



ARICA Y PARINACOTA
GOBIERNO REGIONAL

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Caracterización y Manejo de los Residuos Generados de los Procesos Productivos Agrícolas en el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota



Editores:

Fabiola Sepúlveda S.

Francisco Tapia F.

ISSN 0717 - 4829

BOLETÍN INIA - Nº 311



ARICA Y PARINACOTA
GOBIERNO REGIONAL

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Caracterización y Manejo de los Residuos Generados de los Procesos Productivos Agrícolas en el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota



Editores:
Fabiola Sepúlveda S.
Francisco Tapia F.

INIA Ururi, 2012

ISSN 0717 - 4829

BOLETÍN INIA - Nº 311

Autores de capítulos:

Fabiola Sepúlveda S., Ing. Agrónomo.
Fernando Choquehuanca H., Ing. Químico Ambiental.
Francisco Tapia F., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Sergio González M., Ing. Agrónomo, M.Sc.

Director Responsable:

Manuel Pinto C., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Director Regional INIA La Platina.

Boletín INIA N° 311

Cita bibliográfica correcta:

Sepúlveda F. y Tapia, F. 2012. Caracterización y manejo de los residuos generados de los procesos productivos agrícolas en el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota. Proyecto manejo de los residuos orgánicos e inorgánicos derivados de la actividad agropecuaria en el Valle de Azapa. Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 311. 71p.

© 2012. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Centro de Investigación Especializado en Agricultura del Desierto y Altiplano, CIE. INIA Ururi. Magallanes 1865, Arica. Teléfono (56-58) 313676.

ISSN 0717 – 4829.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y los autores.

Corrección y edición de textos: Fabiola Sepúlveda S. y Marjorie Allende C.
Corrección técnica: Comité técnico del proyecto.

Diseño y Diagramación: Jorge Berríos V., Diseñador Gráfico.
Impresión: Salesianos Impresores S.A.

Cantidad de ejemplares: 300

Santiago, Chile, 2012.

Personal Técnico y Profesional Participante en el Proyecto

Fabiola Sepúlveda Santibáñez.

Ing. Agrónomo, INIA-Ururi.

Francisco Tapia Flores.

Ing. Agrónomo, M.Sc., INIA-La Platina.

MaríaCecilia Céspedes León.

Ing. Agrónomo, M. Sc., INIA-Quilamapu.

Valeska González Fernández-Niño.

Ing. Agrónomo, INIA-Ururi.

Sergio Ardiles Rivera.

Ing. Ejecución Agrícola, INIA-Ururi.

Juan Roa Sáez.

Ayudante de Investigación, INIA-La Platina.

Bolívar Vega Orellana.

Técnico Agrícola, INIA La Platina.

Fernando Choquehuanca Humire.

Ing. Químico Ambiental, Tesista de la Universidad de Tarapacá.



ÍNDICE

Capítulo 1.

Residuos: aspectos conceptuales	9
1.1. Conceptos generales	9
1.2. Clasificación de los residuos sólidos	11
1.3. Ciclo de vida de un residuo	12
1.4. Marco regulatorio del manejo de los residuos sólidos	13
1.4.1 Jerarquía de las normas ambientales	14
Bibliografía	20

Capítulo 2.

Caracterización y dimensión de los residuos generados por la actividad agropecuaria

en el Valle de Azapa	23
2.1. Estimación de los residuos sólidos biodegradables generados anualmente en el Valle de Azapa	24
2.1.1 Caracterización de los residuos sólidos biodegradables	28
2.2. Estimación de los residuos sólidos no biodegradables generados anualmente en el Valle de Azapa	30
Bibliografía	34

Capítulo 3.

Manejo de residuos sólidos biodegradables

Manejo de residuos sólidos biodegradables	35
3.1. Residuos sólidos biodegradables	35
3.1.1. Compostaje (compost)	35
3.1.2. Incorporación al suelo de residuos de cosecha, poda o rastrojos	42
3.1.3. Elaboración de compost con rastrojos de cultivos en el Valle de Azapa	43
3.1.4. Efecto de la agregación de material orgánico al suelo, en la dinámica del nitrógeno y propiedades físicas y químicas del suelo	46
3.1.5. Producción de plantines utilizando diferentes sustratos: compost y turba	55
3.1.6. Efecto de la aplicación de compost sobre el suelo y el comportamiento de un cultivo de tomate en el Valle de Azapa	57
3.2. Residuos sólidos no biodegradables	66
3.2.1. Centro de acopio	66
4. Bibliografía	71

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, en Chile se ha alcanzado un nivel de disposición de residuos domiciliarios en rellenos sanitarios con garantías sanitarias y ambientales cercano al 60% (Conama, 2010). Esta cifra involucra un importante avance en la materia. Sin embargo, es fundamental que como país se deje de ver los residuos sólo como basura, como un tema de vertederos y rellenos sanitarios. Los residuos son más que eso, son materia prima; fuente de energía; y lo más importante: los residuos son elementos que se pueden reducir, reutilizar y reciclar.

