manejo de rastrojos

Como se ha señalado, para sembrar con rastrojos se requiere un acondicionamiento previo del suelo y planificar rotación de cultivos y manejo de la paja. No obstante, se debe implementar un manejo agronómico que en su conjunto otorgue las mejores condiciones a los cultivos. En este sentido se debe considerar evaluar la fertilidad de los suelos, realizar barbecho químico, usar variedades mejoradas de alto potencial de rendimiento y controlar malezas. Al menos cada 4 años se debe realizar un análisis de suelo completo y solicitar la recomendación pertinente, en cuanto a nutrientes faltantes, forma y época de aplicación y producción esperada.

El barbecho químico se debe realizar una vez concluido el manejo de la paja y antes de la siembra, una vez emergidas las malezas cuando éstas tengan a lo menos dos hojas expandidas. Se debe aplicar un herbicida de acción total, que elimine todas las malezas, luego de esta aplicación se recomienda no remover el suelo, dado que esta acción promueve la emergencia de nuevas malezas.

Es recomendable utilizar variedades mejoradas de alto potencial de rendimiento porque constituyen un seguro para el productor y, se debe hacer un esfuerzo por

sembrarlas y otorgarles las condiciones para que expresen su potencial. Para ello INIA elabora y entrega a los productores todos los años una cartilla de Recomendación Nacional de Variedades de Trigos Harineros y Candeales. El productor debe prestar atención a esta cartilla identificando la zona para la cual se recomienda cada variedad, su época de siembra más adecuada y la dosis de semilla recomendada. Asimismo, esta cartilla incluye información de características agronómicas y su comportamiento frente a enfermedades, como también las características de calidad de cada variedad.

La época de siembra se debe ajustar a la recomendación para cada variedad, en este sentido una alternativa interesante para trigo de secano en zonas de alta y buena distribución pluviométrica, es utilizar variedades precoces sembradas tarde en junio y/o julio. Por ejemplo, para manejar adecuadamente los rastrojos de avena en la precordillera de Ñuble, se atrasó la época de siembra del trigo hasta mediados de julio, utilizando la variedad Pantera-INIA y siguiendo la recomendación de variedades. Los resultados obtenidos demostraron que se puede retrasar la época de siembra hasta mediados de julio en aquellos suelos que no presentan impedimentos para la circulación de la maquinaria agrícola, con el consiguiente beneficio para la descomposición de los rastrojos.

Figura 4.4. Siembra de trigo Pantera-INIA sobre rastrojo avena mezclado con suelo, tercera semana julio 2018. El Carmen. Región del Ñuble.



Cuadro 4.1. Rendimiento de trigo Pantera-INIA, sembrada en secano sobre todo el rastrojo de avena picado y mezclado con el suelo (7 a 10 t/ha de rastrojo avena). Costo, ingreso y margen bruto en pesos nominales. Temporadas 2016, 2017 y 2018. El Carmen, Región de Ñuble.

| Fecha de siembra | Rendimiento (qqm/ha) | Pluviometría (mm/año) | Costo, \$/ha, s/IVA | Ingreso, \$/ha | Margen bruto, \$/ha |
|------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| 26/07/2016 | 66 | 705,8 | 636.590 | 924.000 | 287.410 |
| 24/07/2017 | 72 | 873,6 | 690.063 | 1.152.000 | 461.937 |
| 18/07/2018 | 90 | 1.016,8 | 839.153 | 1.022.575 | 597.425 |

4.6. Costos del manejo de rastrojos

La quema de los rastrojos tiene costos, ya que es necesario solventar trámites legales y realización de labores de adecuación en el potrero para la quema. Debe considerarse que el Aviso de Quema es obligatorio y se realiza en las oficinas de la Corporación Nacional Forestal (Conaf), encargada de otorgar un comprobante de aviso de quema del que se debe llevar copia a Carabineros y Bomberos.

Para realizar la quema por ejemplo de rastrojo de trigo, se deben construir cortafuegos en el borde del potrero, por lo general cortando la caña de trigo lo más abajo posible, hilerarla hacia adentro y luego rastrear generando una franja sin vegetación en el contorno. Adicionalmente se debe disponer de equipos-estanque con agua para enfrentar cualquier emergencia de incendio y finalmente disponer de personal para manejar el fuego durante la quema del rastrojo.

Un procedimiento especial de Plan de Quemas se debe seguir ante Conaf cuando la ejecución se realiza a orillas de alguna carretera. Entrevistas sostenidas con productores de la precordillera de Ñuble, permitió estimar para la temporada 2016/2017 en \$11.610 el costo de la quema de 1 ha de rastrojos de trigo, cálculo obtenido a partir de un potrero promedio de 10 ha.

No quemar los rastrojos de trigo permite ahorrar los nutrientes perdidos por esta acción, que en trigo alcanza valores de 98% a 100% del nitrógeno, 20% y 40% de fósforo y potasio, y 70% a 90% de azufre. Asimismo, la cantidad de nutrientes de las cenizas perdidas por arrastre, debido a la acción del viento y aguas lluvias se estima en un 50%. El ahorro generado por la no quema y su incidencia en el costo total de las diferentes alternativas de manejo de los rastrojos se indican en el **Cuadro 4.2**.

Cuadro 4.2. Costo económico por la implementación de alternativas de no quema de 7,5 t/ha de rastrojos en trigo. Temporada 2016/2017, \$/ha, valores sin IVA.

| Ítems valorados | Alternativas de manejo | | |
|---|---|---|---|
| | (a) Retiro 50% paja y mezcla remanente con el suelo | (b) Retiro 50% paja y trituración remanente | (c) Picado y esparcido total rastrojo con cosechadora |
| Costo del manejo de rastrojo sin quema, \$/ha | 161.800 | 151.800 | 122.000 |
| Ahorro por la no pérdida de nutrientes sin quema, \$/ha | 37.707 | 34.707 | 69.413 |
| Ahorro por la no quema, \$/ha | 11.610 | 11.610 | 11.610 |
| Costo económico de cada alternativa por no quema, \$/ha | 112.483 | 105.483 | 40.997 |

4.7. Consideraciones finales

Para iniciar cultivos con manejo de rastrojos se debe definir protocolo con procedimientos a seguir para cada micro-ambiente (por rotación, tipo de suelo y el micro-clima correspondiente). El manejo de rastrojos se debe iniciar a la cosecha. Implementar un sistema con manejo de rastrojo sin quema requiere un enfoque de trabajo integral de los cultivos del predio.

Los costos de manejo de rastrojos constituyen una limitante para iniciar la adopción de manejo sin quema. El costo asociado al cambio de quema a manejo de rastrojo sin quema es equivalente a 3,7 - 6,5 qqm/ha de trigo. Sin embargo, de acuerdo a antecedentes internacionales, en el mediano y largo plazo este problema se soluciona por el aumento de la productividad.

Cumpliendo con las exigencias de manejo de los rastrojos y del cultivo de cereales, descritos brevemente en este capítulo, las variedades pueden alcanzar rendimientos aceptables.

Literatura consultada

- Acevedo, E., y P. Silva. 2003. Agronomía de la cero labranza. Serie Ciencias Agronómicas N° 10. 132 p. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.
- Acevedo, E. (ed.) 2003. Sustentabilidad en cultivos anuales cero labranza. Manejo de rastrojos. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. 184 p. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.
- Conaf. Sistema de Asistencia a Quemas Controladas. Disponible en: <http://pruebas.saq.conaf.cl/login/index.php?nocache=7307960605ade25960a067>
- Crovetto, C. 2002. Cero labranza. Los rastrojos, la nutrición del suelo y su relación con la fertilidad de las plantas. 225 p. Trama Impresores S.A., Talcahuan, Chile.
- Mellado, M. 2006. El trigo en Chile. Cultura, ciencia y tecnología. Colección Libros INIA N°21. 684 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Riquelme, J., y Saavedra, M. 2015. Manejo de rastrojos de cereales. En Ruiz, C. (ed.) Rastrojos de cultivos y residuos forestales. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego en la Región del Biobío. Boletín INIA N° 308. 196 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Ruiz, C. (ed.) 2015. Rastrojos de cultivos y residuos forestales. Programa de Transferencia de Prácticas Alternativas al Uso del Fuego en la Región del Biobío. Boletín INIA N° 308. 196 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Ruiz, C., y Villavicencio, A. 2017, Procedimientos para establecer y manejar cultivos sin quema de rastrojos en la precordillera de Ñuble. Ficha Técnica INIA Quilamapu N°1, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. 2 p. Disponible en <http://biblioteca.inia.cl/medios/fichas-tecnicas/suelos/Ficha01-Suelos-Quilamapu.pdf>
- Ruiz, C. 2018. Costos del manejo de rastrojos de trigo en la precordillera de Ñuble. Informativo INIA Quilamapu N° 137, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. 3 p. Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40904.pdf>
- Silva, P., Vergara, W., y Acevedo, E. 2015. Rotación de cultivos. En: Ruiz, C. (ed.) Rastrojos de Cultivos y Residuos Forestales, Programa de Transferencia de

Prácticas Alternativas al Uso del Fuego en la Región del Biobío. Boletín INIA N° 308. 196 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.

Taladriz, A., y Schwember, A. 2012. Cereales en las zonas centro-sur y sur de Chile, ¿Qué hacer con los rastrojos? Revista N° 46 - Diciembre - 2012. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago, Chile.

Vidal, I., y Troncoso, H. 2003. Manejo de rastrojos en cultivos bajo cero labranza. En: Acevedo, E. (ed.) Sustentabilidad en Cultivos Anuales: Cero Labranza, Manejo de Rastrojos. Serie Ciencias Agronómicas N° 8. p. 57-82. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile.

Capítulo 5

Manejo sustentable de artrópodos plaga

Ernesto Cisternas A. y Fernando Rodríguez A.

La presencia de insectos, ácaros y microorganismos que generan algún nivel de daño sobre las cosechas, emerge y coevoluciona con la agricultura, actividad que en forma creciente ha modificado el ambiente y las interacciones entre sus componentes. Esta estrategia productiva desde hace décadas ha venido generando desequilibrios en las poblaciones de insectos y microorganismos, generando resistencia a plaguicidas, irrupción de plagas secundarias, intoxicaciones y contaminación del aire, agua y suelo, entre otros problemas.

Producto de lo anterior, en diferentes regiones o países del mundo, surgieron grupos de científicos asociados a universidades o centros de investigación aplicada que plantearon la necesidad de generar estrategias diferentes para enfrentar las plagas y enfermedades, incorporándose una mirada holística y fundada en principios ecológicos, orientada inicialmente a reducir el uso de plaguicidas y recuperar la sustentabilidad de la actividad agrícola. Así surgió y evolucionó a partir de la década de los 70, con diferentes nombres, matices y énfasis, el concepto de Manejo Integrado de Plagas (MIP), que más que una receta o protocolo para su aplicación, planteó un modelo general para enfrentar el manejo de las plagas.

En este capítulo se indican y definen algunas herramientas, técnicas y acciones que pueden ser aplicadas en forma complementaria y oportuna, para sumar y, en algunos casos, potenciar su efecto y que permita en mayor o menor medida, disminuir el impacto negativo que producen las plagas en lo económico, social y ambiental, procurando aplicar con racionalidad conocimientos pertinentes y actualizados, para implementar sistemas de manejo de plagas que recuperen y/o mantengan la sustentabilidad de cualquier actividad agrícola en el ámbito de la sanidad. Dada la importancia del control biológico en el manejo sustentable de las plagas, en este capítulo se tratará más específicamente.

5.1. Manejo integrado de plagas y su rol en el manejo sustentable

El manejo integrado de plagas es más que una tecnología de control de plagas, es un enfoque filosófico de cómo abordar la sanidad vegetal, aplicando conceptos biológicos a los cultivos o agroecosistemas, incorporando aspectos sociales, económicos y ambientales, asociados al concepto mas amplio de sustentabilidad agrícola. Desde su génesis, el MIP ha evolucionado y se ha enriquecido al incluir nuevos productos, conocimientos provenientes de la genética, ecología, geografía, y de tecnologías emergentes como la biotecnología, agricultura de precisión, modelos predictivos, sistemas de aproximación y robótica, entre otras.

El MIP incorpora conceptos como la prevención y las acciones específicas fundamentales, como el monitoreo, antes de tomar la decisión de aplicar alguna u otra medida de control. Su implementación requiere disponer y manejar información y conocimientos específicos del cultivo, de las plagas, sus enemigos naturales y controladores biológicos bajo condiciones locales, umbrales de daño y complejos conocimientos técnicos, lo que en cierta forma ha sido una limitante para su aplicación generalizada. Por ello, los profesionales, técnicos y trabajadores que participan en su implementación requieren ser capacitados en forma continua y estar atentos a la información y tecnologías que van cambiando y actualizándose. No obstante lo anterior, el manejo integrado de plagas y sus variantes, continúa siendo la mejor aproximación hacia el ideal de manejo sustentable de la sanidad vegetal.

El manejo integrado de plagas ha sido definido como una estrategia que considera diferentes métodos de reducción de plagas compatibles entre sí y con resultados económicamente favorables, con bajos a nulos efectos sobre la sustentabilidad del agroecosistema intervenido. Una consideración importante que se debe tener presente, es que en la práctica los agroecosistemas generalmente son unidades casi únicas e irrepetibles porque están sometidos a múltiples variables de naturaleza biótica/abiótica, dimensión espacio-temporal y manejos agronómicos, entre otras. Además, se debe considerar que, por falta de experiencia, conocimientos o recursos, una decisión bien intencionada puede, eventualmente afectar ecosistemas naturales o territorios vecinos y generar conflicto de intereses entre los involucrados.

5.1.1. Aspectos claves del manejo integrado de plagas

El manejo integrado de plagas es un enfoque cuyo objetivo fundamental es lograr la sustentabilidad agrícola y que tiene la cualidad de ser flexible y adaptable a cada cultivo o huerto, por lo tanto, no descarta ni limita la inclusión de cualquier método o acción que pueda ser analizada para incluirla, si contribuye a un costo razonable con la reducción de las poblaciones de la plaga. Entre los componentes o actividades que pueden ser implementados en un determinado plan de manejo integrado, existen algunas que son más efectivas y eficientes en comparación a otras menos importantes, lo que debe ser evaluado técnicamente por algunos de los componentes claves del manejo integrado, como es el reconocimiento e identificación de las plagas y el monitoreo o toma de muestras. A continuación se describen brevemente algunos aspectos, componentes y metodologías que deben ser analizadas al momento de diseñar y ejecutar un plan de manejo integrado de plagas.

5.1.1.1. Planificación

La planificación es muy relevante al momento de adquirir los insumos necesarios y establecer estrategias de prevención, como el manejo del hábitat y favorecer el establecimiento de los enemigos naturales con acciones como: rotación de cultivos, uso de cultivares tolerantes o resistentes, recopilación de información técnica y elección de metodologías de monitoreo. También es importante prever posibles impactos sobre el ambiente, conocer el mercado disponible para los cultivos insertos en la rotación y recopilar información sobre efectos del clima sobre el cultivo.

5.1.1.2. Identificación de las plagas

Una primera aproximación en la generación de un adecuado plan de manejo integrado es reconocer el (los) insectos y ácaros que generan daños económicos al cultivo que se aborda. Una correcta identificación taxonómica del insecto plaga, permite acceder a información técnica fidedigna disponible en universidades y centro de investigación. De esta forma se podrá disponer de imágenes, especies hospederas, distribución, comportamiento estacional, estatus de la plaga (clave, secundaria, ocasional), ciclo biológico, formas de sobrevivencia o hibernación, control biológico y natural, recomendaciones para su prevención y control.

Figura 5.1. Insectos de suelo (Coleópteros: Scarabaeidae, Curculionidae, Elateridae).



Figura 5.2. Gusanos cortadores, cuncunillas (Lepidópteros: Noctuidae, Hepialidae).



Figura 5.3. Pulgones (Hemípteros: Aphididae).



Figura 5.4. Defoliadores (Lepidópteros: Noctuidae; Coleópteros: Scarabaeidae; Hymenoptera: Tenthredinidae).



Figura 5.5. Minadores (Dípteros: Agromyzidae).



Figura 5.6. Chinches (Hemípteros: Pentatomidae, Coreidae).



Figura 5.7. Insectos en frutos (Lepidópteros: Tortricidae; Hemípteros: Coccidae, Pseudococcidae).



5.1.1.3. Umbral de daño económico y umbral de acción

El umbral de daño económico hace referencia al número de insectos capaz de causar un daño económico y el umbral de acción es la densidad de la plaga en que se debe tomar medidas de combate para evitar que la plaga sobrepase el umbral económico. Es frecuente observar que los umbrales en la mayoría de las plagas han sido determinados por la experiencia de expertos y ajustados empíricamente año tras año.

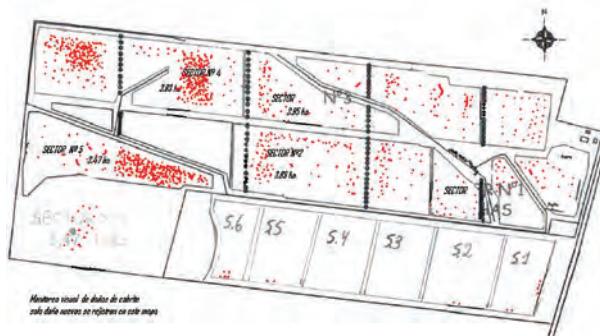
5.1.1.4. Evaluación y monitoreo de plagas

El conocimiento de la plaga es esencial para todo programa de manejo, por ello el muestreo cuidadoso y sistemático debe entregar información sobre los estados de desarrollo, densidad poblacional y distribución en el huerto de los artrópodos-plaga y sus enemigos naturales. También es importante reconocer el estado fenológico del cultivo y las condiciones ambientales durante la actividad de monitoreo. Para determinar con precisión las plagas, es necesario establecer una técnica y método que permita obtener información a través de un programa de muestreo. Para ello es necesario considerar los siguientes puntos:

5.1.1.4.1. Mapeo del huerto o sectorización

Es la definición de zonas, áreas, cuarteles, sectores de riego, en los cuales se dividirá el predio para realizar las evaluaciones. En cada uno de ellos se tomará un número determinado de muestras representativo del mismo.

Figura 5.8. Distribución de variedades (A) y distribución de plantas con daños (B).



5.1.1.4.2. Toma de muestras de poblaciones de artrópodos

Consiste en contar una parte pequeña de la población y a partir de ella determinar el nivel absoluto, bajo dos premisas; precisión del muestreo para que los valores obtenidos representen fielmente la población y sencillez del muestreo, para que sea fácilmente llevado a cabo y en un tiempo razonable (**Cuadro 5.1**).

Unidad de muestreo: son los órganos de las plantas, partes del terreno o estructuras (hoja, fruta, ramilla, brote, cubo de suelo o trampa individual), en los cuales podemos encontrar y contabilizar los insectos y ácaros para estimar su nivel de población. Debe ser apropiada al tamaño, a la distribución espacial y a la abundancia del insecto a muestrear. Es también relevante considerar el costo y análisis (observación) de la unidad de muestreo. La unidad de muestreo óptima depende de la densidad de la población del artrópodo.

Muestra: es la colección de unidades de muestreo usadas para estimar un nivel de población. El número de unidades de muestreo en una muestra se conoce como tamaño de muestra.

Cuadro 5.1. Sugerencia de unidad de muestreo y tamaño de muestra.

| Estructura | Unidad de muestreo | Muestra | Plagas |
|------------|------------------------|--------------|---|
| Suelo | Calicata (20x20x30 cm) | 10 / cuartel | Burritos, gusanos blancos, cuncunillas |
| Tronco | Trampas cartón (10 cm) | 10 / cuartel | Chanchitos blancos y Enemigos Naturales |
| Fruto | 10 frutos / planta | 20 plantas | Chanchitos blancos, escamas, trips |
| Hojas | 10 hojas / planta | 20 plantas | Ácaros, mosquitas blancas |
| Ramillas | 5 ramillas / planta | 20 plantas | Escamas, conchuelas |
| Brotes | 2 a 10 brotes / planta | 20 plantas | Pulgones, mosquita blanca algodonosa |

5.1.1.4.3. Procedimientos para la estimación de artrópodos

Existen diversos procedimientos para estimar las poblaciones. Los insectos en vuelo pueden ser evaluados por procedimientos de succión, con trampas lumínicas, cebos (sustancias alimenticias como: zumos de fruta, vinagre, proteínas, etc.), feromonas (sexuales, agregación), trampas pegajosas y trampas de agua, utilizando diversos colores. Los insectos sobre las plantas se pueden contar directamente para lo cual se delimita una parte del hábitat o de la planta (hojas, flores, ramillas, fruta y otras). Otros procedimientos pueden ser, el golpe de la planta y recogida de los insectos con una lona o bandeja. Para la extracción de los insectos de suelo, hojas, hierbas y materia orgánica el método de Berlese-Tullgren es muy usado. Los aspiradores son equipos mecánicos (bombas) que recogen los insectos por succión (DVAC) con eficacias del 50 a 70%. También se pueden utilizar otros métodos como la red entomológica y la observación directa de unidades muestrales contando y registrando los insectos que se observen en una unidad de tiempo predeterminado, ejemplo hormigas, avispas, termitas, entre otros.

5.1.1.4.4. Registros

La información obtenida debe ser registrada en planillas en forma ordenada y sistemáticamente almacenada. Los datos obtenidos permitirán el análisis del comportamiento de las plagas y enemigos naturales, estacionalidad, abundancia y eficacia de las acciones de manejo implementadas.

5.1.2. Métodos de control de plagas

Entre los métodos, acciones o estrategias y/o prácticas, para el combate y control de plagas es preciso destacar las que más se han desarrollado y han sido aplicadas con éxito. La manipulación de la plaga, el cultivo y el ambiente necesitan estar sustentadas en sólidos conocimientos básicos y aplicados.

5.1.2.1. Control físico y mecánico

Se reconocen entre los métodos más antiguos y se definen como medidas directas o indirectas que se aplican para perturbar o modificar el medio ambiente y de esta forma destruir los insectos. Estos métodos pueden ser curativos o preventivos. Este tipo de controles se basan en el conocimiento completo de la ecología y biología de la plaga. Para sacar el mayor provecho de este método es preciso conocer cómo se puede modificar los patrones fisiológicos y de comportamiento normales de la plaga utilizando la temperatura (calor y frío), humedad, energía radiante (trampas luminosas, trampas de reflexión de la luz), sonido, barreras (modificación de terreno, adhesivos, persianas, aire y agua, envases, barreras eléctricas). Entre los métodos mecánicos se encuentra la recolección manual de insectos, a través de vibración y sacudimiento, uso de dispositivos recolectores (redes, canastas y mantas), uso de trampas, cepillos y escobas, separación por cribas, lavado, limpieza y remojo, uso del fuego, el arado, la aplicación de estiércol y uso de atmósfera controlada (CO_2), entre otros.

5.1.2.2. Control Cultural

Son acciones orientadas a establecer condiciones desfavorables para las plagas y/o favorables para los enemigos naturales y que pueden producir resultados económicos aunque usualmente sólo se logra un control parcial de las plagas. Con ello se logra disminuir parte de los daños y proteger la cosecha de incrementos de población que impliquen el uso de otras medidas. Entre las actividades más comúnmente utilizadas se encuentran:

- Laboreo o preparación de suelo.
- Mejoramiento genético para lograr variedades resistentes a herbívoros, parásitos y patógenos. Para el caso de herbívoros se reconocen tres tipos de resistencia.
 - No preferencia (impide la presencia de la plaga).
 - Antibiosis (evita que la plaga prospere y se establezca en altas poblaciones).
 - Tolerancia (impide que disminuya el rendimiento del cultivo).

- Selección de sitio del cultivo.
- Saneamiento, destrucción de desechos de plantas y cultivos, malezas, vegetación muerta, materiales de cosecha (cajas, sacos, etc.).
- Manejo de bodegas y almacenes.
- Densidad de siembra.
- Época y método de siembra.
- Destrucción de fuentes de infestación, plantas voluntarias y floraciones tempranas.
- Control y manejo del riego.
- Manejo de fertilidad y fertilización.
- Prácticas agrícolas, tales como: aporca, mulch orgánico, mulch plásticos y reflexivos, rotaciones, cultivos en franjas, policultivos, cultivos trampa, cultivos de cobertura y de corta estación, barbechos.
- Barreras físicas, mecánicas y vivas.

Figura 5.9. Mulch orgánico (A), Pre-cultivo cereal (B) y Mulch plástico (C).



Figura 5.10. Zanja perimetral (A), Preparación de suelo (B) y Destrucción plantas con fuego (C).



Figura 5.11. Malla perimetral (A), Evaluación de variedades (B) y Sanitización de restos de cosecha (C).



Figura 5.12. Corredor biológico (A), Cultivo mezcla entre hilera (B) y Manejo entre hilera (C).



5.1.2.3. Control Etológico

Son acciones que implican el uso de productos o dispositivos diseñados para estimular un determinado comportamiento de los individuos que se desea controlar. Generalmente se trata de sustancias químicas y de naturaleza física o mecánica. Los efectos pueden ser de atracción o repelencia, de alimentación o efectos antialimentarios. Parte de estos estímulos son mecanismos de comunicación entre individuos de la misma especie, pudiendo ser de atracción sexual, alarma, agregación, entre otros.

5.1.2.3.1. Trampas

Son dispositivos que atraen insectos para su captura o destrucción. Se usan para detectar la presencia, determinar la ocurrencia estacional y la abundancia. Su uso presupone que sus resultados se van a emplear en monitoreo para la toma de decisiones de control, considerando su relación costo/beneficio. Cuando las trampas se utilizan como técnica de control es mucho más relevante evaluar la relación costo/beneficio. Dentro del grupo de las trampas, encontramos:

- Pegajosas.
- Lumínicas. La mayoría de los insectos atraídos son lepidópteros y en menor grado coleópteros. La fuente de luz puede ser de filamento de tungsteno, fluorescente de luz blanca, ultravioleta. A mayor tamaño de tubo, mayor atracción de insectos.
- Químicas. Pueden ser cebadas con atrayentes alimenticios que atraen insectos relacionados entre sí, a corta distancia, y sexuales que atraen a distancias mayores pero solo a una especie.
- Color, amarillo (pulgones y moscas minadoras); blanco (trips); rojo (escarabajos de la corteza); azul (trips, mosca blanca).
- Agregación.
- Ovipostura.
- Refugio.
- Cebos tóxicos. Es una mezcla de sustancia atrayente (alimenticia o sexual) con un producto insecticida para adultos y/o larvas. La ventaja es que el efecto insecticida se restringe a la especie atraída por el cebo.

Figura 5.13. Tipos de trampas, pegajosa amarilla (A), atracción (B) y caída (Pitfall) (C).



Figura 5.14. Tipos de trampa, melaza (Lepidopteros)(A), proteína hidrolizada (Mosca de la fruta) (B) y trampa de agua (C).



Figura 5.16. Tipos de trampa, luz blanca (A), Moerike (pulgones) (B) y Red entomológica.



Figura 5.17. Tipos de trampas, piramidal (A), cinta pegaosa (B) y alas delta (feromonía sexual) (C).



Figura 5.18. Tipos de trampas, agregación (tijeretas) (A), atracción (tábano) (B) y cebo (D. suzukii) (C).



5.1.2.3.2. Semioquímicos

Son sustancias involucradas en la interacción química entre individuos de la misma o diferentes especies. Cuando la interacción ocurre en la misma especie se denominan feromonas, siendo las más comunes las sexuales. Cuando la respuesta es entre diferentes especies se denominan aleloquímicos o metabolitos secundarios. Ejemplos de éstas son las kairomonas, alomonas, fitoalexinas y otros.

5.1.2.3.3. Repelentes e inhibidores de la alimentación

Son utilizados productos o características de las plantas que provocan determinadas reacciones de atracción, repelencia, estimulación o inhibición de alimentación y

oviposición. Los repelentes pueden ser mecánicos (pubescencia, texturas, polvos, ceras, espinas, etc.) y químicos que pueden ser gaseosos, olfatorios y contacto. Los inhibidores de alimentación son más escasos y de corta vida. Los productos naturales como los usados en base a Azadaractina (Neem) son uno de los más conocidos.

5.1.2.4. Control genético

Comprende la utilización de mecanismos genéticos o de la herencia, con fines de control de plagas. La técnica consiste en esterilizar un gran número de insectos machos, para que compitan con los insectos locales. Como resultado la población natural pierde su capacidad de reproducción. Este método también se denomina autocida.

5.1.2.5. Control Químico

Su incorporación en un sistema de manejo sustentable requiere un acabado conocimiento de sus características como especificidad, modo de acción, ecotoxicología, residualidad, registro, etc. Hasta hoy aún persisten muchos sistemas de producción agrícola, principalmente intensivos, que son altamente dependiente de este tipo de insumos de síntesis y cada día con mayores restricciones sobre los costos, mercados, salud humana y ambiente. Ante la eventualidad de su utilización, es preciso tener en consideración los siguientes aspectos:

- Utilizar sobre plagas claves, que afectan económicoamente la producción.
- Rotar o alternar insecticidas, para evitar la aparición de resistencia.
- Usar coadyuvantes, solo cuando sea necesario y recomendado por el fabricante.
- Utilizar medidas de seguridad, tomando todas las medidas indicadas por el fabricante.
- Usar equipos de aplicación adecuados y con una óptima calibración.
- La aplicación, debe considerar criterios técnicos, tales como: momento de aplicación oportuna, dosificación, caudal, tamaño de gotas y cobertura.

5.2. Control biológico de artrópodos plaga y su rol en el manejo sustentable

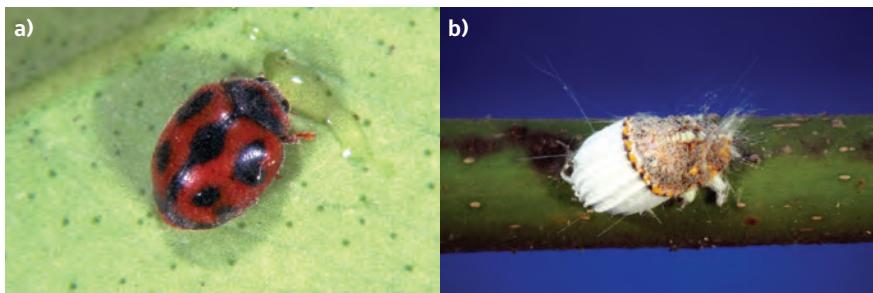
El control biológico puede ser definido como un método de reducción de la densidad, en forma transitoria o permanente, de poblaciones de insectos y ácaros plaga mediante el empleo de poblaciones de enemigos naturales.

Esta definición incorpora conceptos como: (1) la intencionalidad que tiene el control biológico, que lo diferencia del control natural que puede ocurrir sin la intervención humana; (2) que puede existir una variabilidad temporal de los resultados que se obtengan en la reducción del problema y (3) el uso de una población de enemigos naturales vivos es un componente básico del método y por tanto si éstos no participan, no se puede considerar como control biológico.

5.2.1. Una breve historia del control biológico

El primer registro histórico de control biológico se remonta al siglo III en China, con el uso de la hormiga *Oecophylla smaragdina* para el control de plagas en cítricos. Luego, en los siglos siguientes existen reportes de otros ejemplos de control biológico, sin embargo, existe consenso que el hito que estableció las bases y procedimientos del método de control biológico en el mundo, fue la introducción desde Australia a California de la chinita *Rodolia cardinalis* (**Figura 5.19**), importada en 1888, para el control de la escama algodonosa de los cítricos *Icerya purchasi* (**Figura 5.19**). Este exitoso proyecto fue replicado en múltiples lugares del mundo, incluido el realizado en Chile en 1931, luego de la detección de la escama algodonosa en 1929.

Figura 5.19. a) Chinita adulta *Rodolia cardinalis*. b) Hembra adulta *Icerya purchasi*.



En Chile se ha utilizado el control biológico por casi 115 años en forma continua y han sido decenas las especies benéficas que se ha logrado establecer. De paso se ha recuperado el equilibrio agroecológico perdido por el ingreso permanente de plagas exóticas.

5.2.2. Métodos de control biológico

Las publicaciones más recientes reconocen cuatro métodos principales para poner en práctica el control biológico: clásico o de importación de enemigos naturales, aumentativo, conservación y bioplaguicidas (entomopatógenos).

5.2.2.1 Control Biológico Clásico

El control biológico clásico es la regulación de la población de una plaga mediante la introducción de enemigos naturales exóticos (parásitos, depredadores y/o patógenos) desde su lugar de origen o donde hayan sido importados anteriormente, para establecerlos en nuevas áreas invadidas y que su acción sea permanente en el tiempo. Este método de reducción de poblaciones de artrópodos que dañan cultivos y se sustentan en principios ecológicos, buscan restablecer los ecosistemas alterados restaurándolos a las condiciones previas al ingreso de la plaga invasora.

Cuando se evalúa la opción de introducir un enemigo natural en una nueva área, se hace en base a la situación sanitaria que genera la presencia e impacto del insecto plaga sobre uno o más cultivos que puedan ser afectados. También debe tenerse en consideración aspectos biológicos de la especie seleccionada como: especificidad, capacidad de búsqueda, nivel de sincronización con el hospedero y, en general toda la información que pueda ser relevante acerca de su efectividad y comportamiento como controlador biológico en otros países.

Todo proyecto de control biológico clásico de artrópodos comprende una serie de etapas que, en general, comienzan con la selección del enemigo natural que se va a introducir, luego continúa con la exploración y colecta del enemigo natural seleccionado, la que usualmente se realiza en su presunta área de origen, luego se procede con la internación al país y su mantención en cuarentena durante una o más generaciones, para corroborar su identificación, estado sanitario, pruebas de especificidad y posible presencia de hiperparasitoides.

Terminado el período de cuarentena debe ser multiplicado masivamente en laboratorio, para comenzar con liberaciones controladas en diversos sectores, bajo condiciones que incrementen sus posibilidades de sobrevivencia y establecimiento inicial y luego definitivo, lo que debe ser evaluado desde que se realiza la primera

liberación, hasta al menos durante dos temporadas, tiempo que permite además, estimar su efectividad y dispersión natural en el territorio, lo que puede acelerarse a través de nuevas liberaciones en sectores más distantes. Usualmente los proyectos de control biológico de importación requieren de una inversión inicial alta y son ejecutados por especialistas de instituciones estatales con la orientación de generar bienes públicos.

La introducción de un enemigo natural específico, autoreproductivo, dependiente de la densidad, con alta capacidad de búsqueda y adaptado a la plaga exótica introducida, usualmente resulta en un control efectivo sostenible y a un costo relativamente más bajo en el largo plazo. Su utilización puede requerir medidas de conservación como la reducción del uso de plaguicidas u otros manejos específicos.

Los registros históricos a nivel mundial indican que solamente el 34% de los intentos de colonización de enemigos naturales se han realizado exitosamente. Estas bajas tasas de establecimiento pueden deberse a factores tales como inapropiada selección de enemigos naturales importados, diferencias en el clima entre el lugar de origen de los enemigos naturales y el lugar de su liberación y algunas características negativas para el inmigrante, generadas por el cultivo o agroecosistema que no le permite establecerse y desarrollarse. No obstante, existen muchos casos exitosos de proyectos de control biológico clásico en los cuales, por medio de la introducción de enemigos naturales, las especies plaga fueron reducidas a un nivel de control sustancial por lo cual dejaron de ser consideradas plagas.

Existe una variante de control biológico clásico o de importación a la que algunos autores llaman control biológico de asociación. Se ha utilizado cuando la plaga que se requiere controlar es nativa o de origen desconocido. Se trata de explorar y evaluar enemigos naturales candidatos que estén asociados a otras especies relacionadas biológicamente con la plaga. Esta metodología difiere del control biológico clásico ya que no aplica la justificación ecológica en el caso de especies nativas. Otra diferencia que se puede mencionar es que la búsqueda de enemigos naturales potenciales también puede incluir zonas biogeográficas diferentes.

5.2.2.2. Control biológico aumentativo

El método de control biológico aumentativo se asocia a enemigos naturales que son producidos comercialmente por una empresa que los reproduce masivamente en laboratorio, poniéndolos a disposición de los agricultores como un insumo biológico, para liberarlos en predios o invernaderos donde no están presentes, son escasos y/o actúan tardíamente, cuando el daño ya ha ocurrido.

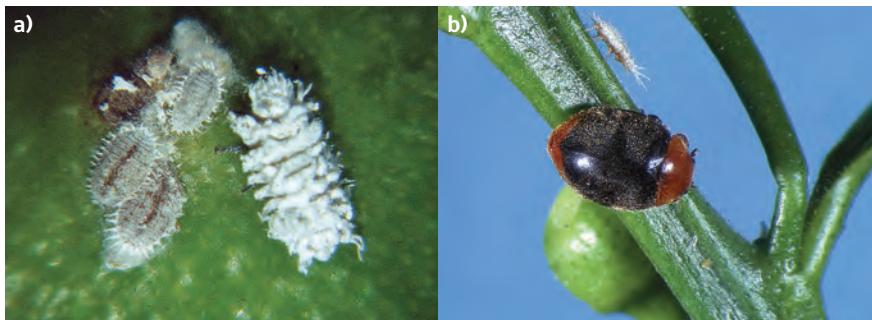
Se pueden distinguir dos modalidades de control biológico aumentativo, el control biológico inundativo, que se caracteriza por liberaciones masivas de la especie benéfica dado que usualmente la reproducción de éstos no es suficiente y por lo tanto, son los mismos insectos liberados los que reducen la plaga. Un ejemplo de ello, son las liberaciones de *Encarsia formosa* en invernaderos de tomate para el control de la mosquita blanca de los invernaderos *Trialeurodes vaporariorum* (**Figura 5.20**).

La segunda variante del método inundativo es el control biológico inoculativo, que también requiere una reproducción comercial para ir liberando en el cultivo, de acuerdo a las necesidades. En este caso, los enemigos naturales que se liberan y su descendencia son los que contribuyen a reducir las poblaciones de los insectos plaga. Como ejemplo se puede mencionar a la chinita *Cryptolaemus montrouzieri* (**Figura 5.21**), depredadora de chanchitos blancos en diferentes especies frutales.

Figura 5.20. *Encarsia formosa* parasitando ninfa de mosquita blanca de los invernaderos.



Figura 5.21. a) Larva de la chinita *Cryptolaemus montrouzieri* depredando ninfas de *Platynococcus citry*. b) Adulta de chinita *Cryptolaemus montrouzieri* en cítrico.



5.2.2.3. Control biológico por conservación

El control biológico conservativo tiene como objetivo favorecer el desarrollo y la acción de los enemigos naturales, aumentando su abundancia y eficiencia en la reducción de plagas. Es un método que procura implementar prácticas que refuerzan el control natural, conservando y/o creando nuevos hábitats para los enemigos naturales que viven en los cultivos, los que pueden ser depredadores generalistas o parasitoides especializados o introducidos previamente bajo la modalidad de control biológico clásico. Existen muchas prácticas factibles de implementar, lo que depende de variables relacionadas con el cultivo, del suelo o de la vegetación presente en o alrededor del cultivo o plagas claves de manejo complejo. El principio ecológico que lo sustenta es que el aumento de la biodiversidad se asocia a un aumento de estabilidad y equilibrio en los ecosistemas. No obstante, su aplicación no siempre es simple y puede requerir de insumos, trabajo, experiencia y conocimientos. Han sido reportados numerosos casos donde la implementación de prácticas como el uso de cubiertas vegetales han favorecido notablemente el manejo de plagas.

La efectividad de incorporar cubiertas vegetales entre las hileras de un cultivo depende de la cantidad, calidad y oportunidad en que tales coberturas adicionan alimentos suplementarios alternativos o refugios físicos a parasitoides y/o depredadores carnívoros, los que naturalmente requieren, en todos o algunos de sus estados de desarrollo, alimentarse de aquellos artrópodos fitófagos que pueden producir daños económicos a los cultivos. Por lo tanto, los alimentos alternativos son una contribución de las cubiertas y pueden ser utilizados por especies de enemigos naturales que pueden asociarse a ellas porque pueden encontrar hospederos o presas alternativas, además de néctar y polen (carbohidratos y proteínas) en sus flores o en las de otras plantas que se encuentran en el cultivo o su entorno. Se ha planteado que, en muchos casos, esta disponibilidad y accesibilidad a un alimento "extra" y refugios para la hibernación y ovipostura aumenta la longevidad, permanencia y reproducción de la fauna benéfica y como consecuencia, se genera una reducción de las poblaciones y daño comercial. Frecuentemente contribuye a mantener reguladas una diversidad importante de plagas potenciales del cultivo. Entre los numerosos insectos benéficos que pueden ser conservados a través de un manejo de coberturas se pueden mencionar algunos depredadores generalistas como crisopas y moscas sírfidas (**Figura 5.22**).

Figura 5.22. Coberturas vegetales mejoran control biológico.



5.2.2.4. Control biológico con bioplaguicidas (organismos patógenos)

Es un tipo de liberación inundativa de organismos patógenos formulados comercialmente, que pueden ser asperjados sobre los cultivos, que luego de su ingestión y/o contacto con el cuerpo del insecto plaga, penetran a su cuerpo produciéndoles la enfermedad y muerte.

Tales productos son conocidos como bioplaguicidas porque su empaque, almacenamiento y forma de aplicación se asemeja más a los plaguicidas de síntesis química que a la liberación y manejo de los parasitoides o depredadores. En general, para que un patógeno llegue a desarrollarse como un bioplaguicida debe tener ciertas características como: facilidad para reproducirlo a bajo costo; una especificidad que permita su uso sobre una o más plagas claves de un cultivo relevante; un nivel de patogenicidad o grado de virulencia adecuados y tolerancia a las condiciones ambientales de las localidades o zonas edafoclimáticas de aplicación.

Esto ha permitido generar el concepto de bioplaguicida que funciona bien en sistemas productivos sustentables y bajo ciertas condiciones, también puede ser compatible con sistemas productivos convencionales con uso intensivo de agroquímicos.

5.2.3. Tipos de organismos utilizados para el control biológico de insectos y ácaros

Los enemigos naturales se clasifican en: depredadores, parasitoides y patógenos.