El Valle de Azapa, ubicado en la Región de Arica y Parinacota, desarrolla una actividad relacionada principalmente con la agricultura. Azapa cuenta con alrededor de 1.200 productores agrícolas, donde uno de los principales rubros corresponde a la olivicultura. Sin embargo, dado excepcionales condiciones climáticas, el Valle de Azapa se constituye en la principal área productiva de hortalizas para el abastecimiento de la zona central del país, resultando una actividad relevante para la economía regional.

Durante las últimas tres décadas, el Valle de Azapa multiplicó por 20 la productividad de cada una de sus 3.000 hectáreas y se convirtió en el abastecedor invernal de hortalizas del centro de nuestro país, siendo su mercado potencial cerca de dos millones de personas y las especies hortícolas más representativas, tomate, poroto verde, maíz dulce y pimiento, en una época donde prácticamente la única zona productora del país es el Valle de Azapa.

No obstante, este crecimiento ha traído consigo un aumento en la generación de residuos agrícolas, generando inadecuadas prácticas de eliminación. Esto último, es de gran importancia debido a que el mal manejo de los residuos generados de los procesos productivos, como es la disposición a orilla de camino o en el lecho del Río San José, o bien quemados en el propio predio, perjudica el entorno turístico del valle y la salud humana.

Frente a este escenario, INIA Ururi a través del proyecto “Manejo de residuos orgánicos e inorgánicos derivados de la actividad agropecuaria en el Valle de Azapa”, financiado por el Gobierno Regional de Arica y Parinacota, levantó la información necesaria para dilucidar la importancia del tema.

El presente boletín entrega los resultados del proyecto y es una contribución para los agricultores, técnicos y profesionales del agro, sobre el manejo de los residuos generados de los procesos productivos agrícolas en la Región de Arica y Parinacota.

Los Editores.

RESIDUOS: ASPECTOS CONCEPTUALES

Fabiola Sepúlveda S.

Ing. Agrónomo

Fernando Choquehuanca H.

Ing. Químico Ambiental

1.1. CONCEPTOS GENERALES

A través del tiempo la generación de residuos en las diversas actividades productivas se han ido transformando en un problema latente para el país y los mismos generadores.

En Chile, el reglamento N° 189 de 18 de agosto de 2005 que Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básica en los rellenos sanitarios señala en su Título I, numeral 4, que se entenderá por “Residuo sólido, basura, desecho o desperdicio: sustancias, elementos u objetos cuyo generador elimina, se propone eliminar o está obligado a eliminar” y a Residuos sólidos asimilables como “ residuos sólidos, basuras, desechos o desperdicios generados en procesos industriales u otras actividades, que no son considerados residuos peligrosos de acuerdo a la reglamentación sanitaria vigente y que, además, por su cantidad composición y características físicas, químicas y bacteriológicas pueden ser dispuestos en un Relleno Sanitario sin interferir con su normal operación”.

De acuerdo al primer reporte sobre manejo de residuos sólidos en Chile, basado en el estudio "Levantamiento, Análisis, Generación y Publicación de Información Nacional sobre Residuos Sólidos de Chile", Conama 2010, se define:

Residuo: sustancia u objeto que: (I) se elimina o valoriza, (II) está destinado a ser eliminado o valorizado, o (III) debe, por las disposiciones de la legislación nacional, ser eliminado o valorizado.

Residuo Inerte: residuo o mezcla de residuo que no genera, ni puede generar ninguna reacción física, química o biológica.

Residuo Peligroso: residuo o mezcla de residuos que presenta un riesgo para la salud humana y/o al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar alguna característica de peligrosidad.

Residuo no Peligroso: residuo o mezcla de residuos que no presentan ninguna característica de peligrosidad y genera o puede generar alguna reacción física, química y/o biológica.

Residuo Sólidos Domiciliarios: residuos generados en los hogares.

Residuos Sólidos Municipales: residuos generados en los hogares y sus asimilables, como los residuos generados en vías públicas, el comercio, oficinas, edificios e instituciones tales como escuelas entre otros. Estos residuos son considerados residuos no peligrosos.

Eliminación: cualquier acción asociada al tratamiento final cuyo objetivo es tratar o disponer un residuo sin aprovechar sus materiales y/o valor energético.

Valorización: conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar un producto, uno o varios de los materiales que lo componen y/o el poder calorífico de los mismos.

En este contexto, un residuo sólido es un derivado de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza, cuyo poseedor lo destina al abandono o del cual el productor tenga necesidad de desprenderse por no ser objeto directo de sus procesos productivos. Dado que en esta categoría es posible incluir a los rastrojos o restos de cultivos que constituyen la mayor problemática en el Valle de Azapa, en este Boletín nos referiremos al manejo de los residuos sólidos.

1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), como una forma de estandarizar los requerimientos, análisis y comparación de información respecto a residuos sólidos a nivel internacional, recomienda una clasificación detallada de las fuentes de generación de residuos la cual se encuentra en sintonía con las clasificaciones utilizadas en estudios relacionados con residuos sólidos en Chile. De acuerdo a la estructura principal de información disponible en nuestro país y a la segregación del origen de los residuos sólidos, estos se clasifican en residuos sólidos industriales y residuos sólidos municipales. Para los residuos sólidos industriales el origen de los sectores considerados corresponde a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme - CIIU- de todas las actividades económicas, y se clasifican en: sector agrícola y silvícola, sector minero y cantera, sector manufacturero, sector producción de energía, sector distribución y purificación de agua, y sector construcción. En el caso de los residuos sólidos municipales el origen corresponde a los provenientes de los hogares o residuos sólidos domiciliarios; los asimilables provenientes del comercio, oficinas, y entidades como escuelas y edificios públicos; y finalmente servicios municipales como podas, limpieza de calles y otras.

Otra de las clasificaciones de residuos más utilizadas a nivel mundial, es la relacionada con el grado de peligrosidad y potencial impacto al medio ambiente que éstos presentan, considerando dos clases o categorías de residuos (Manual de Manejo de Residuos Sólidos Industriales, 1996).

a) Residuo sólidos peligrosos:

Definido como residuo o mezcla de residuos que presentan riesgos para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto. Para la identificación de los residuos peligrosos, es posible referirse a listados en que éstos vienen descritos, o a las características de peligrosidad que presentan los compuestos de los residuos (toxicidad aguda, toxicidad crónica, toxicidad extrínseca, inflamabilidad, reactividad y corrosividad)

b) Residuos sólidos no peligrosos o inertes:

Por otro lado, un residuo es considerado no peligroso o inerte cuando es un compuesto estable, no sufre descomposición ni degradación de sus partes, y no requiere mayores cuidados en su disposición aparte del aspecto estético y de la estabilidad estructural del material dispuesto.

1.3. CICLO DE VIDA DE UN RESIDUO

Para poder analizar y controlar los residuos surgió un concepto llamado “ciclo de vida del residuo”, que incorpora todas las etapas por las que pasa un determinado residuo. Este ciclo depende del tipo de residuo que se trate; sin embargo, en términos generales, las actividades son similares, existiendo una manipulación por el generador, una recolección y transporte, y un destinatario final.

A continuación se analiza cada etapa del ciclo de vida de los residuos:

1. Manejo en el Origen (por parte del Generador)

Se refiere a la manipulación, separación, almacenamiento y procesamiento en el origen, donde la manipulación y la separación de los residuos involucran las actividades asociadas con el manejo que se les da a los residuos hasta que éstos, en general, son colocados en recipientes o contenedores. El almacenamiento en el origen se relaciona con los lugares donde los residuos se disponen para su retiro posterior.

2. Recolección y Transporte (recogida)

Es la actividad de retirar los residuos y transportarlos a una estación de transferencia, una planta de eliminación u otro tratamiento, centro de comercialización de residuos, o lugar de disposición final.

3. Transferencia (acopio)

Corresponde a una estación o patio de acopio de residuos, que permite optimizar el uso del transporte posterior, ya sea para su envío a eliminación u otro tratamiento, a centros de comercialización, o a su disposición final.

4. Comercialización (valorización)

Se entenderá por esta actividad a aquellas alternativas que están dirigidas a valorizar los residuos.

Las alternativas que se consideran dentro de esta actividad, se definen como reciclaje y recuperación:

- **Reciclaje:**
Es el proceso de reintroducir en el ciclo de producción a los residuos o determinados componentes contenidos en éste, para la obtención de productos en procesos productivos distintos al que los generó.
- **Valorización:**
Es el proceso aplicado a un material de modo de hacer de él un producto utilizable, que puede ser para uso directo (reutilización), para la obtención de materiales de valor, o para aprovechar su energía.

5. Tratamiento (en el caso de que se trate de un residuo peligroso)

Es todo mecanismo o proceso ingenieril empleado para reducir la cantidad, el volumen o las características de peligrosidad de los residuos. Se incluye la eliminación, que está asociada principalmente a la incineración.