5.2.3.1. Depredadores

Los enemigos naturales depredadores son organismos que acechan, persiguen, capturan y matan a sus presas para alimentarse de ellas. Durante toda su existencia llevan una vida libre y sus estados larvales o ninfales y adultos son especializados (carnívoros). Usualmente, las hembras adultas luego de aparearse, depositan sus huevos cerca de los lugares donde habitan sus presas naturales, de tal manera que desde su eclosión, las larvas o ninfas tienen a disposición presas que les sirven de alimento. Para completar su ciclo de desarrollo requieren alimentarse de más de un individuo presa , **Figura 5.23.**

Figura 5.23. Estados de desarrollo de un depredador crisópido a) huevo b) larva. c) adulto



Los depredadores pueden pertenecer a diferentes grupos taxonómicos de insectos o ácaros. Entre las especies más conocidas se encuentran las: chinitas (Coleoptera); moscas (Diptera); crisopas (Neuroptera); chinches (Hemiptera) y ácaros fitoseidos (Acarina) **Figura 5.24.**

Figura 5.24. Larva de mosca sírfida en lechuga.



Algunos depredadores como los adultos y larvas de chinitas, larvas de crisopas y moscas sírfidas, se mueven activamente buscando a sus presas; otros las emboscan con ataques muy rápidos y sorpresivos; algunos se camuflan de acuerdo al entorno o construyen trampas como redes o telas, entre otros **Figura 5.25**.

Figura 5.25. a) Chinita *Eriopis* depredando áfido. b) Adulto de la mosca depredadora *Leucopis* sp. c) Chinche *Orius* depredando áfido en nectarino.



5.2.3.2. Parasitoides

Los parasitoides son insectos especializados que se desarrollan a expensas de otro organismo y generalmente lo hacen sobre los estados inmaduros de sus hospederos, los que finalmente mueren. Usualmente, los estados inmaduros del parasitoide requieren nutrirse de un único individuo que le permita alcanzar su estado adulto, el que suele ser de vida libre y eventualmente alimentarse de néctar y mielecilla, aunque algunos pueden perforar el cuerpo de su hospedero y alimentarse de la hemolinfa que fluye de la herida provocada.

Según el tipo de parasitoide, existen distintos hábitos alimentarios de sus estados inmaduros: parasitoide de huevo, donde la hembra adulta ovipone en el huevo de

Figura 5.26. *Trissolcus hyalinipennis*. Parasitoide de huevos de chinche Bagrada.



su hospedero y la progenie emerge del huevo; parasitoide de huevo-larva, donde la hembra ovipone en el huevo, pero la progenie emerge de la larva. También existen: parasitoide larval, parasitoide de larva-pupa, parasitoide de pupa y parasitoide de adultos **Figura 5.26**.

En relación al número de parasitoides generados como progenie existen: parasitoide gregario, donde la hembra ovipone dos o más huevos, cuyas larvas se alimentan simultáneamente sobre un hospedero, desde donde pueden emergir varios individuos; parasitoide solitario, que implica una ovipostura única en el hospedero y la emergencia de solo un individuo, y parasitoide poliembrionario que tiene la facultad de dar origen a cientos de parasitoides que emergen de un hospedero, como resultado de una división asexuada de uno o dos huevos del parasitoide.

Dependiendo de la especie, el parasitoide puede poner sus huevos dentro (endoparasitoide) o fuera del hospedero (ectoparasitoide), esta última modalidad frecuentemente se asocia a hospederos que se encuentran protegidos en galerías, túneles o telas.

La mayoría de los parasitoides pertenecen a dos órdenes de insectos: Hymenóptera y Díptera. Entre los himenópteros existen numerosas familias (ej. Ichneumonidae, Braconidae, Chalcididae) que en conjunto contienen varios miles de especies de parasitoides. En este grupo pueden distinguirse notables adaptaciones conductuales entre las que destaca la capacidad de búsqueda del hospedero en la que emplean señales, por lo general olores o alimento de la plaga. Entre las familias más importantes de dípteros parasitoides se encuentran las moscas Tachinidae y Sarcophagidae, **Figura 5.27**.

Figura 5.27. Adulto de mosca taquíñida parasitoide *Ectophasiopsis arcuata*.



5.2.3.3. Organismos patógenos o entomopatógenos

Entre los microorganismos que generan enfermedad y muerte a especies de artrópodos plagas, los más exitosos grupos de organismos entomopatógenos desarrollados como bioplaguicidas han sido especies de bacterias (principalmente *Bacillus thuringiensis*) y hongos (*Beauveria* spp y *Metarhizium* spp).

Aunque su uso como agentes de control biológico es muy antiguo, con el desarrollo de modernos sistemas de producción masiva y formulaciones, se ha resuelto en parte problemas de costo y de su efectividad tan dependiente de variables ambientales, como la exposición directa a la radiación solar, humedad y temperatura.

Bajo la categoría de patógenos muchos autores incluyen a algunas especies de nemátodos que corresponden a parásitos obligados de artrópodos y que se desarrollan asociados a bacterias simbiontes.

Cuando estos nemátodos infestan a sus hospederos la bacteria producen su muerte, generándose millones de larvas del nemálogo que salen al ambiente que usualmente es el suelo, donde se movilizan en búsqueda de nuevos hospederos. Asociados a este tipo de nemátodos se ha generado un importante desarrollo comercial de bioplaguicidas con especies de nemátodos principalmente de las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae, **Figura 5.28**.

Figura 5.28. Hongos entomopatógenos para control de plagas en vides.



5.2.4. Ventajas del Control Biológico

5.2.4.1. Selectividad

En general es un método más selectivo que otros sistemas de control de insectos o ácaros fitófagos. Muchos de los parasitoides y depredadores seleccionados como agentes de control biológico, se reproducen alimentándose de una o solo algunas especies de fitófagos. No obstante, no es raro observar que luego de abatir elevadas poblaciones de sus presas, algunos depredadores como el caso de algunos coccinélidos (chinitas), atacan lo que encuentran a su paso, incluidos otros enemigos naturales o ejemplares de su misma especie (canibalismo).

5.2.4.2. Rentabilidad

Los beneficios económicos que resultan de la utilización especialmente del control biológico clásico, han sido ampliamente demostrados en Chile y en el extranjero, aunque se requiere una alta inversión inicial, la que usualmente es aportada por el estado. Una vez establecidos los enemigos naturales se reproducen y dispersan, perpetuándose en el tiempo, ejerciendo una reducción permanente de sus presas u hospederos que usualmente, no requiere nuevas inversiones.

5.2.4.3. Seguridad

Es un método que no contamina el ambiente, no es tóxico para los humanos, plantas u otros organismos o sus alimentos, lo que mejora la calidad y valor de los productos. Además, es compatible con la mayor parte de los componentes de la tecnología de manejo integrado de plagas (MIP).

5.2.4.4. Biodiversidad

Contribuye con el aumento de diversidad de especies de los agroecosistemas, permitiendo la existencia de múltiples relaciones que favorecen la estabilidad, generando servicios ambientales y sustentabilidad al proceso productivo.

Literatura consultada

- Corey, S., Dall, D., and Milne, W. 1993. Pest control & sustainable agriculture. Proceeding of Australian Entomological Research Conference, 514 p. Camberra, CSIRO, Melbourne Australia.
- Dent, David. 1991. Insect pest management. CAB International, 604 p. Redwood Press. Wallingford, UK.
- Gurr, G. M., Wratten, S.D., and Altieri, M.A. 2004. Ecological engineering for pest management: Advances in habitat manipulation for arthropods. CSIRO, 232 p. Ligare press. Collingwood, Australia.
- Hoffmann, M. P., and Frodsham, A. C. 1993. Natural enemies of vegetable insect pest. IPM, Cornell Cooperative Extension. 63 p. Ithaca, USA.
- Jervis, M., and Kidd, N. 1996. Insect natural enemies: Practical approaches to their study and evaluation, 491 p. Chapman and Hall press. London, UK.
- Milovic D., Albornoz M.V., Briones G., López E., y Carvallo F. 2018. Manual de protocolo de manejo de insectos en sistemas de producción de tomates bajo invernadero. Programa manejo territorial de insectos (MTI). Centro Regional de Innovación Hortofrutícola de Valparaíso. Ceres-PUCV. 37 pp. Quillota. Chile.
- Opender, K., and Cuperus, G. W. 2007. Ecologically based integrated pest management. CAB International, 462 p. Biddles Ltd, King's Lynn Press. Wallingford, UK.
- Prado, Ernesto. 1991. Artrópodos y sus enemigos naturales asociados a plantas cultivadas en Chile. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín Técnico Nº 169. 207 p.
- Rodríguez, F., Bermúdez, P., y C. Quiroz. 2016. Multiplicación de *Trioxys pallidus* (Haliday) en laboratorio y liberación en campo. En: Quiroz, C., F. Luengo, C. Salas, P. Abarca, P. Bermudez, G. Lobos, P. Larraín, F. Rodríguez, J. Riquelme, y S. Santelices. 2016. Manejo Integrado de Plagas del Nogal en la Provincia del Choapa. 122 p. Boletín INIA Nº 324. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Intihuasi, Centro Experimental Choapa, La Serena, Chile.
- Ripa, R., Rodríguez, F., y Espinoza, M. 2001. El trips de California en nectarinos y uva de mesa. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA Nº 53. 100 p.
- Ripa, R., y Larral, P. 2008. Manejo de plagas en paltos y cítricos. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Libros INIA Nº 23. 399 p.

- Rodriguez de la Torre, Modesto. 1971. Manejo y control de plagas de insectos Vol 3. 522 p. Editorial Limusa, S.A. México D.F., México.
- Rojas, Sergio. 2005. Control biológico de plagas en Chile. Historia y avances. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Libros INIA N° 12. 123 p.
- Van Driesche, R.G., Hoddle, M.S., y Center, T.D. 2007. Control de plagas y malezas por enemigos naturales. Ed. The Forest Health Technology Enterprise Team (FHTET). USA. 751 p.
- Waage, J., and Greathed, D. 1989. Insect parasitoids. 389 p. Academic press. London, UK.

Capítulo 6

Biodiversidad y manejo de hábitats como método conservacionista para control de plagas agrícolas

Claudio Salas F.

En el marco de lo que se ha definido como Agricultura Sostenible o Conservacionista, el manejo de plagas se ha venido redefiniendo y en este esquema los objetivos que se buscan son reducir gradualmente los problemas asociados al uso de plaguicidas, obteniendo rendimiento y calidad aceptable, y paralelamente minimizar los daños al ambiente y a la salud humana. Es evidente que para lograr lo anterior se requiere, desde nuestro punto de vista, avanzar simultáneamente en tres sentidos que son complementarios: 1) promover la biodiversificación de los agroecosistemas, 2) sustituir plaguicidas químicos por productos alternativos, e 3) implantar un Manejo Agroecológico de las Plagas (concepto diferente al conocido como "Manejo Integrado de Plagas") (Bahena, 1999).

El manejo del hábitat, constituye una alternativa para el manejo de plagas que se destaca por ser compatible y sustentable en términos del cuidado ambiental. Sus principios se basan en modificar la biodiversidad de estos agroecosistemas, mejorando sustancialmente las interacciones entre los distintos niveles tróficos (planta - herbívoro - enemigo natural). Una consecuencia directa del manejo apropiado del hábitat es, por ejemplo, la regulación de la abundancia de los organismos perjudiciales por sus enemigos naturales (Altieri, 1995).

El presente capítulo pretende entregar pautas de un manejo menos agresivo donde la biodiversidad dentro del campo, juegue un papel principal y disminuya los costos en agroquímicos así como también la acumulación de éstos en los productos finales, además de mejorar la calidad visual del campo y evitar procesos erosivos del suelo y contaminantes de napas freáticas, manteniendo un agroecosistema en equilibrio.

6.1. Elementos que conforman la biodiversidad del agroecosistema

6.1.1. Interacción entre los actores de un agroecosistema

De acuerdo a Altieri (1992), cuando hablamos de agricultura ecológica, hablamos de biodiversidad, de respeto hacia la naturaleza, de conservación y de compromiso a mantener una serie de factores que han existido desde hace muchos años, y que con la mano del hombre principalmente han sido alterados negativamente.

Surge entonces la necesidad de garantizar la pervivencia del medio agrícola, lo que ha estimulado en las últimas décadas el desarrollo de formas de agricultura más respetuosas con el ambiente, como la agricultura de conservación, la ecológica o la integrada.

Si bien, en Chile existen casos de manejo conservativo que implementa y maneja cultivos auxiliares y que realiza manejo del hábitat, con la finalidad de preservar y/o recuperar la biodiversidad propia del agroecosistema donde se encuentre el cultivo, este enfoque aún se encuentra en fase de estudios y experimentación. De estos estudios aquellos que han sido publicados por universidades y otros organismos de índole investigativa, han obtenido resultados bastante favorables, con una disminución de aplicación de pesticidas, un efectivo control de plagas agrícolas por enemigos naturales y buenos rendimientos de los cultivos.

Es una necesidad entonces conocer a cabalidad como funciona y cómo interactúan los diversos actores de un agroecosistema, para mantener su biodiversidad e implementar esto en nuestros campos y cultivos. Primeramente debemos saber que la biodiversidad de un agroecosistema no simplificado, siempre será menor que la de un ecosistema natural, aunque puede llegar a ser muy elevada. No siempre se es consciente de la cantidad y sobre todo, la variedad de especies que pueden y deben convivir en un ambiente agrícola funcionalmente sano (Carrera & de Torres, 2009).

6.1.2. Recurso suelo y biodiversidad

Otro factor de relevancia es el suelo y su fertilidad, un actor más en el manejo de los hábitats y la biodiversidad. De acuerdo a Carrera & de Torres (2009), la fertilidad del suelo está muy relacionada con su estabilidad ya que las complejas interacciones que se producen entre los seres vivos y elementos químicos son fácilmente alterables por el uso de maquinaria agrícola y el aporte de insumos energéticos. Pensando en un predio y en todos los organismos que pueden habitar

en él, se puede imaginar la cantidad de seres vivos que se encuentran realizando este ciclo sin fin, reciclando los elementos una y otra vez. Debido a que cada ser vivo procesa los nutrientes de una forma concreta, se produce una gran variedad de sustancias y de microambientes. Este enriquecimiento favorecerá la intervención de más actores que irán mejorando las propiedades del suelo.

Por ello es fundamental evitar excesivos laboreos, como es el paso de arados de vertedera que invierten el perfil del suelo exponiendo la microfauna con lo que se impide que se realicen las labores de reciclaje de los elementos del suelo y formación de materia orgánica estable. El tránsito de maquinaria pesada compacta y sella los poros dificultando la infiltración del agua y el paso del aire. También la aplicación exógena y excesiva de abonos minerales interfieren en las rutas bioquímicas de la microfauna del suelo, lo que finalmente termina en un desequilibrio y pérdida de estos organismos, provocando una esterilidad de suelo, lo que lleva a los agricultores a intervenir una y otra vez el suelo con el paso de arados y aplicación de abonos para incrementar la producción del cultivo, todo esto en forma de un círculo vicioso, que empobrece cada vez más la fertilidad natural del suelo.

6.1.3. Polinización y biodiversidad

Un punto que debemos considerar al pensar en implementar setos florales en nuestros cultivos comerciales, es la influencia que tienen en la polinización. La polinización es un factor clave para los servicios ecosistémicos, ya que alrededor de un tercio de la producción de alimentos depende de los polinizadores Rose et al., 2016.

Se sabe que las abejas se benefician de la mayor cobertura y diversidad de flora en especial flora arvense en cultivos de cereales, evidenciando que la presencia de abejas es 7 veces mayor que en campos convencionales, lo cual mantiene y mejora la polinización de todas las plantas de flor en todas las zonas periféricas en los campos de cultivo.

No obstante, por el mal uso y degradación de los recursos naturales, se han generado impactos negativos donde el 60% de los servicios de los ecosistemas están siendo degradados y no se regeneran a la velocidad necesaria para satisfacer esta demanda Rose et al., 2016.

¿Cómo subsanar este vital proceso? Manteniendo una agrodiversidad de setos florares que sean atractivos a las abejas y otros insectos polinizadores, el girasol, es una planta muy visitada por abejas, abejorros y otros efectivos polinizadores.

Si nuestros cultivos requieren de abejas u otros agentes polinizadores, hoy en día este servicio es caro y escaso, pero mantener setos florales que favorezcan el acercamiento de abejas y abejorros nos facilita la tarea de la polinización y además contribuimos a perpetuar tanto la diversidad genética y las producciones de nuestros cultivos, como a mantener la población de polinizadores. Estudios internacionales, avalan que, cultivos con setos auxiliares o bandas de flores atraen tanto a abejas nativas y otros polinizadores, así como a enemigos naturales generalistas y específicos, lo cual se traduce en cosechas un 60% más productivas. Por lo tanto, dentro de los manejos de hábitat, tendientes a mejorar o recuperar la biodiversidad, los setos florales juegan un rol de vital importancia.

6.2. Biodiversidad y manejo de setos auxiliares para favorecer la presencia de enemigos naturales y un control eficiente de artrópodos fitófagos plaga

Sabemos que tratando de poner remedio a la aparición de una plaga usamos en forma reiterada la aplicación de pesticidas, sin embargo, se pone en peligro la supervivencia de otros seres vivos (bacterias, insectos, aves, etc) que forman parte del agroecosistema y que en principio no perjudican al cultivo, y lo que es peor, a especies necesarias, bien porque regulan las poblaciones de las plagas potenciales o porque son agentes polinizadores.

Para contrarrestar la aparición de plagas y otros competidores, con aplicaciones sucesivas y sistematizadas de agroquímicos se debe avanzar hacia un manejo de la biodiversidad del predio, para ello se puede integrar al plan de manejo los cultivos auxiliares, setos florales, plantas refugio, policultivos, rotaciones de cultivo, entre otras, que son una parte integral de un sistema vegetal sostenible. Los efectos del manejo de los hábitats mediante introducción de este tipo de cultivos y prácticas pueden resultar en mejoras en el manejo de insectos. Sin embargo, la manipulación de cultivos auxiliares en el control de plagas de insectos es un desafío complejo. Nunca es tan simple atraer insectos beneficiosos y repeler insectos plaga.

Numerosos estudios han sido realizados a nivel mundial sobre esta alternativa de Manejo Integrado Conservativo tendiente a realizar controles de insectos plagas. Sin embargo aún hay mucho por investigar dado que cada cultivo es único por su ubicación geográfica, tipo de suelo, microfauna, microclima, macroclima, tipo de recursos hídricos, tipo de vegetación autóctona, entomofauna, fauna propia de la zona, entre otros factores, con los cuales cada campo o predio en el planeta se hace único.

6.2.1. ¿Qué es un cultivo auxiliar o seto?

Los setos son hileras de árboles, arbustos florales y/o plantas herbáceas (donde también crecen hierbas silvestres), generalmente situados en los bordes de las parcelas de cultivo, en los terraplenes y/o siguiendo los cursos de agua que atraviesan el campo ya sea esté con cultivos anuales, invernaderos o frutales (Guzmán y Alonso, 2000).

La presencia de esos setos o de vegetación silvestre alrededor de las parcelas de cultivo permite el desarrollo de enemigos naturales de las plagas, que luego se desplazan hacia los cultivos para seguir creciendo.

Diferentes plantas asociadas en pequeña cantidad con cultivos en formación de setos auxiliares o en franjas ejercen variados efectos que ayudan al control de insectos fitófagos dañinos.

6.2.2. ¿Cómo actúan estos setos auxiliares en la atracción de insectos benéficos?

Generalmente los compuestos que generan estos vegetales se basan en crear impulsos, olores que resulten atractivos a la entomofauna existente, ofreciendo néctar, polen, lugares de anidamiento, refugio y desarrollo del ciclo biológico de parasitoides y depredadores. Muchos enemigos naturales que afectan a las plagas de los cultivos requieren de carbohidratos y proteínas para el crecimiento, el metabolismo básico y la reproducción. Si el cultivo no proporciona estos materiales, los enemigos naturales buscarán fuera del cultivo el néctar, polen o presas. Esos enemigos naturales pueden no encontrar su camino de regreso al cultivo, reduciendo de esta forma el control de las plagas (Van Driesche et al., 2008).

Así, en las plantas, los enemigos naturales no sólo encuentran refugio frente a condiciones climatológicas adversas y/o frente a depredadores, también encuentran presas y huéspedes alternativos, especialmente cuando éstos escasean en los campos de cultivo. Además, la mayor parte de los enemigos naturales de las plagas no son depredadores estrictos, sino que presentan un alto grado de omnivoría. Así, en algún momento de su ciclo biológico, ya sea como larva, como adulto, o en ambos casos, dependen de los recursos alimenticios que las plantas les ofrecen en forma de néctar (floral o extrafloral), polen, semillas, jugos, o melaza producida por los insectos fitófagos. Consecuentemente, las plantas juegan un papel determinante en la conservación de los insectos auxiliares en los agroecosistemas.