6. Disposición Final

Corresponde a toda instalación que, producto de un estudio de ingeniería, es utilizada para el confinamiento de los residuos por un tiempo indefinido, que puede ser en el suelo o en excavaciones, sin crear incomodidades o peligros para la seguridad o la salud pública y provocando el menor impacto posible hacia el medio ambiente.

1.4. MARCO REGULATORIO DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

En Chile la legislación referida a residuos y/o desechos no se encuentra restringida a un sólo cuerpo legal ni a leyes de índole ambiental. Si bien existen decretos referidos a la temática de los desechos, una parte

importante de la legislación se encuentra constituida por artículos disseminados en leyes o reglamentos referidos a diferentes ámbitos, como el comercio, transporte o la seguridad.

1.4.1 Jerarquía de las Normas Ambientales

La normativa chilena referente a residuos sólidos, atendiendo a su jerarquía se puede clasificar en:

- **Constitución y Tratados Internacionales**
- **Constitución Política Nacional (1981)**

La Constitución Política, vigente desde el 11 de marzo de 1981, garantiza el derecho a la vida y a la integridad física y psíquica de la persona. Como resultado de lo anterior, el artículo 19, número 8, “asegura a todas las personas el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación”, derecho cuya vigencia efectiva se garantiza de dos maneras, a saber:

- a) Mandando al Estado velar porque no sea afectado; y,
- b) Haciendo procedente un Recurso de Protección cuando sea afectado por un acto arbitrario e ilegal imputable a una autoridad o persona determinada.

Tratados Internacionales

a) Convenio de Basilea (1989)

El Convenio de Basilea es un tratado ambiental global que regula estrictamente el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y estipula obligaciones a las partes para asegurar el manejo ambientalmente racional de los mismos, particularmente su disposición.

Este Convenio fue adoptado el 22 de marzo de 1989 y entró en vigor el 5 de mayo de 1992. El Convenio es la respuesta de la comunidad internacional a los problemas causados por la producción mundial anual de 400 millones de toneladas de desechos considerados peligrosos para el ser humano o para el medio ambiente, habida cuenta de

sus características tóxicas, venenosas, explosivas, reactivas, corrosivas, inflamables o infecciosas.

Cabe destacar que el Convenio establece un principio y pilar fundamental en la gestión de los residuos y es que la forma más efectiva de proteger la salud humana y el medio ambiente de potenciales daños producidos por los desechos peligrosos, se basa en la máxima reducción de su generación en cantidad y/o en peligrosidad.

Así, los principios básicos del Convenio de Basilea son:

- El tránsito transfronterizo de desechos peligrosos debe ser reducido al mínimo, de forma consistente con su manejo ambientalmente apropiado;
- Los desechos peligrosos deben ser tratados y dispuestos lo más cerca posible de la fuente de su generación;
- Los desechos peligrosos deben ser reducidos y minimizados en su fuente.

b) Convenio de Estocolmo (1972)

El Convenio de Estocolmo es el instrumento internacional que regula el tratamiento de las sustancias tóxicas, auspiciado por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Este Convenio ha sido el resultado de largos años de negociación para obtener compromisos legales de los países que obligue de manera urgente la eliminación de todos los COPs (Compuestos Orgánicos Persistentes).

El Convenio determina a una docena de compuestos sobre los cuales es preciso emprender acciones de forma prioritaria, es la conocida como "docena sucia", que incluye productos químicos producidos intencionalmente, tales como: plaguicidas, PCBs; dioxinas y furanos.

El Convenio de Estocolmo ha sido firmado por 151 países y en la actualidad 34 ya lo han ratificado. Es necesaria la ratificación de 50 países para que el Convenio entre en vigor 90 días después y se comiencen aplicar políticas de eliminación de estos compuestos. Chile firmó el Convenio el 23 de mayo del 2001, y lo ratificó en julio de 2004 por parte del Congreso de la República. Así nuestro país se incluye entre los que se comprometen a implementar dichos acuerdos.

Normas Legales

Las principales normas legales que regulan el manejo de los residuos se describen a continuación.

- **Ley N° 18.695 sobre Orgánica Constitucional de Municipalidades (2001)**

La Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades (modificada por las Leyes 18.702, 19.388 y 19.452) entrega a los municipios la responsabilidad por la recolección y disposición de los residuos. En tanto, el principal ente fiscalizador es el Servicio de Salud del Ministerio de Salud.

En su artículo 3, establece que corresponde a las municipalidades como función privativa, entre otras, la de aseo y ornato de la misma comuna, así como también de la planificación y regulación urbana de la misma.

- **Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente (1994)**

La creación de la ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, permitió entregar una serie de instrumentos legales que llenan un vacío importante en el ordenamiento jurídico chileno, al estructurar por primera vez un sistema normativo ambiental para el país.