Figura 6.1. Cultivos insectario para atracción de enemigos naturales. Parcela Experimental Pan de Azúcar, INIA Intihuasi, Región de Coquimbo. A) Utilización de Cilantro (*Coriandrum sativum*) en floración como atractivo de adultos de sírfidos (Diptera: Syrphidae) depredadores de áfidos. B) Adulto de sírfido *Allograpta pulchra* alimentándose de néctar y polen de flor de cilantro. C) Larva de sírfido *A. pulchra* en cultivo de lechuga en busca de áfidos para depredar. Proyecto: Programa de reducción de uso y riesgo de plaguicidas en la producción comercial de hortalizas para la pequeña y mediana agricultura.



La teoría agroecológica predice que una mayor diversidad de plantas implica una mayor diversidad de herbívoros, y esto a su vez, determina una mayor diversidad de depredadores y parasitoides, lo que resulta en cadenas tróficas complejas. En general, una biodiversidad total mayor, puede asegurar la optimización de procesos ecológicos claves, y el funcionamiento de los agroecosistemas, y por lo tanto, una mejor regulación natural de las plagas (Rodríguez y González, 2014).

Según el enfoque agroecológico, los agroecosistemas que contienen mayor cantidad y calidad de hábitats naturales tienen una mayor abundancia y diversidad de insectos beneficiosos que los que están intensamente cultivados (monocultivos). Como resultado, se espera que el control biológico natural de plagas sea mayor en los paisajes agrícolas diversos que en los simplificados. Así una mayor biodiversidad puede reducir considerablemente el uso de productos químicos o plaguicidas para el control de las plagas que se presentan en nuestros cultivos (Rodríguez y González, 2014).

6.2.3. ¿Qué factores debo considerar al manejar un sistema de manejo con setos auxiliares?

Debemos considerar que pueden haber interacciones positivas y negativas, que hay que tener en cuenta al momento de determinar la especie vegetal auxiliar a utilizar: cómo será su cultivo, su disposición dentro del campo, traslape de floración, cultivo comercial a establecer y cuáles son sus principales plagas y principales controladores biológicos. Considerar además de factores ambientales que influyen en la diversidad, abundancia y actividad de parasitoides y depredadores en los agroecosistemas: condiciones microclimáticas, disponibilidad de alimentos (agua, néctar, polen, presas, etc.), recursos del hábitat (sitios de reproducción, refugio, etc.), competencia interespecífica y presencia de otros organismos (hiperparásitos, depredadores, humanos). Los efectos de cada uno de estos factores variarán de acuerdo al arreglo espacio-temporal de cultivos y a la intensidad de manejo, ya que estos atributos afectan la heterogeneidad ambiental de los agroecosistemas. Se describen algunas interacciones a considerar:

Las interacciones positivas incluyen:

- El cultivo de auxiliar es más atractivo para las plagas que el cultivo comercial (denominado cultivo trampa).
- El cultivo auxiliar es atractivo para los depredadores de plagas de insectos, proporcionando néctar u otra fuente de alimento que mantiene al depredador cuando no está presente el insecto plaga, lo que permite una mayor población del depredador.

Las interacciones negativas incluyen:

- El cultivo auxiliar proporciona un hábitat o una fuente de alimento para los insectos plaga en un momento en que el cultivo comercial no puede dar soporte a la población de plagas
- El cultivo auxiliar atrae a los insectos depredadores lejos del cultivo comercial.

A pesar de los factores de complicación, se pueden recomendar algunas estrategias generales. **La estrategia más simple es proporcionar una variedad diversa de vegetación para que el hábitat de los insectos sea lo más variado posible.** Esto puede incluir seleccionar un conjunto de coberturas y cultivos comerciales para que siempre haya algo floreciendo en el predio.

6.2.4. ¿Qué parámetros debemos considerar al momento de hacer la elección de especies vegetales que componen estos setos auxiliares?

Un primer paso de vital importancia es la adecuada selección de plantas que componen estas infraestructuras ecológicas. De acuerdo con Rodríguez y González (2014) los criterios de selección más importantes utilizados para identificar qué plantas pueden ser potencialmente útiles para atraer y mantener a los enemigos naturales clave de las plagas agrícolas, se describen a continuación, pero debemos considerar que cada campo (agroecosistema) es único, por tanto, debemos ir determinando en cada cultivo la mejor combinación de flora auxiliar.

- **Seleccionar especies adaptables a la zona**, cuya viabilidad sea factible, es decir, su supervivencia, repoblación y que su establecimiento se realice en el menor tiempo posible. Que estas plantas estén perfectamente adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de la zona en cuestión, que no sean invasoras, y presenten un manejo simple.
- **Utilizar plantas que no sean reservorio de enfermedades víricas**, por ello se deben conocer las plantas autóctonas y alóctonas de cada zona como vector de las enfermedades causadas por virus.
- **Usar plantas que ofrecen recursos alimenticios, es otro parámetro que se debe manejar.** Un seto especialmente diseñado para atraer a los enemigos naturales de las plagas debe estar compuesto por especies vegetales que ofrezcan alimento en forma de polen y/o néctar. El polen es un alimento de alto grado de importancia y es más accesible que el néctar; posee entre 16 a 30 % de proteína, 1 a 7 % de almidón, de 0 a 15% de azúcares libres y 3 a 10 % de grasas, trazas de vitaminas, sales inorgánicas y colorantes. Finalmente,

una planta puede contener mucho néctar, pero resultar poco accesible a los enemigos naturales y por lo tanto no ser útil desde el punto de vista del control biológico. Además de la producción de néctar, se debe considerar la arquitectura floral de la planta y la situación del nectario dentro de la flor, escondido, poco profundo, o expuesto (Rodríguez y González, 2014).

- **Plantas que ofrecen refugio y/o que portan nectarios extra florales.** Hay determinados aspectos de la morfología de una planta, como son por ejemplo los nectarios extra florales, o la presencia de tricomas en las hojas, que pueden influir mucho sobre los insectos fitófagos, los enemigos naturales que atraen y sus interacciones. El néctar extra floral, constituye una importante fuente de alimento, independiente de la floración, dentro de los agroecosistemas y también para el resto de los enemigos naturales con importancia en el control biológico de plagas como son: crisopas, fitoseídos, parasitoides o moscas depredadores. Se ha comprobado que la presencia de plantas con nectarios extra-florales dentro de los campos de cultivo puede resultar ventajosa para el control biológico. La presencia de tricomas en las hojas favorece, por ejemplo, la instalación de poblaciones de ácaros fitoseídos. Varias son las razones que explican esta relación, entre ellas que actúan como refugio para evitar condiciones abióticas adversas o para esconderse de los depredadores, también facilitan el aumento de la captura de polen y su uso posterior como una fuente de alimento.
- **Establecer una cascada de flores.** Una de las condiciones indispensables a la hora de diseñar una plantación para el control biológico, es que esté compuesta por especies vegetales que florezcan secuencialmente a lo largo de todo el año. Con esto se persigue que haya continuidad en los recursos alimenticios, manteniendo cerca de los cultivos a los enemigos naturales. Es importante seleccionar plantas que florezcan durante el invierno, cuando hay escasez de plantas en flor en los campos de cultivo.
- **Utilizar plantas arbustivas.** Desde el punto de vista del control biológico, se sabe que la arquitectura de la planta condiciona la diversidad de especies y la abundancia relativa de los individuos. Comparados con otros tipos hábitats, los setos arbustivos son los que ofrecen mayor cantidad de recursos a los enemigos naturales de las plagas, y hay evidencias de que mejoran el control biológico en los campos de cultivo adyacentes.
- **Follaje y color:** Con el fin de maximizar el control biológico, se deben evitar setos de vegetación monoespecíficos y monocromáticos. Los setos más útiles para albergar entomofauna auxiliar útil son precisamente los que tienen una

arquitectura compleja mezclando diferentes tipos de arbustos y con variedad en el color de sus flores. Es conocido que los arbustos de follaje denso y las plantas perennes sostienen un mayor número de especies de insectos que las plantas de follaje escaso o con hojas pequeñas, así como las plantas caducifolias.

- **Bajo porte** (baja estatura de la planta) y por lo tanto tolerantes al corte reiterado (3-4 veces al año).
- **Una primera floración temprana** para sustentar a los enemigos naturales más precoces y limitar la infestación de pulgones.
- **Especies gramíneas** se incluyen para estabilizar la comunidad de plantas de la franja de flores, pero no deben de predominar limitándose al 80% del peso total.

6.2.4.1. Período de siembra de las franjas florales

Las condiciones climáticas justo después de la siembra tienen una gran importancia sobre el resultado. Realizar la siembra entre finales de septiembre y principios de diciembre, permite la germinación de parte de las semillas antes del verano. Más semillas germinarán en años posteriores. En regiones con periodos secos frecuentes es posible posponer o realizar la siembra de primavera en otoño para incrementar la posibilidad de disponer de un periodo húmedo que induzca una tasa de germinación apropiada. Una siembra tardía también permite el laboreo del suelo durante el verano reduciendo las malas hierbas perennes y el rebrote de gramíneas.

6.2.4.2. Preparación del suelo

la preparación de la cama de semillas debe orientarse a favorecer una óptima germinación y reducir la resiembra posterior, así como evitar competencia con malezas al menos por un mes. ¿Cómo proceder a realizar la preparación de suelo?:

- Labrar cuando el suelo se encuentre totalmente seco.
- Preparar una cama de semilla relativamente fina, sin llegar a ser tan fino que cause anegamiento con las lluvias.
- Asegurar que haya un buen contacto semilla/suelo, para una correcta germinación.

6.2.4.3. Diseño de plantación

En general, como referencia el mejor diseño para este tipo de seto, de acuerdo a su objetivo, es el de bosque isla, el cual se define como masas no lineales de vegetación situadas en terrenos no cultivados y que están rodeadas en todo su perímetro por terrenos cultivados. La superficie mínima de cada uno de estos bosques islas es de 150 m² y la superficie máxima de 1.500 m².

6.2.4.4. Siembra

- Orientativamente la dosis de semilla a utilizar de acuerdo al tipo de plantas a utilizar podría ser de 2 a 5 gramos/m². Esta cantidad varía de acuerdo a si la mezcla incluye gramíneas, en mezclas sólo de flores, la cantidad a utilizar es 2 gramos/m², mezclas con gramíneas sería 5 gramos/m², con un 20% de las semillas correspondiente a plantas con flores y el 80% a gramíneas.
- De preferencia mezclar las semillas con vermiculita o arena de río, para una distribución adecuada de ellas sobre la superficie del suelo.
- Esparcir la semilla, no enterrarla en el suelo.
- Posterior a la siembra, pasar un rodillo o similar, para asegurar un buen contacto semilla/suelo.
- No es recomendable fertilizar las franjas de flores.
- Controlar moluscos si el sector de siembra es muy húmedo o hay presencia de babosas.

6.2.4.5. Manejo de los setos auxiliares

Posterior a la siembra y establecimiento del seto auxiliar, se debería realizar algunos manejos tendientes a favorecer la germinación de la mezcla, para ello posterior al desarrollo de estos setos, se deberían efectuar algunos cortes, para iluminar el seto.

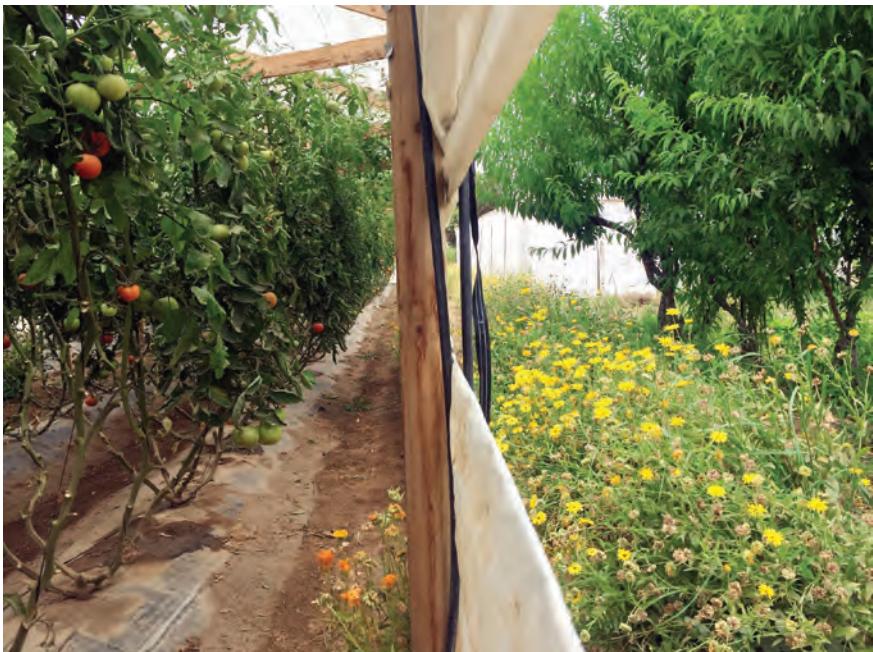
- Primer corte: se considera que un corte podrá dejar los setos a una altura de 30 a 40 cm, retirando los rastrojos.
- Segundo corte: 6 a 8 semanas después del primer corte
- Tercer corte: después del verano
- Cuarto corte: en abril - mayo, antes del invierno.

Todos estos manejos son orientativos y deben adaptarse a cada cultivo y seto auxiliar utilizado, zona geográfica, entre otros factores.

6.2.5. Setos auxiliares con plantas de acción repelente

Difunden en el ambiente sustancias que ahuyentan a especies animales más o menos concretas. Estas sustancias pueden ser excretadas a través de las hojas, el tallo, las raíces o bien pueden ser compuestos que se generan una vez que la planta se ha secado. Estas sustancias son de diferentes tipos y actúan de diferente manera. Con frecuencia las toxinas actúan más como repelentes alimentarios, puesto que los insectos advierten una señal de aviso ya sea visual u olfativa permanentemente para movilizarse en el sistema. Esto se hace más efectivo cuando las plantas están asociadas y producen un sinergismo, creando una señal más grande en los insectos y de esa manera los repele.

Figura 6.2. Uso de *Calendula officinalis* como cultivo insectario y planta repelente en la producción comercial de tomates. Canto del Agua, región de Atacama. Proyecto: Aplicación de Sistemas de Detección Temprana y Control de Bajo Impacto Ambiental en Plagas y Enfermedades de Hortalizas para la Obtención de Productos Saludables.



Entre las flores mas comunes se encuentran las de la familia asteráceas. La *Calendula officinalis* que actúa como antialimentario de insectos. El *Tagetes patula* tiene efectos antivíricos. Este género se caracteriza fundamentalmente por su efecto nematicida. El género *Artemisia* actúa como anti-vírico, insecticida en extracto, también como repelente de algunos géneros, altera el metabolismo de los insectos y tienen efectos herbicidas. El género *Chrysanthemum*, en especial *C. cinerariaefolium*, conocido como piretro, controla bien a los pulgones, es repelente, altera el metabolismo y es antialimentario (acción de repelencia del artrópodo evitando que se alimente) en distintos órdenes de insectos.

6.3. Control de plagas mediante rotaciones y policultivos

Otro método de manejo del hábitat para preservar o restablecer la biodiversidad y generar un control sobre los insectos fitófagos, es a través de realizar rotaciones y policultivos. Se entiende por rotación de cultivos el establecimiento reiterado de una ordenada sucesión de especies cultivadas en la misma parcela a través del tiempo, es importante alternar plantas de diferentes familias y con necesidades nutricionales distintas en un mismo lugar durante diferentes ciclos. A su vez el policultivo es la siembra de dos o más especies en el mismo tiempo y en la misma parcela, coincidiendo todo, o al menos durante parte del ciclo, es la expresión más alta de la biodiversidad, en los sistemas alternativos de producción agrícola (Guzmán y Alonso, 2000).

Figura 6.3. Producción sustentable de hortalizas de hoja a través de la incorporación de plantas insectario y policultivos. Pan de Azúcar, región de Coquimbo. Proyecto: Programa de reducción de uso y riesgo de plaguicidas en la producción comercial de hortalizas para la pequeña y mediana agricultura.



De acuerdo a Guzmán y Alonso (2000), si definiéramos los tipos de interferencia que producen las asociaciones de cultivos en los comportamientos y dinámicas de las poblaciones de insectos, de forma que se pueda dar una solución no química a la lucha contra las plagas, se podría concluir que los menores daños de las plagas en los policultivos pueden deberse a que éstos sean menos atractivos para ellas porque:

- La plaga no encuentra al cultivo del cual suele alimentarse. Ello es debido a que el cultivo acompañante altera las condiciones físicas (microambiente, patrón de reflectancia de la luz, etc.) o químicas, (difusión de la atracción, enmascaramiento de olores, repelencia, etc.) que normalmente indican a la plaga que el cultivo está presente lo que disminuye la probabilidad de encontrarlo.
- En otros casos, la plaga coloniza menos el policultivo y, además, la tasa de migración hacia otros sitios es mucho mayor que cuando ésta encuentra una parcela de monocultivo. Esto parece deberse a que la plaga tiene que invertir mayor cantidad de energía para desplazarse y alimentarse sobre el policultivo por lo que no le resulta tan "rentable" como el monocultivo.
- La menor atracción o menor desarrollo de la plaga en el policultivo se debe, a veces, a la distinta "calidad" de la planta huésped, que es por ello menos estimada por la plaga. Esto puede ocurrir porque en el policultivo hay una competencia por los nutrientes entre los cultivos implicados, lo que disminuye la extracción realizada por cada uno de ellos.
- En otras ocasiones la menor presencia de plaga sobre las plantas del cultivo principal se deben a que ésta ha preferido situarse sobre el cultivo acompañante, que hace así de cultivo trampa.
- Hipótesis de los enemigos naturales. Al pasar de un monocultivo a un policultivo, aumenta la presencia de depredadores de las plagas y su efectividad. Ello se debe, entre otras razones, a que:
 - a) En los policultivos encuentran otros insectos de los que se pueden alimentar cuando la plaga no está presente. De esta manera sobreviven, y cuando aparece el insecto plaga pueden controlarlo.
 - b) Encuentran otras fuentes de alimentación (polen y néctar) que al igual que antes les permite sobrevivir.
 - c) Encuentran más fácilmente refugios para pasar el invierno, para reproducirse, etc.

Figura 6.4. Utilización de berenjena como cultivo trampa para atracción de mosquita blanca de los invernaderos, en la producción comercial de tomate Cherry. Pan de Azúcar, región de Coquimbo. Proyecto: Programa de reducción de uso y riesgo de plaguicidas en la producción comercial de hortalizas para la pequeña y mediana agricultura.



6.3.1. ¿Cuáles podrían ser los criterios para realizar rotaciones y policultivos

A la hora de decidir qué cultivo sucede al anterior nos podemos guiar por varias reglas, pero como en la vida, cumplir con todas ellas resulta algo complicado. Según la experiencia práctica, de menor a mayor dificultad estos serían los criterios a seguir:

- No repetir cultivos de la misma especie o familia: Los cultivos de la misma especie o familia van a consumir el mismo tipo de nutrientes y aquellos que se encuentren en la misma profundidad del suelo, ya que sus raíces alcanzarán el mismo rango de suelo al ser de longitudes similares. Además, al repetir un cultivo favorecemos la instalación de plagas específicas ya que le ofrecemos un paraíso de alimento y refugio.
- Alternar cultivos en función de su exigencia de nutrientes: Colocar plantas que mejoren las condiciones del suelo seguidas en las temporadas posteriores por plantas muy exigentes.

6.3.2. ¿Cómo mantener la biodiversidad en los agroecosistemas para favorecer un efectivo manejo de plagas?

Los manejos a continuación descritos, deben ir realizándose en forma paulatina en el transcurso de las temporadas, cabe destacar que éstos manejos se realizan a nivel de huertos agroecológicos a nivel mundial (Pfiffner y Balmer, 2011), y en Chile se ha ido implementando y adaptando a nuestra realidad.

- Mantener márgenes florales funcionales (márgenes herbáceos, matorrales, árboles dispersos en hilera (incluso los muertos, etc.). Si hay que reducir vegetación en los márgenes, es mejor distribuir la actuación en diferentes años y actuar en diferentes fases, para no dejar un año la fauna sin refugio y permitir la regeneración natural de la vegetación a partir de los sectores cercanos.
- Mantener sectores no cultivados, con hábitats naturales o seminaturales, que actúen como reservorio para la fauna útil.
- Mantener y potenciar la vegetación de bordes de canal y pequeños cursos de agua que puedan existir en el campo.
- Conservar las zonas húmedas y puntos de agua natural o artificial, vigilando que no se conviertan en una trampa para la fauna.
- Trabajar en parcelas pequeñas, que favorecen la presencia de márgenes y permiten controlar mejor el agua de escorrentía.