Lo importante de esta ley, es su capacidad de organizar el tema, ya que como su nombre lo indica, dicta normas generales que permiten ordenar la normativa ambiental existente y futura.

La ley N° 19.300 creó además, el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), un importante instrumento de gestión al cual deben someterse los proyectos de inversión y/o actividades productivas, con el fin de determinar los efectos reales que tendrán sobre el medio ambiente. De este modo, se intenta evitar mas daño ecológico y establecer los responsables cuando se produzca un perjuicio al ambiente.

- **Decreto con Fuerza de Ley N° 725 sobre Código Sanitario (1968)**

El Código Sanitario rige todo lo relacionado con el fomento, protección y recuperación de la salud de los habitantes de la República, salvo aquellos sometidos a otras leyes.

Corresponde al Servicio Nacional de Salud, sin perjuicio de las facultades del Ministerio de Salud Pública, atender todas las materias relacionadas con la salud pública y el bienestar higiénico del país, de conformidad con lo dispuesto en el inciso final del N° 14 del Artículo N° 10 de la Constitución Política del Estado, este Código y su Ley Orgánica.

Decretos Supremos (DS)

- **DS N° 95 sobre Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (1995)**

El presente Reglamento establece las disposiciones por las cuales se regirá el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y la participación de la comunidad, de conformidad con los preceptos de la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

Este instrumento permite introducir la dimensión ambiental en el diseño y la ejecución de proyectos y actividades que se realicen en Chile. A través de él, se intenta asegurar que las iniciativas, tanto del sector público como privado, sean ambientalmente sustentables y que cumplan con todos los requisitos ambientales que le sean aplicables.

- **DS N° 148 Reglamento Sanitario Sobre Manejos de Residuos Peligrosos (2005)**

El Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos, define cuales son los residuos peligrosos y establece responsabilidades para los generadores, transportistas y destinatarios de éstos.

El reglamento establece los procedimientos analíticos para la identificación y clasificación de los residuos peligrosos y los estándares para su almacenamiento, transporte, reutilización y reciclaje, incineración y disposición final.

- **DS N° 594 Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajos (2000)**

El presente reglamento establece las condiciones sanitarias y ambientales básicas que deberá cumplir todo lugar de trabajo, sin perjuicio de la reglamentación específica que se haya dictado o se dicte, para aquellas faenas que requieren condiciones especiales.

Establece, además, los límites permisibles de exposición ambiental a agentes químicos y agentes físicos, y aquellos límites de tolerancia biológica para trabajadores expuestos a riesgo ocupacional.

- **DS N° 298 Reglamento de Transporte de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos (1994). Modificado por el DS N° 198 (2000)**

El presente reglamento establece las condiciones, normas y procedimientos aplicables al transporte de carga, por calles y caminos, de sustancias o productos que por sus características, sean peligrosas o representen riesgos para la salud de las personas, para la seguridad pública o el medio ambiente.

Las disposiciones del presente decreto son ajustables, sin perjuicio de la reglamentación especial que sea aplicable a cada producto peligroso en particular.

Norma Chilena (NCh)

- **NCh 382 Of. 1989 Sustancias Peligrosas – Terminología y Clasificación General**

Esta norma establece una terminología y una clasificación general de las sustancias peligrosas; incluye, además, un listado general de las sustancias que se consideran peligrosas, con información respecto al riesgo que presenta, según su clase.

Esta misma norma define en su capítulo 5 las sustancias peligrosas a las cuales es aplicable, clasificándolas y atendiendo al tipo de riesgo más significativo que presentan, fundamentalmente en su transporte, manipulación y almacenamiento.

- **NCh 2.190 Of. 1993 Transporte de Sustancias Peligrosas – Distintivos para Identificación de Riesgos**

Esta norma establece los requisitos de los distintivos de seguridad con que se deben identificar los riesgos que presentan las sustancias peligrosas.

Los distintivos de seguridad (marcas, etiquetas, rótulos) que se establecen en esta norma están destinados para ser colocados en la superficie externa de los envases, embalajes o bultos que contienen estas sustancias y en las unidades de transporte en que se trasladan estas sustancias.

- **NCh 2.880 Of. 2004 Compost – Clasificación y requisitos**

Esta norma busca promover la gestión adecuada y valorización de los subproductos y residuos sólidos orgánicos generados en el territorio nacional, evitar la diseminación de plagas, enfermedades y malezas que puedan venir incorporadas en el producto, junto con promover y fomentar el desarrollo de la industria nacional del compost.