- Mantener barbechos (rotativos, que estén 1 o 2 años en reposo), sin labrarlos hasta la época en que tengan que volver a ser sembrados.
- Mantener la cubierta vegetal en cultivos perennes.
- Practicar la rotación, si puede ser de un mínimo de 4-5 años, y la diversificación de cultivos, con especies de características complementarias.
- Distribuir los tipos de cultivo de forma que los menos intensivos y más favorables a la fauna (cereales, leguminosas, etc.) estén en contacto con la vegetación natural del entorno.
- Favorecer la existencia de zonas de transición entre los hábitats naturales y los cultivos.
- Minimizar el trabajo del suelo con maquinaria pesada, para favorecer el mantenimiento de la estructura del suelo y la fauna edáfica.
- Evitar un excesivo trabajo del suelo o un trabajo demasiado agresivo o profundo, con el fin de mantener la estructura del suelo y conservar la fauna edáfica.
- Mantener los restos orgánicos (residuos de cosechas, raíces, rastrojo, paja, etc.) en el campo, dejados en superficie o incorporados a los primeros 5-10 cm.
- Introducir infraestructuras ecológicas en la explotación con el fin de favorecer la riqueza y diversificación de los agroecosistemas, así como para favorecer el control biológico de determinadas plagas.

Literatura consultada

Altieri MA. 1994. Biodiversity and pest management in agroecosystems. Haworth Press, New York

Altieri MA, Nicholls CI. 2004. Biodiversity and pest management in agroecosystems: Binghamton USA: Food Products Press

Altieri, M y Nicholls, C. 2002. Biodiversidad y diseño agroecológico: un estudio de caso de manejo de plagas en viñedos. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica). 65: 50-64

Altieri, M.A.; Whitcomb, W.H. 1979. The potential use of weeds in the manipulation of beneficial insects. HortScience (Estados Unidos) v.14 no.1, p.12-17.

Alomar Kurz, Óscar & Albajes García, Ramón. 2005. Control Biológico de Plagas: Biodiversidad Funcional y Gestión del Agroecosistema. IRTA. Recerca i Tecnologia Agroalimentàries. <http://hdl.handle.net/2072/4643>.

- Arias Roda, F. 2012. Refugios para enemigos naturales de plagas insectiles: Selección inicial de plantas para condiciones de El Zamorano. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1094/1/T3384.pdf>.
- Bahena, J.F. 1999. El manejo de plagas en una agricultura sostenible. Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México. Pesticide Action Network. Boletín, 27 (sept.-dic.): 3-5.
- Carrera, A. & de Torres Jesús. 2009. Biodiversidad, control de plagas y sostenibilidad agraria. Colección Cuadernos Didácticos. Editores Excmo. Diputación de Valladolid.
- Galaz, F. & Navarro D. 2018. Efecto De La Incorporación De Recursos Florales en la Abundancia De Enemigos Naturales En Huertos De Palto En La Localidad De Quillota, Región De Valparaíso. Trabajo Final Para Optar Al Magíster En Producción Vegetal. Universidad Mayor Facultad De Ciencias Escuela De Agronomía. Santiago – Chile.
- Guzmán, G. y Alonso, A. 2000. Los setos en el manejo de plagas en Agricultura ecológica. Hoja divulgativa 4.3/00. Comité Andaluz de Agricultura ecológica.
- Jervis, M. A. & Heimpel, G. E. 2005: "Phytopagy". En: Insect as natural enemies. A practical perspective. Edited by M. A. Jervis. Springer.
- Koptur, S. 2013: "Nectar as fuel for plant protectors". En: Plant-Provided Food and Herbivore-Carnivore Interactions. Editado por F. L. Wäkers, P. C. J. van Rijn, J. Bruin. Cambridge University Press.
- Nicholls C. 2006. Bases agroecológicas para diseñar e implementar una estrategia de manejo de hábitat para control biológico de plagas. Agroecología. 1: 37- 48
- Paleologos MF, CC Flores, SJ Sarandon, SA Stupino & MM Bonicatto .2008. Abundancia y diversidad de la entomofauna asociada a ambientes seminaturales en fincas hortícolas de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Revista Brasileira de Agroecología 3 (1):28-40.
- Pfiffner, L., Balmer, O. 2011. "Factsheet Organic Agriculture and Biodiversity" Ficha Técnica PAE 21. Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural, España.
- Rose, T., Kremen, C., Thrupp, A., Gemmill-Herren, B., Graub, B., Azzu, N. 2016. Policy analysys paper: mainstreaming of biodiversity and ecosystem services with a focus on pollination. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Rodríguez, Estefanía & González, Mónica. 2014. Vegetación Autóctona Y Control Biológico: Diseñando Una Horticultura Intensiva Sostenible.

van Driesche, M. Hoddle and T. Center. 2008. Control of pests and weeds by natural enemies. An introduction to biological control. An Introduction to Biologicalk Control. Blackwell Publishing, Malden, MA, USA.

Zúñiga Enrique. 1987. Cómo mejorar el efecto de los enemigos naturales en el campo: Medidas prácticas para facilitar la acción de estos extraordinarios controladores de plagas. IPA La Platina N° 44. <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/IPA/NR05659.pdf>

Capítulo 7

Cubiertas vegetales para el manejo sustentable del suelo

Carlos Ovalle M., Soledad Espinoza T. y Viviana Barahona L.

Un cultivo de cobertura es cualquier cultivo sembrado con el propósito de otorgar cobertura al suelo, independiente que posteriormente sea incorporado o no al suelo como abono verde.

Las cubiertas pueden ser cultivos o especies forrajeras anuales, bianuales, o plantas herbáceas perennes, cultivadas como especie pura o en mezclas, durante todo o parte del año.

7.1. Cubiertas vegetales o cultivos de cobertura (cover crops): una herramienta fundamental para el manejo sustentable del suelo en huertos frutales y viñedos

Los cultivos de cobertura se pueden clasificar en tres tipos: a) cultivos de abono verde de invierno (**Figura 7.1**), que consisten generalmente en leguminosas fijadoras de Nitrógeno (N), como por ejemplo arveja, lupino, haba, los que son sembrados cada otoño y segados o incorporados en primavera. También las leguminosas se pueden sembrar en mezcla con cereales como avena o cebada. b) leguminosas forrajeras anuales de autosiembra (**Figura 7.2**), sembradas en otoño y pastoreadas durante la primavera y principios del verano para permitir la resiembra natural. c) especies perennes (**Figura 7.3**), que pueden ser especies forrajeras como (ballica perenne, festuca, pasto ovillo) y/o leguminosas como trébol blanco, sembrados en otoño y cortados o pastoreados para proporcionar un recubrimiento de suelo durante todo el año.

La técnica consiste en establecer el cultivo en toda la superficie o, lo que es más frecuente, entre hileras de árboles o viñedos. También se utilizan como cultivos de invierno en producción de hortalizas de primavera-verano. Dicha cubierta debe establecerse y mantenerse activa, especialmente durante el otoño e invierno, época cuando el suelo recibe gran parte de las precipitaciones y por lo tanto la pérdida de nutrientes por lixiviación es más activa. Leguminosas y gramíneas pueden ser

Figura 7.1. Cultivos de invierno de habas y arveja utilizadas como abono verde.



Figura 7.2. Leguminosas forrajeras anuales (tréboles subterráneos) de autosiembra, sembradas en otoño y utilizadas como cubiertas vegetales en viñedos y huerto de frambuesa.



Figura 7.3. Especies perennes (trébol blanco) sembradas en otoño, utilizadas como cubiertas vegetales en huertos de cerezo y frambuesa orgánicos en la región del Ñuble.



utilizadas, ya sea como anuales o perennes, dependiendo de la especie, el manejo y los requerimientos del cultivo principal.

7.2. Beneficios de las cubiertas vegetales

La principal razón para sembrar una cubierta vegetal es mejorar la calidad del suelo adicionando materia orgánica, y más específicamente nitrógeno cuando se establecen leguminosas en huertos frutales o viñedos. Además las cubiertas brindan otros servicios como la atracción de enemigos naturales, contribuyen al control de la erosión (**Figura 7.4**) y de las malezas, y a la descompactación del suelo. La incorporación de altos niveles de materia orgánica también contribuye a la formación de humus. No obstante son necesarias cubiertas permanentes y persistentes en el tiempo para generar cambios medibles en el contenido de humus. Los cultivos y abonos verdes anuales casi no tienen efectos en los niveles de humus, debido a que la labranza periódica provoca una descomposición rápida de la materia orgánica.

Figura 7.4. Cubiertas para la protección del suelo contra la erosión en viñedos.



7.2.1. Las cubiertas vegetales de leguminosas como fuente de nitrógeno

Los cultivos de cobertura que incluyen plantas fijadoras de N como tréboles anuales o perennes, medicagos anuales o perennes, y los abonos verdes como vicia, arveja, haba, lupino y otros; aportan importantes cantidades de N, a condición que la fijación biológica funcione bien y para ello la inoculación de las semillas con el inoculante apropiado es condición necesaria. La contribución final de N del cultivo de cobertura al cultivo principal va a depender fundamentalmente de la eficiencia del proceso de fijación y de la cantidad de biomasa que el cultivo produzca (**Cuadro 7.1**). En general, cultivos de cobertura de abono verde con un alto porcentaje de leguminosas pueden aportar más nitrógeno que las praderas anuales de resiembra o que los cultivos de cobertura de especies forrajeras perennes que contienen leguminosas. Por otra parte, se recupera más N de los cultivos de abono verde cuando son incorporados al suelo que cuando se cortan y se deja el residuo en la superficie del suelo.

El nitrógeno fijado biológicamente por las leguminosas utilizadas como cubiertas vegetales, puede variar entre 50 y 400 kilos de nitrógeno por hectárea (kg N/ha), como se detalla en el **Cuadro 7.1**.

Se estima que la proporción de nitrógeno de un abono verde que queda disponible para un cultivo asociado o siguiente, es de alrededor del 40 a 50% de la cantidad total de N contenido en la leguminosa.

Por ejemplo, si un cultivo de arveja que acumuló 200 kg N/ha, podrá contribuir con aproximadamente 100 kg N/ha al cultivo siguiente o asociado.

Para determinar cuánto N contiene un cultivo de cobertura, se necesita una estimación del rendimiento de biomasa y su porcentaje de N. Para ello se debe tomar una muestra, secarla, pesarla y enviarla para el análisis de forraje, que incluye una estimación de contenido de proteína. Una vez que el contenido de proteína es conocido, simplemente se divide por 6,25 para obtener el porcentaje de N contenido en el cultivo de cobertura. Finalmente, para obtener los kilos de N aportado por la leguminosa por hectárea, se multiplica el porcentaje (%) de N por la producción de biomasa de la leguminosa. Sin embargo, debido a que la contribución de N de los cultivos de cobertura depende de muchos factores, las estimaciones del N disponible siempre deben considerarse sólo como una estimación aproximada. El análisis de N en la hoja (en frutales y viñas) y balances de N, deberían ser utilizados para validar estas estimaciones y ajustar los programas de fertilización.

Cuadro 7.1. Rendimiento de biomasa y producción de nitrógeno en varias especies de leguminosas cultivadas en Chile.

| Especie | Producción de biomasa (kg/ha) | Contenido de N en la biomasa (%) | Aporte total de N (kg ha/año) |
|--|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| <i>Trifolium repens</i> var. Huía | 10.400 | 3,96 | 412 |
| <i>Trifolium pratense</i> var. Quiñequeli | 9.070 | 3,74 | 339 |
| <i>Trifolium subterraneum</i> var. Mount Barker | 6.820 | 2,99 | 204 |
| <i>Trifolium vesiculosum</i> cv. Zulú | 8.830 | 4,10 | 362 |
| <i>Trifolium incarnatum</i> cv. Corriente | 3.378 | 4,16 | 141 |
| <i>Trifolium michelianum</i> var. Frontier | 8.642 | 2,85 | 246 |
| <i>Trifolium alexandrinum</i> | 10.531 | 2,55 | 269 |
| <i>Medicago sativa</i> var. Criolla | 21.340 | 4,06 | 866 |
| Mezcla de Leguminosas anuales (MED 500) | 3.352 | 3,08 | 103 |
| <i>Pisum sativum</i> var. Milano | 21.745 | 2,76 | 600 |
| <i>Pisum sativum</i> var. Rocket | 11.182 | 3,87 | 433 |
| <i>Vicia faba</i> var. Fresh water | 12.720 | 4,20 | 534 |
| <i>Lupino luteus</i> var Motiv | 4.213 | 3,46 | 146 |
| <i>Lupinus angustifolius</i> var. Wonga | 9.656 | 4,10 | 396 |
| <i>Lupinus albus</i> var. Rumbo | 5.288 | 4,07 | 215 |
| <i>Avena sativa</i> var. Urano + <i>Vicia atropurpurea</i> | 5.200 | 1,21 | 63 |
| <i>Vicia atropurpurea</i> | 8.715 | 3,26 | 284 |

7.3 Establecimiento y manejo de cubiertas vegetales

7.3.1. Tolerancia a la sombra provocada por el huerto o viñedo

Algunas especies usadas como cultivos de cobertura son más tolerantes a la sombra que otras y, por lo tanto, están mejor adaptadas para uso como cultivos de cobertura en huertos o viñedos. Por ejemplo entre las gramíneas perennes, el pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), es la especie más tolerante, mientras que en leguminosas anuales, los tréboles subterráneos de la subespecie *brachycalycinum* (por ejemplo, variedades Clare y Antas) tienen mayor tolerancia que los de las subespecies *subterraneum* (por ejemplo, variedades Mount Barker, Seaton Park).

En el caso de abonos verdes sembrados en otoño, y de cubiertas de especies forrajeras de leguminosas anuales de autosiembra, la sombra es menos importante ya que el establecimiento y crecimiento ocurre después de la caída de la hoja en frutales de hoja caduca, cuando llega más luz al suelo. Por otra parte, las cubiertas de invierno se cortan y/o incorporan antes que la sombra los afecte, pues su fenología es invertida respecto a la del huerto de hoja caduca, vale decir, mientras la cubierta crece el huerto no tiene hojas, y cuando se inicia la foliación del huerto, la cubierta está terminando su ciclo productivo anual.

Las especies perennes de gramíneas y trébol (por ejemplo, ballica perenne, fes-tuca, trébol blanco) tienen suficiente tolerancia a la sombra para establecerse y crecer bien en huertos sombreados. Sin embargo hay que señalar que producen y persisten más tiempo en condiciones donde reciben algo de luz solar directa.

7.3.2. Método de riego

La elección del cultivo de cobertura va a estar condicionada por el método de riego utilizado en el huerto. Los cultivos de cobertura de abono verde invernal sembrados en el otoño y cortados o triturados en la primavera pueden cultivarse sin riego (por ejemplo, en huertos con sistemas de riego por goteo o microaspersores), ya que normalmente se eliminan antes de que comience la temporada de riego.

Un sistema de riego de cobertura completa puede ser ventajoso para regar las cubiertas de resiembra, cuando las lluvias de otoño ocurren demasiado tarde para suministrar humedad para la germinación del cultivo de cobertura. Debido a que los cultivos perennes de cobertura están presentes durante todo el año, un sistema de riego por aspersión, o el riego gravitacional por inundación permiten el mejor establecimiento y persistencia de la cubierta. También las cubiertas de especies perennes dan buenos resultados en los huertos que tienen sistemas de riego que abarquen la entrehilera.

7.4. Manejo de las cubiertas

En general, la siembra de abonos verdes está especialmente recomendada para huertos y viñedos, en que la entre hilera es cultivada porque se aprovecha el laboreo del suelo y la fertilización. El efecto es mejor cuando los residuos del cultivo de cobertura se incorporan al suelo. Sin embargo, estos beneficios se reducen con cultivos muy frecuentes porque la labranza continua acelera la descomposición de la materia orgánica del suelo.

Los abonos verdes también proporcionan muchos beneficios al suelo y su fertilidad en huertos no cultivados, donde los residuos del cultivo de cobertura se cortan y se dejan descomponer en la superficie. Esta práctica reduce la recuperación de nitrógeno de las leguminosas en el cultivo de cobertura en comparación con la incorporación.

7.4.1. Manejo de los abonos verdes

El “abono verde” implica la incorporación al suelo de cualquier cultivo o de forraje mientras esté verde o poco después de la floración, con el propósito de mejorar el suelo y/o capturar nutrientes residuales de cultivos anteriores, por ejemplo después de maíz.

Se recomienda cortar estos cultivos de cobertura a fines de septiembre o principios de octubre para minimizar la competencia por agua. La incorporación puede hacerse mediante el uso de arado de discos en huertos cultivados o mediante una segadora rotativa en huertos no cultivados. Los cultivos de cobertura muy altos o gruesos deben ser cortados y picados para facilitar la incorporación al suelo.

7.4.2. Manejo de las cubiertas de especies forrajeras de autosiembra

Las cubiertas vegetales de especies de autosiembra como mezclas de tréboles subterráneos, hualputras, trébol balansa, trébol encarnado, trébol vesiculoso u otras, deben ser cortadas a fines de invierno a 10 cm de altura, para reducir la competencia con las malezas invernales, ayudar a aumentar la absorción de calor y la radiación para la protección contra las heladas. Un segundo corte se realiza a principios o mediados de noviembre una vez que la semilla ha madurado completamente para asegurar el restablecimiento satisfactorio del cultivo de cobertura.

Una segunda opción todavía más recomendable es manejar este tipo de cubiertas en pastoreo con ovinos (**Figura 7.5**), lo cual reduce aún más la competencia con las malezas, porque pueden ser consumidas más tempranamente. Es necesario rezagar el pastoreo desde mediados de octubre para permitir la semilladura de las especies anuales.

7.4.3. Manejo de cubiertas vegetales de especies forrajeras perennes

Un primer corte temprano después de la siembra a inicios de primavera, será necesario una vez que la superficie del suelo esté lo suficientemente seca como para permitir el acceso de la maquinaria sin compactar el suelo. Este corte es

Figura 7.5. Cubierta entre hilera de alfalfa en huerto orgánico de nogal.



fundamental para reducir la competencia de las malezas y evitar el sombreado de los pastos y tréboles. Posteriormente se debe cortar con relativa frecuencia de manera de mantener la cubierta sin excesos de biomasa que produzcan sombra y descomposición de la masa vegetal. A medida que la cubierta crece, debe tratarse como una pradera, cortando a una altura de un puño, cada vez que las plantas alcancen 20 a 25 cm. Al final de la temporada se podrá realizar un corte más bajo a 2,5 a 3 cm para no interferir con las labores de cosecha del huerto.

7.5. Especies y mezclas para uso en cubiertas vegetales

7.5.1. Criterios para la elección de las especies

Uno de los criterios más importantes a tener en cuenta a la hora de implementar un programa exitoso de manejo de cultivos de cobertura es determinar los objetivos o el problema que se pretende resolver y la función esperada del cultivo de cobertura elegido. ¿Por qué y cuál es la justificación para sembrar una cubierta vegetal?. Las razones podrían ser múltiples:

- Prevenir la erosión.
- Reducir los costos de fertilizantes nitrogenados y disminuir las pérdidas de nutrientes.
- Aumentar la materia orgánica del suelo.
- Reducir la compactación.
- Suprimir o controlar las malezas.
- Reducir los patógenos del suelo.
- Evitar el uso de herbicidas.
- Mejorar la infiltración de agua y conservar la humedad del suelo.

Las plantas más recomendadas como cubierta vegetal, pertenecen a las familias de las leguminosas, crucíferas y gramíneas. Las cubiertas de leguminosas tienen la ventaja adicional de aportar N por fijación biológica. No obstante, su establecimiento es más lento al tener que competir con las malezas.

En cuanto a especies que contribuyan a la formación de una buena estructura de suelo y un adecuado “piso” para el tránsito de maquinaria y operarios, se debiera utilizar las gramíneas perennes de los géneros *Festuca*, *Lolium*, *Dactylis* y *Phalaris*.

Un aspecto fundamental es si la entrehilera es regada gravitacionalmente, o el huerto en cuestión posee un sistema de riego por goteo u otro que riegue directamente la planta o la hilera de plantación, dejando la entrehilera sin aporte hídrico. Para el primer caso, especies gramíneas y leguminosas perennes de riego, serán las más apropiadas (trébol blanco, festuca, pasto ovillo, ballica), y para el segundo, se deberá recurrir a especies anuales o de autosiembra, como las que se utilizan en praderas de secano (tréboles subterráneos, trébol encarnado, trébol vesiculoso, hualputra).

Para suelos de ladera, generalmente de alta pendiente, de perfil poco profundo, de baja retención de humedad y de fertilidad natural baja, el establecimiento de una cubierta vegetal que contenga leguminosas anuales de autosiembra, y gramíneas anuales de crecimiento rápido (*Lolium rigidum* cv Wimmenra) es fundamental para cubrir rápidamente el suelo, prevenir la erosión hídrica, aportar nitrógeno y otros elementos, sin que ésta compita por agua con el huerto.

Para cubiertas vegetales en que la entrehilera es regada, el trébol blanco (*Trifolium repens*) solo, o el trébol blanco en asociación con gramíneas perennes como festuca (*Festuca arundinacea*), pasto ovillo (*Dactylis glomerata*) o balica perenne

Cuadro 7.2. Recomendación de especies de cobertura vegetal en función de los objetivos del productor.

| Objetivo principal | Cultivo | Comentarios |
|--|--|--|
| Mejorar la estructura del suelo y acondicionar el suelo (piso) para el tránsito de la maquinaria | Gramíneas perennes de los géneros <i>Festuca</i> , <i>Lolium</i> , <i>Dactylis</i> y <i>Phalaris</i> | La alta actividad de la raíz estabiliza el suelo. El follaje protege la superficie del suelo, y es un excelente aporte de materia orgánica. Favorece el desarrollo de micorrizas. |
| Aporte de nitrógeno | Trébol subterráneo, T. encarnado, T. balansa, T. blanco, alfalfa, lotera medicago anual, lupino, arveja, haba, vicia | Usar inoculante con el Rhizobium específico. Se espera que las leguminosas fijen entre 100 y 200 kg N/ha, o entre 20 y 30 Kg de N por tonelada de materia seca producida. |
| Proteger el suelo contra la erosión | Cultivos que cubren rápidamente el suelo como ballica anual, avena, cebada, en mezcla con tréboles y medicagos anuales | El manejo de cortes varía con el cultivo. Sembrar temprano en la temporada. |
| Control de malezas | Cultivos de crecimiento rápido y precoz: cebada, avena, en mezcla con vicia o brásicas | Usar dosis de siembra con un 30% más de semilla para disminuir la competencia de las malezas. Las brásicas pueden suprimir malezas más allá de la competencia directa ejercida por los cultivos de rápido crecimiento |
| Recuperar fertilizante residual de cultivo anterior (Cash crop) | Mezcla de cultivos fibrosos y de raíces profundas, por ejemplo ballica anual, avena, cebada | Captura y almacena N para evitar la lixiviación y/o volatilización durante el invierno. Recicla los nutrientes de las profundidades del suelo. Utilice estos cultivos de cobertura cuando los niveles de nitratos del suelo sean superiores a 150 kg N/ha. |
| Control de enfermedades y plagas del suelo | Especies Biofumigantes como raps (<i>Brasica napus</i>). Use variedades con alto contenido de glucosinolato | Lograr incorporar 100 t/ha de biomasa fresca. Incorporar cuando florece, picar finamente e incorporar en el suelo rápidamente. El suelo debe estar húmedo. |

(*Lolium perenne*) aparecen como las especies más apropiadas. En el **Cuadro 7.2**, se indican las principales alternativas de especies en función del objetivo principal del productor de manera de hacer coincidir su objetivo principal de gestión del suelo con los cultivos de cobertura que debiera elegir. En el **Cuadro 7.3**, se indican las especies y dosis de siembra para cubiertas vegetales para uso como abonos verdes sembrados en otoño. En el **Cuadro 7.4**, se indican las alternativas de mezclas de especies y variedades de leguminosas anuales y gramíneas y las dosis de semilla para cubiertas vegetales de secano y en el **Cuadro 7.5**, las alternativas para suelos de riego.

Cuadro 7.3. Cubiertas vegetales para uso como abonos verdes sembrados en otoño

| Especie | Dosis de semilla (kg/ha) | Variedad |
|--|-----------------------------|-------------------------|
| <i>Pisum sativum</i> | 220 | Milano, Utrillo, Rocket |
| <i>Vicia faba</i> | 80 | Corriente, Fresh water |
| <i>Vicia atropurpurea</i> | 110 | Corriente |
| <i>Trifolium incarnatum</i> | 25 | Corriente |
| <i>Avena sativa / Vicia atropurpurea</i> | 80/50 | Urano/corriente |
| <i>Trifolium alexandrinum</i> | 30 | Corriente |

Cuadro 7.4. Mezclas de especies y variedades de leguminosas anuales y dosis de semilla para cubiertas vegetales en la zona Mediterránea de Chile

| Mezclas | Especies | Variedades | Dosis (kg/ha) |
|---|--------------------|----------------|---------------|
| Mezcla de leguminosas anuales de ciclo largo Mediterránea 700 | Trébol subterráneo | Mount Barker | 4 |
| | | Denmark | 4 |
| | | Campeda | 4 |
| | Trébol vesiculoso | Cefalú | 4 |
| | Trébol encarnado | Corriente | 4 |
| Mezcla de leguminosas anuales de ciclo intermedio Mediterránea 600 | Trébol subterráneo | Gosse | 4 |
| | | Antas | 4 |
| | | Clare | 4 |
| | Trébol balansa | Paradana | 3 |
| | Hualputra | Scimitar | 5 |
| Mezcla de leguminosas anuales de ciclo intermedio Mediterránea 500 | Trébol subterráneo | Seaton Park | 3 |
| | | Campeda | 3 |
| | | Clare | 3 |
| | | Antas | 3 |
| | | Trébol balansa | 2 |
| Mezcla de leguminosas anuales de ciclo corto Mediterránea 400 | Trébol subterráneo | Hualputra | 6 |
| | | Seaton Park | 3 |
| | | Campeda | 3 |
| | | Losa | 3 |
| | Hualputra | Dalkeith | 3 |
| | | Scimitar | 8 |

Cuadro 7.5. Mezclas de especies y variedades de leguminosas y gramíneas perennes anuales y dosis de semilla para cubiertas vegetales en suelos con riego en la entre hilera del huerto o viñedo.

| Mezclas | Especies | Variedades | Dosis (kg/ha) |
|-------------------------------|---------------|------------|---------------|
| Mezcla para suelos arcillosos | Trébol blanco | Bounty | 4 |
| | Lotera | Quimey | 6 |
| | Festuca | Exella II | 8 |
| Mezcla para suelos arenosos | Pasto ovillo | Greenly | 8 |
| | Trébol blanco | Bounty | 4 |

Literatura consultada

- Bugg, R.L, Settle, W.H, Chaney, W.E., and O. Daugovish. 2011. Arthropods, p. 61–68. In: Smith, R. F., Bugg, R. L., Daugovish, O., Gaskell, M., and Van Horn, M. (eds.), Cover cropping for vegetable production: A grower's handbook, Publication 3517. Univ. of California, Oakland, CA.
- Campillo, R., Urquiaga, S., Pino, I, y A. Montenegro. 2003. Estimación de la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas forrajeras mediante la metodología del ^{15}N . Agricultura Técnica. 63(2):169–179.
- Chen and Well, 2010. Penetration of cover crop roots through compacted soils. Plant Soil 331:31–43.
- Cresswell H.P., and J.A. Kirkegaard. 1995. Sub-soil amelioration by plant roots the process and evident. Australian Journal of Soil Research, 33:221–239.
- Espinoza, S., Zagal, E., Ovalle, C., Matus, I., del Pozo A. 2014. Contribution of legumes to the availability of soil nitrogen and its uptake by wheat in Mediterranean environments of central Chile. Chilean journal of Agricultural Research. 75(1): 110–120.
- Espinoza, S., Ovalle, C., Zagal, E., Matus, I., Tay, J., Peoples, M., and A. del Pozo. 2012. Contribution of legumes to wheat productivity in Mediterranean environments of central Chile. Field Crop Research 133: 150–159.
- Espinoza, S., Ovalle, C., del Pozo, A., Zagal, E., and S. Urquiaga. 2011. Biological Fixation of N₂ in Mono and Polyspecific Legume Pasture in the Humid Mediterranean Zone of Chile. Chilean Journal of Agricultural Research. 71(4):132–139.
- Gurr, G.M., Wratten, S.D., and J.M. Luna. 2003. Multi-function agricultural biodiversity: Pest management and other benefits. Basic Appl. Ecol. 4, 107–116. 59.
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., de Tourdonnet, S., Valantin-Morison, M. 2009 Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models: A review. Agron. for Sust. Dev. 29: 43–62.
- Materechera, S.A., Dexter, A.R., and A.M. Alston. 1991. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. Plant Soil. 135:31–41.
- Misra RK, Dexter AR, Alston AM (1986) Maximum axial and radial growth pressures of plant roots. Plant Soil 95:315–326.

- Ovalle, C., del Pozo, A., Peoples, M., and A. Lavín. 2010. Estimating the contribution of nitrogen from legume cover crops to the nitrogen nutrition of grapevines using the ^{15}N isotopic dilution technique. *Plant & Soil*. 334:247–259.
- Ovalle, C., Gonzalez, M.I., del Pozo, A., and J. Hirzel. 2007. Cover crops in organic raspberry production: effects on soil nutrient content, and raspberry growth and yield. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 67 (3): 271–280.
- Ovalle, C., Urquiaga, S., del Pozo, A., Zagal, E., and S. Arredondo. 2006. Nitrogen fixation in six forage legumes in mediterranean central Chile. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 56(4): 277–293.
- Scholberg, J.M.S., Dogliotti, S., Leoni, C., Cherr, C.M., Zotarelli, L., and W.A.H. Rossing. 2010. Cover Crops for Sustainable Agrosystems in the Americas. In: Lichtfouse, E. (Ed.), *Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming, Sustainable and Organic Farming, Sustainable Agriculture Reviews 4*. Springer, New York, pp. 59– 97.
- Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S (2002) Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418:671–677.
- Van Driesche, R.G., Hoddle, M.S. y T.D., Center. 2007. Control de plagas y malezas por enemigos naturales. Ed. The Forest Health Technology Enterprise Team (FHTET). USA. 751 p.

Capítulo 8

Desarrollo de una herramienta para el monitoreo de la sustentabilidad de predios agrícolas

Aart Osman y Victoria Muena Z.

El desarrollo sustentable comprende los tres ámbitos: económico, medioambiental y social, y por ende, avanzar hacia una producción sustentable significa tomar en cuenta estos tres ámbitos en forma integrada. Esto implica considerar múltiples factores que influyen sobre la sustentabilidad del predio agrícola, que además están interrelacionados.

Esta complejidad, dificulta el desarrollo de propuestas que abarquen la sustentabilidad en forma integral. La metodología que presentamos en el presente capítulo, ayuda a visualizar y analizar los temas relacionados con la sustentabilidad y sus interacciones.

Es una herramienta de apoyo para productores y profesionales, para la selección y priorización de prácticas y actividades más sustentables. Al mismo tiempo, la metodología está orientada a la identificación de un set coherente de indicadores adaptados a la realidad específica de la zona y el sistema de producción de los agricultores. El análisis y monitoreo de sustentabilidad incentiva a los participantes a reflexionar cómo sus actividades afectan la sustentabilidad.

8.1. Metodología

La metodología fue aplicada entre el 2016 y 2017 con asesores del Programa Servicio de Asesoría Técnica (SAT) y funcionarios de INDAP de la provincia de Petorca, que integraron el Grupo de Transferencia Tecnológica (GTT) de Extensionistas de la región de Valparaíso. Los participantes eran asesores de productores categorizados como floricultores, fruticultores, horticultores y ganaderos, a través de los programas de extensión. Este GTT nace por la necesidad de apoyar a los extensionistas de INDAP en temas relacionados con la sustentabilidad.

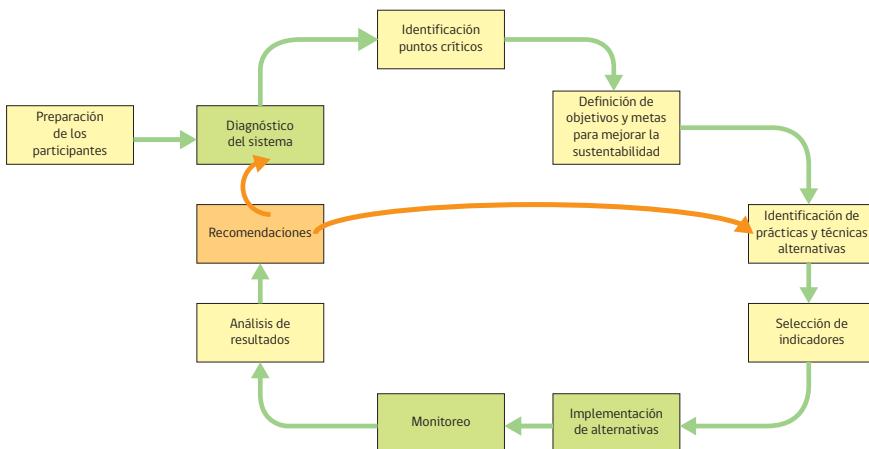
Para el desarrollo de la herramienta se adaptó la metodología MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad) (Masera *et al.*, 2000; López Ridaura *et al.*, 2002; Astier *et al.*, 2008), a las necesidades específicas de las labores que realizan los funcionarios y extensionistas de INDAP en la provincia de Petorca.

MESMIS fue desarrollado en México con el fin de fomentar el manejo sustentable de los recursos naturales por pequeños productores y fue aplicado en decenas de países en América Latina, EE.UU. y Europa.

La evaluación de la sustentabilidad se realiza a través de un proceso cíclico que incluye los siguientes pasos: un diagnóstico de la situación actual, análisis y priorización de puntos críticos que amenazan la sustentabilidad, definición de los objetivos, metas e intervenciones para mejorar la situación actual, monitoreo de los avances con indicadores previamente seleccionados, evaluación y reflexión sobre los avances (**Figura 8.1**).

Las evaluaciones y reflexiones sobre sus resultados son el insumo para el inicio de un nuevo ciclo. En las siguientes secciones de este capítulo se provee una descripción más detallada de los distintos pasos de la metodología y su aplicación práctica, a través de un estudio de caso llevado a cabo en la provincia de Petorca, en el marco del Grupo de Transferencia Tecnológica (GTT) de Extensionistas.

Figura 8.1. Metodología desarrollada e implementada en la provincia de Petorca.



8.2. El contexto teórico

El concepto de sustentabilidad que se emplea en el MESMIS está basado en un enfoque de sistemas, que visualiza el predio como un agroecosistema y considera que para ser sustentable debe poseer los siguientes cinco atributos:

- **Productividad:** tiene la capacidad de proveer el nivel deseado de ingresos económicos, y los productos y servicios –no valorizados económicamente– necesarios para la mantención de la familia de productores, los animales y otros componentes del predio.
- **Estabilidad:** mantiene el mismo nivel productivo bajo condiciones normales y tiene la capacidad de amortiguar los efectos de eventos negativos (por ejemplo sequía, volatilidad del mercado, huelga).
- **Adaptabilidad:** la capacidad de responder exitosamente a cambios.
- **Equidad:** la capacidad de distribuir los beneficios y asumir los costos (efectos negativos) del sistema en forma razonable y justa.
- **Autorregulación:** capacidad de manejar y regular eventos y relaciones externas.

De esta forma, fomentar la sustentabilidad del predio implica implementar intervenciones que fortalezcan estos atributos en el sistema. Simultáneamente, en línea con los pensamientos de la “Comisión Brundtland” (WCED, 1987) y otros autores, se considera que la sustentabilidad requiere de la búsqueda de un balance entre el desarrollo en los ámbitos económico, medioambiental y social.

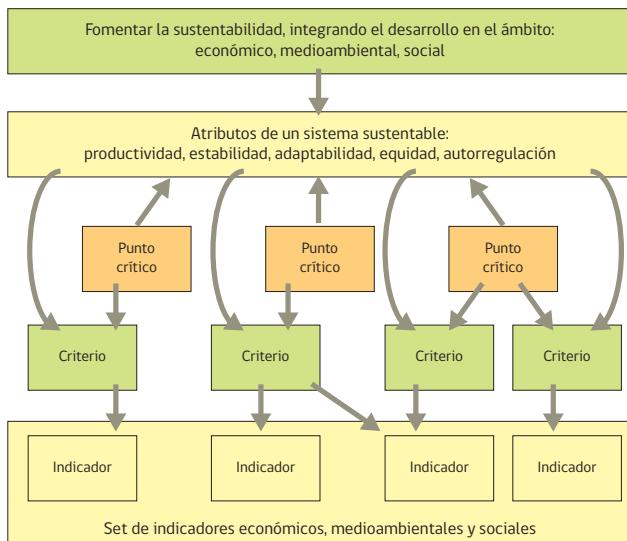
Para traducir este concepto general sobre la sustentabilidad, a la realidad local y acciones prácticas, se emplea un marco jerárquico (**Figura 8.2**). A través de este marco, los usuarios especifican su interpretación de la sustentabilidad, sus objetivos y ambiciones (que se denominan criterios) para desarrollar un predio más sustentable y los indicadores para monitorear los avances hacia la sustentabilidad.

En el marco jerárquico propuesto por MESMIS, los objetivos están vinculados con los puntos críticos que amenazan la sustentabilidad del agroecosistema. Esta vinculación promueve que la propuesta de evaluación de sustentabilidad incluye los temas que son de relevancia para los usuarios.

El marco jerárquico aplicado en el estudio de caso que se presenta en este capítulo consiste en cinco niveles (**Figura 8.2**):

- **Nivel 1** – Objetivo general: fomentar la sustentabilidad del predio, integrando su desarrollo en el ámbito económico, medioambiental y social.
- **Nivel 2** – Atributos: este segundo nivel explicita el concepto de sustentabilidad empleado a través de los cinco atributos mencionados en el inicio de esta sección (Productividad, Estabilidad, Adaptabilidad, Equidad y Autorregulación).
- **Nivel 3** – Puntos críticos: son los aspectos y procesos que fortalecen o desafían la sobrevivencia del predio en el tiempo.
- **Nivel 4** – Criterios: son descripciones más específicas de los atributos. Describen qué aspectos y/o procesos del agroecosistema deben estar funcionando bien – y cómo deben estar funcionando para que se generen los atributos de sustentabilidad. Por ejemplo: un criterio que fomenta el atributo “estabilidad” puede ser “la diversificación de especies de cultivos”. Al mismo tiempo, los criterios vinculan los puntos críticos con los atributos del sistema. En este sentido también se pueden considerar como el estado deseado de los puntos críticos para alcanzar la sustentabilidad. En el **Cuadro 8.2** se encuentran

Figura 8.2. Marco jerárquico para seleccionar un set coherente de indicadores de sustentabilidad.



ejemplos de criterios relacionados con puntos críticos identificados en la provincia de Petorca.

- **Nivel 5** – Indicadores: son los parámetros que permiten monitorear el avance hacia el cumplimiento de los criterios.

El conjunto de los puntos críticos, criterios, indicadores y sus valores de referencia, proveen una descripción detallada y específica de los aspectos que los usuarios estimen importante y sus ambiciones para alcanzar la sustentabilidad.

8.3. Pasos para el desarrollo de la metodología y resultados de la implementación

La metodología para la selección, priorización de prácticas y actividades más sustentables, y para monitorear los avances hacia la sustentabilidad, fue desarrollada en forma participativa con los actores principales: extensionistas y funcionarios de INDAP.

Con este grupo de participantes se realizó un ciclo de talleres que combinaban clases teóricas -para entregar el conocimiento necesario para construir una herramienta- y ejercicios prácticos participativos, en alguno de los cuales se incorporaron a los productores, con el objetivo de aplicar la teoría.

A continuación se describen los siete pasos de la metodología, implementación y principales resultados:

- Paso 1: Preparación y motivación de los participantes en la actividad.
- Paso 2: Diagnóstico del agroecosistema.
- Paso 3: Identificación y priorización de los puntos críticos del sistema.
- Paso 4: Elaboración de criterios.
- Paso 5: Identificación de intervenciones para fomentar la sustentabilidad.
- Paso 6: Determinación de indicadores de sustentabilidad y el monitoreo.
- Paso 7: Procesamiento, análisis y presentación de los resultados.

Información complementaria se encuentra en la publicación “Manual para la evaluación de la sostenibilidad de predios agrícolas :diagnóstico, análisis y monitoreo. Boletín INIA 413;Osman et al., 2019.

Paso 1: Preparación y motivación de los participantes en la actividad

Capacitaciones

El concepto de sustentabilidad es muy amplio y se interpreta en forma distinta dependiendo de los valores y normas que cada persona adquirió a través de sus orígenes culturales, experiencia y formación. Es importante aclarar el concepto y crear un lenguaje y entendimiento común. Al mismo tiempo la implementación de la metodología para analizar y evaluar la sustentabilidad requiere, entre otros elementos, conocimientos específicos sobre:

- el diagnóstico de un agroecosistema y su análisis.
- el diagnóstico rural rápido participativo y técnicas de comunicación con productores.
- definición de los indicadores y el monitoreo.

En el marco del GTT de extensionistas se pudo observar que es imprescindible intercambiar conocimiento y capacitar a los participantes del grupo en estos temas. El contenido y la intensidad de estas capacitaciones se deben adaptar al nivel de conocimiento y avance del grupo.

Definición y delimitación del sistema

Las metodologías e indicadores que se aplicaron para el monitoreo de la sustentabilidad dependieron de la escala espacial del sistema bajo estudio y la escala temporal de las evaluaciones.

Considerando la escala espacial uno puede analizar la sustentabilidad a distintos niveles: a nivel de un potrero, un predio, cuenca, provincia, país, continente, etcétera. y obtener distintos resultados. Por ejemplo, si los resultados de un análisis del consumo de agua de una cuenca demuestran un balance hídrico positivo, este resultado no excluirá la posibilidad que a nivel de predio o potrero, productores individuales estén extrayendo más agua de la disponible según su cuota individual. Asimismo, un balance hídrico podría ser negativo en un año de sequía, y al mismo tiempo positivo si uno considera un período de diez años. Lo anterior subraya la importancia de delimitar desde el inicio el espacio y el período del ejercicio. Además, se necesita definir el perfil de los productores que participan en las actividades.

Para la herramienta que se desarrolló con el GTT extensionistas, se contempló como sistema de monitoreo un predio agrícola de un usuario INDAP, y las evaluaciones y su análisis se realizaron anualmente.