El objetivo de esta norma es establecer la clasificación y requisitos de calidad del compost producido a partir de residuos orgánicos y de otros materiales orgánicos generados en la actividad humana, tales como agroindustria, agricultura, forestería, ganadería, pescas, así como mercados y ferias libres en que se comercializan productos vegetales; de la mantención de parques y jardines; de residuos orgánicos domiciliarios; y de lodos provenientes de plantas de tratamiento tanto de aguas servidas, como de residuos industriales líquidos.

- **NCh 2.979 Of. 2006 Sustancias Peligrosas – Segregación y Embalaje/ Envases en el Transporte Terrestre**

Esta norma establece disposiciones relativas a la segregación, al embalaje/envase y tanques de las sustancias peligrosas en las operaciones de transporte terrestre.

Esta norma no establece disposiciones relativas a la construcción y el ensayo de embalajes/envases, recipientes intermedios para graneles (RIG), grandes embalajes/envases tanques portátiles y contenedores de gas de elementos múltiples (CGEM). Mientras no se cuente con una norma chilena referida a este tema, se debe tener en consideración el capítulo 6 de las Recomendaciones Relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas, de las Naciones Unidas vigente.

BIBLIOGRAFÍA

- Alliende C., F. 1996. Manual de Manejo de Residuos Sólidos Industriales. CONAMA. 314p.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA. 2010. Primer reporte sobre manejo de residuos sólidos en Chile. Basado en el Estudio "Levantamiento, Análisis, Generación y Publicación de Información Nacional sobre Residuos Sólidos de Chile". 60 p.
- Ministerio del Interior. 2001. Ley N° 18.695, "Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades". Chile.
- Ministerio de Salud. 1967. Decreto con Fuerza de Ley N° 725, "Código Sanitario". Chile.
- Ministerio de la Secretaría General de la Presidencia de la Republica. 1994. Ley N° 19.300, "Bases Generales del Medio Ambiente". Chile.
- Ministerio de la Secretaría General de la Presidencia de la República. 1995. Decreto Supremo N° 95, "Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental". Chile.
- Ministerio de Salud. 2003. Decreto Supremo N° 148 "Reglamento Sanitario sobre el Manejo de Residuos Peligrosos". Chile.
- Ministerio del Trabajo. 1968. Ley N° 16.744, "Normas sobre Accidentes de Trabajo y enfermedades Profesionales". Chile.
- Ministerio de Salud. 1999. D.S. N° 594, "Reglamento de las condiciones sanitarias y ambientales". Chile.
- Ministerio del Transporte y Telecomunicaciones. 2000. Decreto Supremo N° 298, "Reglamento de Transporte de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos". Chile.

INN. 1993. Nch. N° 2190, "Establece las etiquetas de información de riesgo de las sustancias peligrosas". Chile.

INN. 1993. NCh. N° 2245, "Sustancias peligrosas. Hojas de datos de seguridad".

INN. 1989. NCh. N° 382, "Sustancias Peligrosas – Terminología y Clasificación General".

INN. 2006. NCh N° 2.979, "Sustancias Peligrosas – Segregación y Embalaje/Envases en el Transporte Terrestre".



CARACTERIZACIÓN Y DIMENSIÓN DE LOS RESIDUOS GENERADOS POR LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA EN EL VALLE DE AZAPA

Fabiola Sepúlveda S.

Ing. Agrónomo.

Francisco Tapia F.

Ing. Agrónomo, M.Sc.

El Valle de Azapa, en la Región de Arica y Parinacota, presenta un complejo escenario debido a la inadecuada disposición de los residuos orgánicos e inorgánicos generados por la producción agrícola (**Foto 1**). Los residuos orgánicos que no son incorporados directamente al suelo, normalmente se acumulan en bordes de caminos o se depositan en el lecho del río San José. Estas inadecuadas prácticas de eliminación se convierten en un foco de plagas y vectores que perju-



Foto 1. Panorama de los residuos biodegradables y no biodegradables eliminados en el Valle de Azapa. 2009.

dican la sanidad vegetal y la salud humana, debido a que el proceso de descomposición se realiza anaeróbicamente. Tampoco se aprovecha el potencial orgánico de los residuos, un beneficio que se puede obtener a través de la apropiada descomposición y estabilización de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y bajo condiciones controladas de aireación, temperatura y humedad. Adicionalmente, se observa una gran cantidad de envases vacíos de plaguicidas, así como restos de plásticos y cintas de riego, que contaminan el campo y el paisaje del valle.

De esta forma se realizó una estimación y caracterización de los residuos sólidos generados de los procesos productivos agrícolas en el Valle de Azapa, clasificándolos en:

Residuos sólidos biodegradables (orgánicos): aquellos residuos que tienen la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica.

Residuos sólidos no biodegradables (inorgánicos): son residuos que por sus características químicas sufren una descomposición natural muy lenta.

2.1. ESTIMACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS BIODEGRADABLES GENERADOS ANUALMENTE EN EL VALLE DE AZAPA

A través del proyecto “Manejo de los residuos orgánicos e inorgánicos, derivados de la actividad agropecuaria en el Valle de Azapa”, que realizó INIA, entre los años 2009 y 2012, con financiamiento del Gobierno Regional de Arica y Parinacota, se caracterizó y dimensionó la cantidad de residuos generados en el Valle por la actividad agropecuaria. Así, aquellos de carácter orgánico o biodegradable se estimaron en a lo menos 230.682 toneladas (ton) de materia verde al año, lo cual equivale a aproximadamente 70.000 ton de materia seca, considerando para este cálculo sólo los derivados de los cultivos de lechuga, maíz, pimiento, poroto verde, tomate y zapallo italiano (**Cuadro 1**).

Cuadro 1. Generación anual de residuos por cultivo en el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota.

Cultivo	Superficie (ha)	Residuos anuales (ton/año)
Lechuga	30	580
Maíz	200	960
Pimiento	140	3.780
Poroto verde	150	1.118
Tomate	800	57.600
Zapallo italiano	150	5.616
Total	1.470	69.655

Por otra parte, en la **Figura 1**, se representa la producción de residuos del Valle de Azapa, en términos porcentuales, respecto al aporte de cada uno de los principales cultivos.

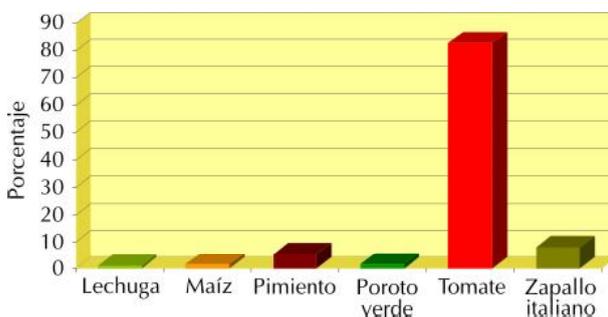


Figura 1. Generación anual de residuos por cultivo (%) en el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota.

Del Cuadro 1 y Figura 1, se puede observar que el tomate hace el mayor aporte de residuos, con 57.600 t/año, representando el 82,7% de los rastrojos generados anualmente en el Valle de Azapa, le siguen, zapallo italiano y pimiento, que en conjunto aportan del orden de 9.396 t/año de rastrojos con un 13% de los residuos vegetales.

El destino o posterior manejo que hacen los agricultores del Valle de Azapa de los residuos de cosecha generados va desde la quema, incorporación al suelo, alimentación animal, compostaje, disposición a

orillas de caminos o del río San José, entre otras. En la **Figura 2**, se grafica la situación actual del Valle de Azapa, a este respecto.

Como se observa en la Figura 2, en general, el manejo más utilizado por los productores del Valle de Azapa para sus residuos de cosecha, corresponde a la quema, pues, un 45% de los agricultores del Valle lo practica (**Foto 2**), seguido de un 28 % que los destinan a alimentación de sus animales y un 11% que los incorpora al suelo. Sin embargo, se aprecia, que estas modalidades para el tratamiento de los restos de cosecha varían según cultivo, tal como se observa en las **Figuras 3, 4 y 5**.

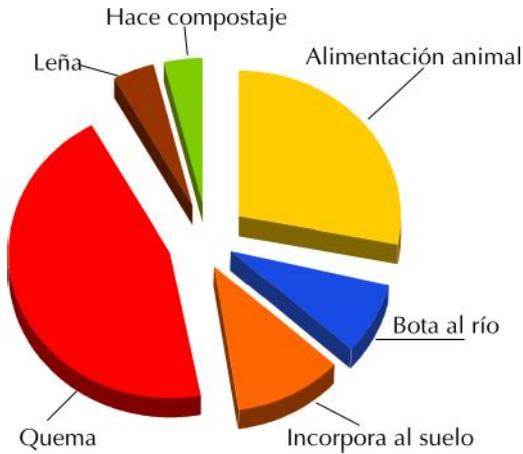


Figura 2. Destino de los residuos de cosecha (%) producidos en el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota.



Foto 2. Quema de residuos biodegradables y no biodegradables en el Valle de Azapa. 2009.