Paso 2: Diagnóstico del agroecosistema

El objetivo del diagnóstico es detectar las condiciones y las causas que amenazan la sustentabilidad de los predios agrícolas. Este ejercicio está orientado a recopilar información asociada a:

- cómo el manejo del agroecosistema que realizan las familias de productores afecta la sustentabilidad de sus predios.
- qué factores externos afectan la sustentabilidad de los predios y cómo la afectan.

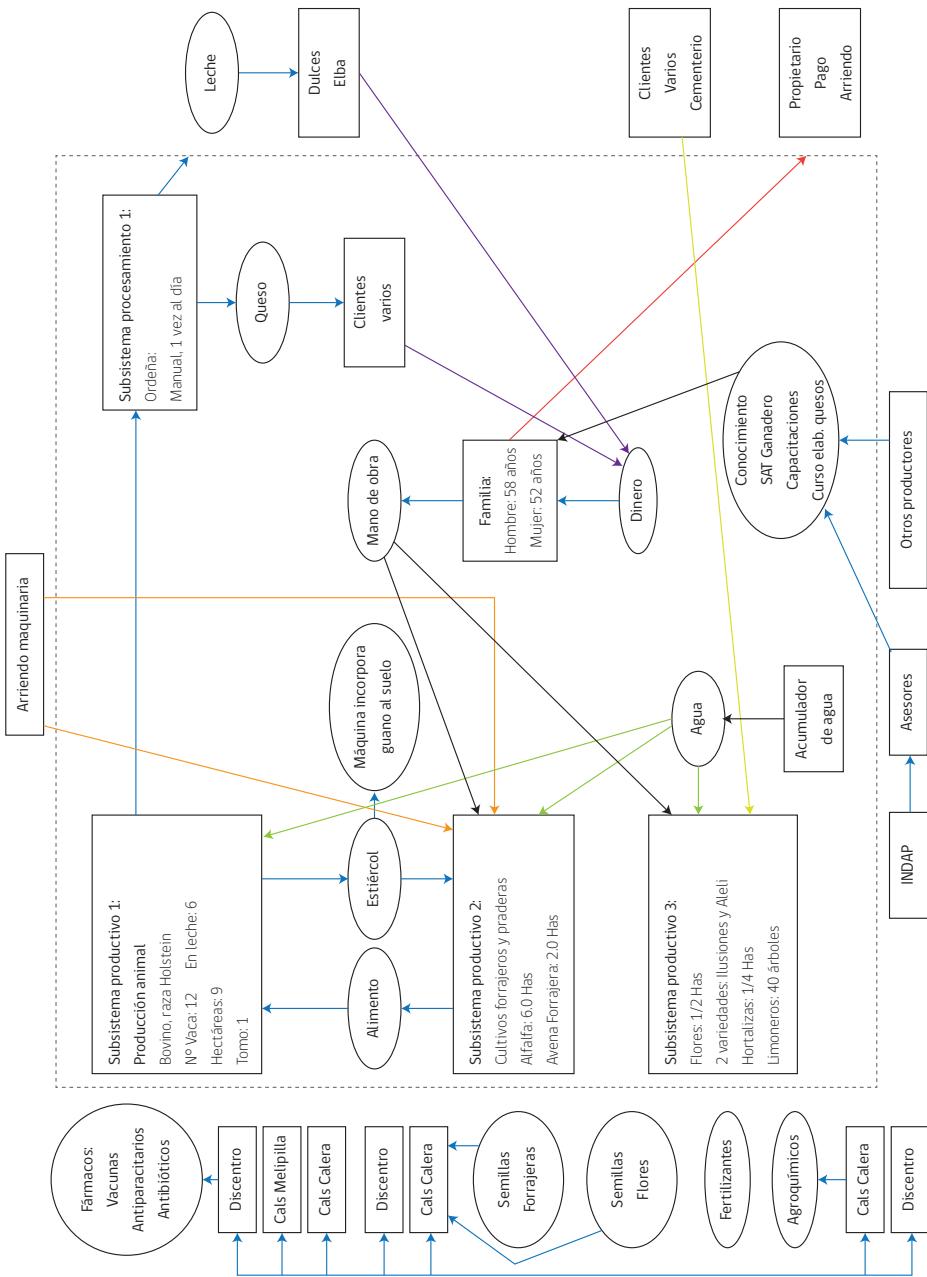
La tarea integra la caracterización de los distintos componentes (o subsistemas) y recursos del agroecosistema; sus interrelaciones y relaciones con su entorno; las prácticas de manejo; determinantes biofísicos y socioeconómicos; concentrándose en temas que pueden afectar la sustentabilidad en forma positiva o negativa. El diagnóstico generalmente empieza con la recopilación de la información estadística disponible en la literatura e internet. Además se consulta con funcionarios de organizaciones dedicadas a la recopilación de este tipo de información o las personas que conducen estudios en la zona.

En una segunda etapa se realiza entrevistas semiestructuradas con los productores y otros actores relevantes (asesores, compradores, oferentes de insumos y servicios, etcétera). Para estructurar estas entrevistas y aumentar la confiabilidad de la información recopilada, se recomienda utilizar técnicas gráficas, como el dibujo de mapas, diagramas de flujos, calendarios agrícolas, etcétera, diseñadas para el estudio de sistemas agrícolas.

Se sistematizó la información recopilada, elaborando una descripción escrita y gráfica del sistema. Para la sistematización escrita se recomendó utilizar un formato estándar. La descripción gráfica consiste en la elaboración de un diagrama que incluye todos los componentes del sistema, recursos, relaciones con el entorno y los distintos flujos entre los distintos ítems incluidos en el diagrama (Ver **Figura 8.3** como ejemplo).

El trabajo con el GTT de extensionistas se inició con una capacitación sobre el diagnóstico rural rápido y las distintas técnicas para implementar el diagnóstico. Después de la capacitación los extensionistas elaboraron un plan de trabajo para el diagnóstico, que incluyó los datos a recopilar, la fuente de información para cada dato y en el caso de las entrevistas, las técnicas participativas a implementar para obtener la información. Luego se aplicó el diagnóstico a un usuario por rubro. Es importante tomar en cuenta que INDAP y sus asesores cuentan con mucha

Figura 8.3. Diagrama de un sistema productivo, que corresponde a la información levantada por el grupo de extensionistas del GTT de Petorca del rubro ganadero.



información sobre sus usuarios y gran parte de esta información está disponible en las bases de datos internas. Por lo anterior, durante las entrevistas se evitó recopilar información que ya estaba disponible.

Paso 3: Identificación de los puntos críticos

La construcción de la lista de puntos críticos consiste de los siguientes tres subpasos. En el paso 8.3.1., se analizan las fortalezas y debilidades del sistema con relación a la sustentabilidad. Para este fin se definen las fortalezas como “características del sistema que contribuyen a la capacidad del sistema de sostenerse en el tiempo” y las debilidades como “características del sistema que desafían la sobrevivencia del sistema”. En el paso 2 se revisa la larga lista generada en el paso anterior, agrupando ítems relacionados y eliminando ítems redundantes. En el paso 3 se chequea si se logró analizar el sistema en forma balanceada, tomando en cuenta cada uno de los cinco atributos que confieren sustentabilidad al sistema y considerando las tres dimensiones (económica, medioambiental y social). Si la asociación de los puntos críticos con los atributos y dimensiones, demuestran atributos y/o dimensiones poco cubiertas por los puntos críticos, se reanalizará el diagnóstico con énfasis en las áreas deficitarias en el análisis inicial.

En el trabajo realizado con el GTT de extensionistas se realizó este ejercicio con los datos del diagnóstico y su conocimiento de los predios y de otros que ellos también asesoran.

Para validar los resultados obtenidos por los extensionistas, se organizaron tres talleres con productores de los cuatro rubros, complementado con un grupo de apicultores. Durante estos talleres se pidió a los productores realizar el ejercicio de identificar y priorizar sus puntos críticos.

Priorización

Para avanzar hacia la sustentabilidad se necesita fortalecer los cinco atributos (productividad, estabilidad, adaptabilidad, equidad y autorregulación), y por ende los criterios identificados, en forma integral. No obstante, sobre todo con sistemas con muchos problemas de sustentabilidad, es necesario desarrollar un plan de trabajo a largo plazo, programando las actividades según su prioridad. Por otro lado, también se tiene que tomar en cuenta, que las intervenciones abordan aspectos técnicos, económicos y sociales, por lo cual se necesita buscar alianzas entre distintos actores e instituciones.

Si se obtiene una lista larga de puntos críticos -y sus criterios correspondientes- se estima necesario priorizar. Se recomienda realizar un ranking de los puntos críticos de cada ámbito (económico, medioambiental y social) y seleccionar entre 3 y 5 ítems por ámbito. Para construir el ranking, se puede aplicar una de las distintas técnicas de priorización descritos en la literatura sobre metodologías participativas.

En el caso de la provincia de Petorca la priorización final se realizó en dos fases:

En la primera fase se realizaron tres talleres con 65 productores y extensionistas distintos, divididos en grupos de trabajo entre 5 y 7 personas más un facilitador. Los grupos consistían en productores del mismo rubro principal: flores, hortalizas, frutales, apicultura y ganadería. Además se formó un grupo con los extensionistas que atienden a los productores de los rubros antes mencionados. Durante los talleres se solicitó a los productores y a los extensionistas identificar y priorizar puntos críticos y realizar la priorización en dos etapas (ver **Figura 8.4** y **Figura 8.5**).

Figura 8.4. Realización de ejercicio de priorización con grupo de productores.



Figura 8.5. Floricultor explicando la priorización de su grupo durante la sesión plenaria del taller.



La primera selección se realizó a través de una votación, dejando hasta 3 puntos críticos por ámbito. En la segunda etapa el grupo evaluó el efecto de los puntos críticos seleccionados en cinco propiedades que se consideraban esenciales para un desarrollo sustentable.

Durante la segunda fase, el investigador INIA procesó los resultados de los talleres, uniformó el lenguaje y construyó un ranking consolidado (**Cuadro 8.1.**)

Cuadro 8.1. Puntos críticos de los sistemas productivos en la provincia de Petorca y su priorización según productores y extensionistas

| ÁMBITO | PUNTO CRÍTICO | ESPECIFICACIÓN | Importancia relativa (%) ¹ |
|-----------------|--|--|---------------------------------------|
| ECONÓMICO | Canales de comercialización | Dependencia de un número limitante de compradores | 32 |
| | Capacidad de invertir | Falta de capital para inversiones | 16 |
| | Alto uso y costo de insumos externos | Altos costos y oferta limitada de insumos agrícolas | 11 |
| | Dependencia de pocos rubros/productos | Sobreoferta de productos y servicios | 10 |
| | Disponibilidad de alimentación animal | Periodos del año con escasez de alimentación | 10 |
| | Ingreso económico | Bajo ingreso familiar | 6 |
| | Falta de mecanización | Pocas actividades productivas cuentan con mecanización | 5 |
| | Rendimiento productivo | Baja productividad | 4 |
| | Acceso a semillas/material genético adecuado | Falta acceso a material genético vegetal/animal de buena calidad. | 2 |
| | Disponibilidad de Agua | Periodos frecuentes des escasez hídrico asociados al cambio climático | 31 |
| MEDIO AMBIENTAL | Calidad del suelo | Suelos deteriorados (erosión, compactación, perdida de material orgánica) | 28 |
| | Consumo de Energía | Implementación limitada de energía renovable | 13 |
| | Contaminación del medio ambiente con plaguicidas | Contaminación por pesticidas | 10 |
| | Ocurrencia de plagas y enfermedades | Perdidas por plagas y enfermedades | 7 |
| | Biodiversidad | Monocultivos y poca diversidad varietal aumentan el riesgo de perdidas por plagas, enfermedades y eventos climáticos | 5 |
| | Perdida/reciclaje de nutrientes | Falta reciclaje de restos de cultivos. | 3 |

| | | |
|--|---|----|
| Demandas y disponibilidad mano de obra | Escasez y alto costo de mano de obra capacitada | 28 |
| Acceso a información/ conocimiento | Deficiente acceso a conocimiento de punta sobre el manejo de cultivos y animales | 9 |
| Educación | Bajo nivel de educación, sobre todo de los trabajadores | 8 |
| Grado de organización | Falta de asociatividad | 8 |
| Estado de salud de los integrantes de la familia | Alta carga laboral. | 7 |
| Manejo de información | Registro y análisis de datos para apoyar la toma de decisiones en el manejo del predio y los cultivos | 6 |
| Deficiente acceso a caminos | Estado de caminos dificulta el transporte | 6 |
| Cambio generacional | Jóvenes migran del campo por falta de mejores oportunidades e incentivos de desarrollo | 5 |
| Relaciones comerciales no confiables | Malas experiencias con compradores disminuyen la confianza en los socios comerciales | 2 |
| Acceso a tierra | Tamaño del predio y títulos de propiedad influyen sustentabilidad económica | 2 |
| Acceso al agua | Regularizar acceso requiere alto grado de conocimiento, e inversiones de tiempo y dinero | 2 |
| Permiso sanitario | Obtener permisos legales requiere alto grado de conocimiento, e inversiones de tiempo y dinero | 2 |

SOCIAL

¹ La importancia relativa es el porcentaje de los votos emitidos dentro del mismo ámbito (económico, medioambiental, social). Primero se calculó la importancia relativa para cada grupo que participó en los talleres (ver texto arriba) y luego para cada ítem se calculó el promedio de todos los grupos.

Cuadro 8.2. Criterios e indicadores relacionados con los puntos críticos identificados por los productores y los extensionistas de la provincia de Petorca.

| Punto crítico | Criterio | Indicador | Formula |
|---------------|--------------------------------------|---|--|
| ECONOMICO | Canales de Comercialización | Fomentar la autonomía comercial | Nº de clientes |
| | Ingreso económico | Poder vivir de los ingresos generados por el sistema productivo | Trabajo fuera del predio |
| | Capacidad de invertir | Generar suficiente ahorros | Utilidad |
| | Uso y costo de insumos externos | Reducir la dependencia de los insumos externos | Gastos en insumos |
| | Disponibilidad de Agua | Utilizar el agua en forma eficiente | Eficiencia del uso del agua |
| | Calidad del suelo | Fomentar la calidad física, química y biológica del suelo | Calidad del suelo |
| | Ocurriencia de plagas y enfermedades | Prevenir la ocurrencia de plagas y enfermedades a través de prácticas de manejo y diseño del predio | Aplicación de plaguicidas |
| | Consumo de Energía | Fomentar el uso de energía de fuentes renovables | Generacion de energía renovable |
| | | | (kWh electricidad renovable generada/kWh electricidad total utilizada)*100%. |

| | | | |
|--|--|---|--|
| Demanda y disponibilidad mano de obra | Se logra atraer suficiente mano de obra para desarrollar las tareas planificadas | Atracción de trabajadores | nº de veces/año con falta de trabajadores. |
| Acceso a información/ conocimiento | Participación en actividades de capacitación y difusión | Capacitación | Σ jornadas/año de asistencia a actividades de capacitación orientadas a la sustentabilidad de cada miembro adulto de la familia. |
| Cambio generacional | Las futuras generaciones tienen interés en continuar en el predio | Presencia de jóvenes en el predio | Escala grado: 0= ya o hoy día no hay jóvenes (entre 16 y 35 años) en el predio, 1= existen jóvenes pero no manifiestan interés en permanecer productivamente en el predio, 2= existen jóvenes en el predio con interés pero sin participación y 4= existen jóvenes con interés y participación en la estructura productiva del predio. |
| Estado de salud de los integrantes de la familia | El trabajo en el predio fomenta la salud física y mental de la familia | Enfermedades y/o accidentes relacionados con el trabajo | Σ días/año no trabajados por razones de salud/nº personas que trabajan en el predio. |

SOCIAL

Cuadro 8.3. Propuestas de intervenciones elaboradas por los extensionistas del GTT en la provincia de Petorca

| Punto crítico | criterio | propuestas de prácticas e intervenciones (rubro ¹) |
|---------------------------------|--|--|
| Canales de Comercialización | Generar una diversidad de productos que permite abastecer a mercados distintos | <ul style="list-style-type: none"> • Diversificar la producción con otras especies (FL, H). • Generación de red de comercialización (FR). • Agregar valor a la producción en la etapa de pos cosecha; mejorar prácticas de pos cosecha, calidad del producto, formatos de embalaje, trazabilidad, etc. (FR). • Diferenciarse a través de certificaciones (FR). • Adaptar la fecha de siembra a la demanda y precios del mercado (H). • Aplicar sistema peso animal (balanza) para transparentar información del peso del animal en el momento de su venta (G). |
| Ingreso económico | Poder vivir de los ingresos generados por el sistema productivo | <ul style="list-style-type: none"> • Mantener un mínimo número de unidades productivas (invernaderos) (se necesitan mínimo 6 invernaderos para una operación rentable) (FL). • Mejorar rendimiento (FR). • Establecer un precio base para la venta (H). • Mejoras genéticas del rebaño (G). • Establecimiento de praderas (G). |
| Capacidad de invertir | Generar suficiente ahorros | <ul style="list-style-type: none"> • Mecanizar labores (FL). • Diseño de una plantilla simple que permita visualizar los ingreso y egresos y capacitación en su uso (FL, FR, H, G). |
| Uso y costo de insumos externos | Reducir la dependencia de los insumos externos | <ul style="list-style-type: none"> • Reciclaje de materia vegetal (FL, FR). • Siembra de abonos verdes (H). |
| Disponibilidad de Agua | Utilizar el agua en forma eficiente | <ul style="list-style-type: none"> • Instalar y mejorar sistema de riego tecnificado (FL, FR, H, G). • Uso de tecnología para la realización de control de riego (FR, H). • Mejorar labores de mantención del sistema de riego tecnificado (FR). |

| MEDIOAMBIENTAL | |
|--|--|
| Calidad del suelo | Fomentar la calidad física, química y biológica del suelo <ul style="list-style-type: none"> • Reciclaje de materia vegetal (FL, FR). • Mejorar manejo del suelo con abonos orgánicos, biopreparados y cultivos de cobertura (FL, FR, H). • Uso de residuos (guano) animal en la fertilización (G). • Adopción de técnicas de labranza (H). |
| Ocurrencia de plagas y enfermedades | Prevenir la ocurrencia de plagas y enfermedades a través de prácticas de manejo y diseño del predio <ul style="list-style-type: none"> • Utilización de sistema de monitoreo de plagas y enfermedades (FL, FR). • Manejo de plagas con pesticidas orgánicos y enemigos naturales (FL, FR). • Uso de corredores biológicos y manejo de la biodiversidad (FL, FR, H). |
| Consumo de Energía | Fomentar el uso de energía de fuentes renovables <ul style="list-style-type: none"> • Instalación de paneles fotovoltaicos y otras fuentes de energías renovables a través de la postulación a proyectos (FL, FR, H, G). • Disminuir uso de energía (FR). |
| Demandas y disponibilidad mano de obra | Se logra atraer suficiente mano de obra para desarrollar las tareas planificadas <ul style="list-style-type: none"> • Planificación de cultivos según disponibilidad de mano de obra (FL). • Incorporación de tecnologías (mechanización) (FR, H, G). |
| Acceso a información/ conocimiento | Participación en actividades de capacitación y difusión <ul style="list-style-type: none"> • Establecer unidades demostrativas (FL). • Fomentar el acceso a nuevas tecnologías de información (FR). • Cursos de capacitación, talleres y charlas (FR, H, G). |
| Cambio generacional | Las futuras generaciones tienen interés en continuar el predio <ul style="list-style-type: none"> • Incentivos (subsidios para proyectos y créditos blandos) dirigidos a jóvenes (FL). • Mejores condiciones laborales en el predio (FR). • Fomentar participación de los jóvenes en actividades de capacitación y en el programa SAT de INDAP (FR). • Cultivos económicamente atractivos (H). |
| Estado de salud de los integrantes de la familia | El trabajo en el predio fomenta la salud física y mental de la familia <ul style="list-style-type: none"> • Realización de cheques de condición de salud (FR). • Capacitación en manejo de agroquímicos (FR). • Capacitación en legislación laboral (H). |

¹ Rubro asesorado por el grupo de extensionistas que priorizó la práctica o intervención: FL = Flores; FR = Frutales; H = Hortícolas; G = Ganaderos.

Paso 4: Elaboración de criterios

Los criterios describen el estado deseado de los puntos críticos identificados. Por ejemplo, uno de los puntos críticos señalados por productores y extensionistas de la provincia de Petorca es la dependencia de un número limitado de compradores. En este caso se definió como criterio “fomentar la autonomía comercial”. Los criterios vinculan, por un lado, el punto crítico, con los atributos de sustentabilidad.

Por otro lado, proveen las directrices hacia un futuro más sustentable, y por ende, guían la identificación de intervenciones e indicadores para el monitoreo de la sustentabilidad del sistema. Dado lo anterior, la redacción de los criterios es clave, ya que determinan el grado de ambición de los esfuerzos para alcanzar la sustentabilidad. El caso de la contaminación con pesticidas se puede utilizar para demostrar la existencia de distintos niveles de ambición. En este caso: si se define como criterio “fomentar un manejo orientado a la prevención de la ocurrencia de plagas y enfermedades”, se invitó a buscar soluciones que incluyan cambios en el manejo del cultivo y en el diseño del predio. Mientras tanto, cuando el criterio determinado fue “evitar el uso de productos con etiquetas rojas”, muy probablemente, solo se preocuparon de reemplazar las pesticidas más tóxicos por pesticidas menos tóxicos.

Los criterios se elaboran a través de intercambios de opiniones y acuerdos grupales. En el caso del GTT de extensionistas la lista final (**Cuadro 8.2**), fue el resultado de un trabajo interactivo entre los extensionistas, funcionarios INDAP e INIA. En una primera sesión los extensionistas, separados por rubro, elaboraron los criterios para los puntos críticos que identificaron para su propio rubro. El investigador INIA utilizó esta información para elaborar una lista transversal, es decir, una lista con puntos críticos y criterios válidos para todos los rubros. Esta lista fue mejorada durante una sesión con funcionarios INDAP y profesionales del INIA. Luego, se invitó a los extensionistas a opinar y mejorar la lista.

Paso 5: Identificación de intervenciones para fomentar la sustentabilidad

En este paso se identifican posibles prácticas de manejo y otras acciones que se deben implementar para alcanzar los criterios identificados en el paso anterior. A través de discusiones grupales, para cada punto crítico se construyó una lista de posibles prácticas y acciones. Luego se seleccionaron las prácticas y acciones más adecuadas utilizando un set de criterios que incluye su impacto en los

atributos de sustentabilidad y/o los criterios relacionados con los puntos críticos y su costo/facilidad de implementación. Además se identificó a los responsables de su implementación.

Los integrantes del GTT de extensionistas de la provincia de Petorca identificaron a través de acuerdos grupales los siguientes criterios para priorizar: (1) contribución a alcanzar el criterio relacionado con el punto crítico, (2) facilidad de su implementación y (3) probabilidad de su adopción por los usuarios. Los resultados se encuentran en el **Cuadro 8.3**.

Paso 6: Determinación de indicadores de sustentabilidad y el monitoreo

Los indicadores son parámetros que nos permiten medir si el predio se desarrolla en la dirección deseada, es decir el grado de cumplimiento con los criterios definidos en el Paso 4. Para identificar indicadores de sustentabilidad se puede consultar la literatura disponible y accesible a través de internet.

Para seleccionar los indicadores más adecuados para el monitoreo del avance hacia sustentabilidad, se debe considerar los siguientes criterios:

- Permitir medir cambios/diferencias en los puntos críticos identificados.**

Se debe considerar ¿qué propiedades se espera que van a manifestar cambios dentro del periodo del monitoreo? Si el monitoreo va acompañado con la implementación de prácticas se debe considerar las propiedades que cambiarán como resultado de la implementación de las prácticas.

Si se considera el suelo, por ejemplo, este tiene propiedades que no cambian durante nuestra vida, como la textura (arenosa, arcillosa) y otras que sí cambian rápidamente como la fertilidad química. En este caso la textura no se puede utilizar como indicador. Intervenciones para mejorar la sustentabilidad, orientado al suelo, comúnmente tienen el fin de aumentar el contenido de materia orgánica. Sin embargo, en este caso uno tiene que tomar en cuenta que cambios en el contenido de materia orgánica solamente se van a notar a más largo plazo, después de por lo menos tres años. Entonces, si el período de monitoreo durará menos tiempo, la materia orgánica tampoco será un buen indicador. En este caso se tendrá que utilizar propiedades que pueden mostrar cambios en menos tiempo, como por ejemplo la presencia de lombrices o el tamaño y la estabilidad de los agregados del suelo.

- **Fáciles de medir**

Será recomendable utilizar indicadores que se puede medir sin la necesidad de contar con implementos o maquinarias difíciles de conseguir o de alto costo y sin la necesidad de contratar personal especializado. Por ejemplo, existen distintos parámetros y metodología para evaluar la actividad biológica del suelo. Se pueden analizar los microorganismos presentes en el suelo, pero implica implicar análisis costosos en laboratorios especializados. En este sentido, evaluar la presencia de lombrices será más sencillo.

- **Confiables y reproducibles**

Se necesita priorizar metodologías que generan resultados replicables en el tiempo y no dependan de la persona que aplica la metodología. En general implica preferir metodologías cuantitativas sobre cualitativas. Sin embargo, también la implementación de metodologías cuantitativas depende de la interpretación de la persona que aplica la metodología. Por lo anterior será indispensable contar con protocolos para las mediciones y practicar su implementación.

- **Sencillo de interpretar**

Los parámetros que están directamente relacionados con los fenómenos conocidos y observables por un productor son más fáciles de entender. Por ejemplo, para productores será más fácil entender que el agua de riego tiene un alto contenido de sales, que el agua tiene una alta conductividad eléctrica.

Por lo anterior se recomienda evitar el uso de índices, como la huella de carbono, índice de felicidad, etcétera ya que para entender estos índices se necesita conocer la composición de los parámetros originales y la fórmula del cálculo del índice. Además, como el índice es una composición de varios variables, conocer solamente su valor final no es suficiente para saber cual(es) de las variables originales ameritan intervenciones.

- **Recursos y tiempo necesario para su implementación.**

Es importante considerar la disponibilidad de recursos para el monitoreo y adecuar el número de indicadores y/o su costo de implementación al presupuesto financiero y tiempo disponible.

Además de identificar los indicadores, es necesario construir, la fórmula o manera de establecer su valor, las metodología(s) para obtener los datos, el período y frecuencia de las mediciones y los responsables de obtener la información.

Una vez que se han determinado los indicadores, es preciso determinar el valor ideal o deseado y el valor absolutamente no deseado del indicador. Estos umbrales máximos y mínimos permitirán interpretar los valores medidos en la práctica. La manera de establecer estos valores depende de cada indicador y del conocimiento disponible.

En primer lugar, se recomienda consultar a los productores sobre sus metas y valores que consideran como no aceptables para cada indicador. En segundo lugar se puede establecer los valores sobre la base de promedios y valores máximos y mínimos que se encuentran en las estadísticas y publicaciones de la zona. Otra forma es realizar una línea base de un grupo de unos 30 productores y utilizar estos datos para establecer los umbrales.

En el caso del GTT de extensionistas, la determinación de indicadores, su forma de medición y sus valores se realizó en dos etapas. Primero, los cuatro grupos de trabajo de los extensionistas, elaboraron una lista de indicadores para su rubro, relacionada con los criterios que se habían determinados en el Paso 4. En la segunda etapa el investigador INIA utilizó esta información para elaborar una lista transversal, es decir, una lista de indicadores, fórmulas y metodologías de medición, válidos para todos los rubros. Esta lista fue mejorada durante una sesión con funcionarios INDAP y profesionales del INIA. Luego, se invitó los extensionistas a opinar y mejorar la lista. El resultado final se encuentra en el **Cuadro 8.2**.

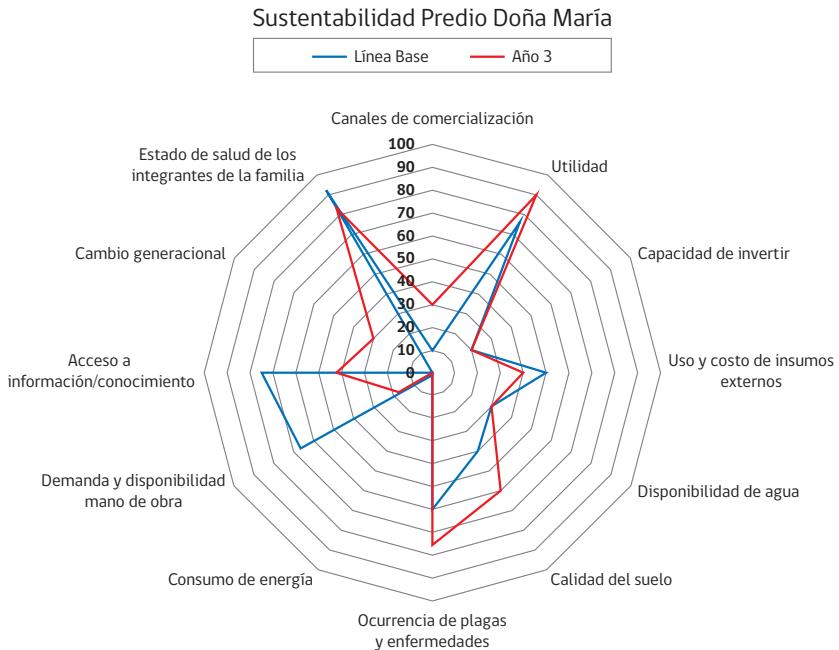
Paso 7: Procesamiento, análisis y presentación de los resultados

Para facilitar la presentación y reflexión sobre los resultados se propone utilizar un gráfico radial, ya que estos permiten captar los distintos puntos críticos en una sola imagen y visualizar cambios en el tiempo o entre predios (**Figura 8.6**). El set de indicadores para evaluar la sustentabilidad normalmente es muy diverso: consiste de indicadores cuantitativos y cualitativos, expresados en unidades y escalas distintas. La construcción de un gráfico radial requiere estandarizar la escala de los distintos indicadores. Una forma sencilla es transformar los valores de cada indicador a una escala de 0 a 100, en lo cual el 0 es el umbral mínimo y el 100 el umbral máximo o el valor deseado del indicador.

Los gráficos servirán como insumo para discusiones con los productores y como insumo para determinar cómo se puede fortalecer la sustentabilidad del predio. Cabe destacar que el avance hacia la sustentabilidad es un proceso dinámico, que requiere reflexiones periódicas sobre los avances y metas, que incluye revisar si

será necesario actualizar los puntos críticos, criterios e indicadores. Por ende, la metodología se debe aplicar como un proceso cíclico (**Figura 8.6**).

Figura 8.6. Ejemplo de un presentación gráfica de los resultados del monitoreo.



En el caso de Petorca se desarrolló una herramienta que consiste de un documento con tres formularios:

- Planilla 1 – Un formulario para registrar datos generales del predio.
- Planilla 2 – Un formulario para llenar los resultados del monitoreo de un set de 12 indicadores de sustentabilidad que permiten medir el comportamiento del predio.
- Planilla 3 - Un formulario para llenar los resultados del monitoreo de un set de indicadores que permiten medir el grado de adopción de prácticas propuestas por el extensionista.

Los indicadores de adopción de las prácticas de la planilla son específicos para cada rubro y extensionista. Los indicadores de la planilla 2 son idénticos para cada rubro pero sus valores de referencia, es decir los valores que se estiman como deseado y absolutamente no deseado, pueden variar entre rubros. No obstante, en la presentación final todos los valores medidos de los indicadores se convierten a un valor en una escala de 0 - 100 (0 = estado no deseado y 100 = estado deseado) en forma automática, a través de fórmulas incorporadas en la planilla. Al llenar el formulario la planilla también genera un gráfico de los resultados (ver **Figura 8.6**).

8.4. Reflexiones finales y conclusiones

En este capítulo se presentó una metodología para analizar los puntos críticos que afectan la sustentabilidad y para monitorear sus avances con indicadores de sustentabilidad. Luego de discutir los principales resultados y los temas que son importantes a tomar en cuenta al implementar esta metodología con extensionistas de INDAP y otras organizaciones e instituciones interesadas en su aplicación.

La metodología fue desarrollada con funcionarios y extensionistas del INDAP, adaptando la metodología MESMIS a sus necesidades. Abordar el tema de sustentabilidad en forma integral, considerando el ámbito económico, medioambiental y social, era nuevo para la mayoría de los participantes. Gran parte de los extensionistas que participaron en el GTT de extensionistas de Petorca, consideraban el concepto de sustentabilidad como difuso, teórico y difícil de traducir a acciones prácticas, apropiadas para la implementación con sus usuarios, los productores. Necesitaban una metodología para guiarlos en hacer operativa la sustentabilidad, es decir, que los oriente y apoye en la toma de decisiones al desarrollar e implementar las propuestas de trabajo con sus usuarios. Al mismo tiempo necesitaban un instrumento para monitorear los avances hacia la sustentabilidad de los predios de los productores. Los resultados presentados demuestran que, a través de la implementación de la metodología desarrollada, lograron identificar y priorizar los temas relevantes para la sustentabilidad y seleccionar los indicadores para monitorear sus avances.

Asimismo, lograron traducir un concepto considerado lejano a la realidad de los productores en propuestas y actividades tangibles. Finalmente, también se logró desarrollar una herramienta de apoyo para procesar y presentar los resultados asociado a un diagnóstico inicial y un monitoreo en el tiempo.

La traducción del concepto de sustentabilidad a intervenciones prácticas se logró gracias a la flexibilidad de la metodología. No se propone una lista única de intervenciones e indicadores. Los temas a abordar se ajustan según el resultado del diagnóstico de la situación local. Por lo anterior los indicadores para monitorear la sustentabilidad dependen de:

- Zona geográfica y su entorno (territorio)
- Sistema productivo
- Perfil del productor

La herramienta de apoyo desarrollada con los extensionistas tiene una estructura única, aplicable a todos los rubros, zonas geográficas, tipos de productores, etcétera, pero en el mismo tiempo incorpora la flexibilidad de ajustar el contenido -los puntos críticos, indicadores- a la necesidad local. A pesar de la especificidad de la metodología, gran parte de los puntos críticos identificados en el caso de la provincia de Petorca tuvieron relevancia para los cuatro rubros -flores, hortalizas, fruticultura y ganadería- lo cual permitió identificar un set único de indicadores relevantes para todos los rubros. Esto probablemente también se explica por el hecho que gran parte de los productores no pertenecen a un solo rubro.

Durante la evaluación final de la actividad, los extensionistas, que generalmente se dedican a un solo rubro, valoraron el trabajo en conjunto e intercambio con sus pares dedicados a los otros rubros, ya que con eso enriquecen sus conocimientos y prácticas que pudieran incorporar en los programas de trabajo con sus productores.

La implementación de la metodología en forma correcta y la generación de buenos resultados, es decir, cambios en el manejo del predio que realmente contribuyen a la sustentabilidad dependen de varios factores. Un aspecto clave es la participación de los productores con quienes se va a trabajar.

En primer lugar, su participación asegura que las propuestas de intervenciones abordan temas que son de su interés y aplicables en su realidad.

En segundo lugar, su conocimiento enriquecerá el diagnóstico ya que son las personas que mejor conocen su sistema productivo. Idealmente participarán en todos los pasos de la metodología, pero lograr este grado de participación no siempre es factible por su disponibilidad de tiempo e interés en participar en reuniones y talleres no directamente relacionados con sus actividades productivas. Si solamente se logra su participación durante una parte del proceso, será

importante involucrarlos en los pasos claves: la identificación de puntos críticos, determinación de criterios y la elaboración de propuestas de intervención.

La importancia de la participación de productores también fue subrayada por los integrantes del GTT de extensionistas la provincia de Petorca, durante la evaluación final de las capacitaciones.

Otro aspecto clave es la capacitación y las habilidades del equipo involucrado en la implementación de la metodología. En el caso de INDAP son los extensionistas y los funcionarios de INDAP encargados de la implementación.

Integrar el tema de sustentabilidad en su trabajo habitual no es evidente, ya que requiere apreciar los productores y predios en forma distinta.

En la actualidad se clasifican los productores según su rubro, es decir su actividad agrícola principal. Conocer a los productores por su actividad principal, significa que serán clasificados como horticultores, floricultores, ganaderos, etcétera. En Chile, los usuarios de INDAP generalmente son “multirubro”.

Con los extensionistas de Petorca visitamos “horticultores”, que también tenían ganado y “ganaderos” que también cultivaban flores, etcétera. Incluir el tema de sustentabilidad en su trabajo, implicará salir del enfoque rubrista y fomentar el desarrollo del predio, con todos sus componentes y recursos, en forma integral. Además, se necesita ampliar el enfoque, que actualmente privilegia la productividad a un enfoque que toma en cuenta aspectos ambientales y sociales. Adicionalmente, necesitan tener las habilidades de trabajar en forma participativa con los productores. Aunque la metodología que aplicamos en Petorca considera estos aspectos, se necesita adaptar el contenido y la intensidad de las capacitaciones al nivel de conocimiento previo de los participantes.

Finalmente es importante considerar quienes lideran la toma de decisiones en los pasos claves de la implementación de la metodología: la identificación de los puntos críticos, la definición de los criterios, la elaboración de propuestas de intervención y la determinación de los valores de referencia de los indicadores. La definición de los criterios y los valores de referencia de los indicadores determinan la orientación y nivel de ambición de los esfuerzos para alcanzar la sustentabilidad. El caso de la contaminación con pesticidas se puede utilizar para demostrar la existencia de distintos niveles de ambición. En este caso: si se define como criterio “fomentar un manejo orientado a la prevención de la ocurrencia de plagas y enfermedades”, se invita a buscar soluciones que incluyan cambios en el manejo del cultivo y el

diseño del predio. Mientras cuando el criterio será “evitar el uso de productos con etiquetas rojas”, muy probablemente solamente se preocuparán de reemplazar los pesticidas más tóxicos por insecticidas menos tóxicos. En la opinión de los autores, en el caso de la implementación de la metodología por extensionistas de INDAP, los funcionarios de INDAP tendrán que tomar protagonismo en la toma de decisiones en estrecha colaboración con los productores.

Cabe destacar que el avance hacia la sustentabilidad es un proceso dinámico, que requiere reflexiones periódicas sobre los avances y metas, que incluye revisar si fuese necesario, a objeto de actualizar los puntos críticos, criterios e indicadores. Por ende, la metodología se debe aplicar como un proceso cíclico (**Figura 8.1**).

Literatura consultada

- Astier, M., Masera, O., Galván-Miyoshi, Y. 2008. Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. Mundiprensa. Fundación Instituto de Agricultura Ecológica y Sustentable, Valencia, España.
- Astier, M., Speelman, E.N., López-Ridaura, S., Masera, O.R., and Gonzalez-Esquivel, C.E. 2011. Sustainability indicators, alternative strategies and trade-offs in peasant agroecosystems: analysing 15 case studies from Latin America. International Journal of Agricultural Sustainability 9:409–422.
- Chambers, R. 2007. From PRA to PLA and Pluralism: Practice and Theory. IDS Working Paper 286. Institute of Development Studies at the University of Sussex, Reino Unido.
- Conway, G.R. 1985. Agroecosystem Analysis. Agricultural Administration 20:31–55.
- Conway, G.R. 1987. The properties of agroecosystems. Agricultural Administration 24:95–117.
- FAO 2013. SAFA (Sustainability Assessment of Food and Agriculture systems). Indicators. Natural Resources Management and environment Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia.
- Geilfus, F. (2002) 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. IICA; Costa Rica.
- Lammerts, van Bueren, E.M., Blom, E.M. 1997. Hierarchical framework for the formulation of sustainable forest management standards. Principles, Criteria, Indicators. Tropenbos Foundation, Países Bajos.

- López Ridaura, S., Masera, O., and Astier, M. 2002. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. the MESMIS framework. Ecological Indicators 2:135–148.
- Masera, O., Astier, M., López Ridaura, S. 2000. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropriada (GIRA), Patzcuaro, México.
- Musumba, M., Grabowski, P., Palm, C., and Snapp, S. 2017. Sustainable Intensification Assessment Methods Manual. USAID, Feed the future innovation lab, Michigan State University, University of Florida, Kansas State University, EE.UU.
- Osman, A., Muena, V., Ahumada , A. 2019. Manual para la evaluación de la sustentabilidad de predios agrícolas. Diagnóstico, Análisis y Monitoreo. Boletín INIA 413. Instituto de Investigaciones Agropecuarias . Centro Regional de Investigación La cruz, La Cruz, Chile.
- Reijntjes, C., Haverkort, B., Waters-Bayer, A. 1992. Farming for the future. An introduction to Low external input agriculture. MacMillan Press, Reino Unido/ILEIA, Países Bajos [la edición en castellano: Reijntjes C, Haverkort B, Waters-Bayer A (1995) Cultivando para el futuro. Introducción a la agricultura sustentable de bajos insumos externos. Nordan Comunidad, Uruguay].
- Ripoll-Bosch, R., Díez-Unquera, B., Ruiz, R., Villalba, D., Molina, E., Joy, M., Olaizola, A., and Bernués, A. 2012. An integrated sustainability assessment of mediterranean sheep farms with different degrees of intensification. Agricultural Systems 105:45–56.
- Sabaini, C., y Ávila, G. 2015. Manual de la determinación de la condición biológica de suelo in situ e in visu en los sistemas agrícolas. Programa de Restauración Biológica del Suelo, Centro Regional de Innovación Hortofrutícola de Valparaíso (CERES), Quillota, Chile.
- Smyth, A.J., y Dumanski, J. 1995. A framework for evaluating sustainable land managernent. Canadian Journal of Soil Science 75:401–406.
- Van Cauwenbergh, N., Biala, K., Bielders, C., Brouckaert, V., Franchois, L., Garcia Cidad, V., Hermy, M., Mathijs, E., Muys, B., Reijnders, J., Sauvenier, X., Valckx, J., Vanclooster, M., Van der Veken, B., Wauters, E., and Peeters, A. 2007. SAFE—A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 120:229–242.
- WCED. 1987. Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido.