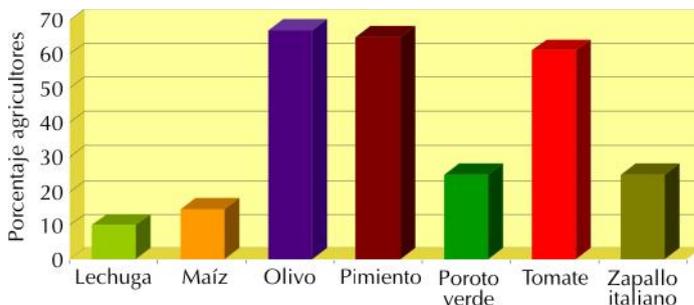


Figura 3. Residuos de cosecha destinados a la quema (%) por cultivo. Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota.

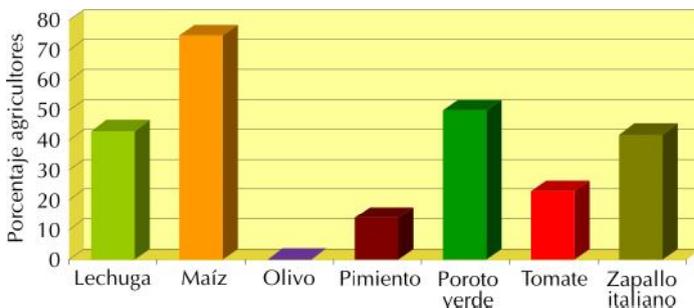


Figura 4. Residuos de cosecha destinados a la alimentación animal (%) por cultivo. Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota.

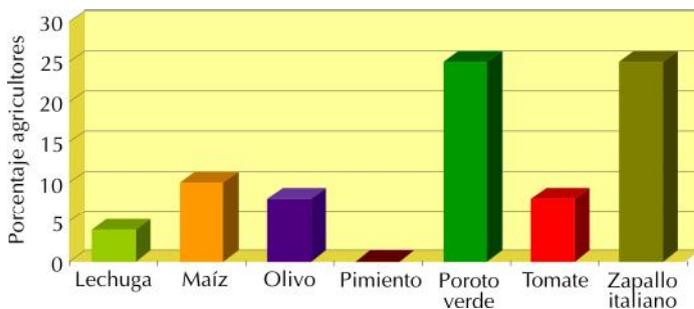


Figura 5. Residuos de cosecha destinados a la incorporación al suelo (%) por cultivo. Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota.

Como se puede observar de la Figura 3, la quema es la principal modalidad para eliminar los rastrojos. Así, el 67% de los restos de poda del olivo, el 65% de los rastrojos de pimentón y el 61% de los restos del cultivo del tomate son destinados a la quema. Esto se debe a que los restos de los cultivos mencionados no son utilizados para la alimentación animal y poseen un alto contenido de lignina, por lo cual su degradación en el suelo es mucho más lenta comparada a los otros cultivos, tal como se observa en la Figura 5.

2.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS BIODEGRADABLES

Con el objetivo de caracterizar los residuos orgánicos derivados de las actividades agrícolas en el Valle de Azapa, se analizó muestras de los residuos vegetales generados por los principales cultivos, así como del guano de ave empleado por la mayor parte de los productores como mejorador de sus suelos, para determinar su contenido de humedad, pH, conductividad eléctrica (CE), contenido de materia orgánica (MO), nitrógeno total, fósforo, potasio, carbono total y la relación C/N (**Cuadro 2**).

En la **Figura 6**, se observa la diferencia en la relación C/N, entre los distintos desechos de cultivos señalados en el Cuadro 2.

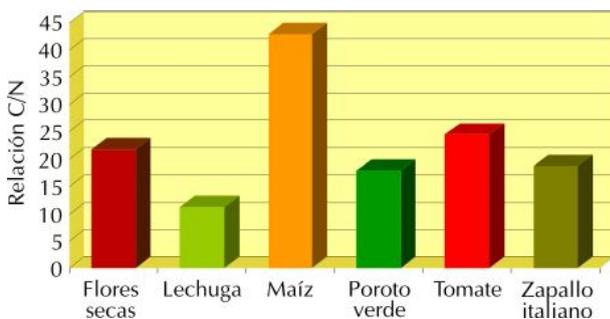


Figura 6. Relación C/N de diferentes desechos de cultivos presentes en el Valle de Azapa.

Cuadro 2. Caracterización de los residuos orgánicos presentes en el Valle de Azapa.

Cultivo	C %	N %	C/N	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	MO (%)	Humedad (%)	pH	CE (dS/m)
Flores secas	49,7	2,3	21,8	0,7	3,1	89,5	5,0	6,2	19,7
Flores verdes	40,8	1,4	28,9	1,0	3,5	73,5	13,0	5,4	15,6
Guano de Ave	26,3	2,2	11,9	-	-	47,4	6,3	6,7	0,7
Lechuga	34,0	3,0	11,3	-	-	61,2	95,9	5,5	8,0
Maíz	50,6	1,2	42,9	0,6	2,8	91,0	6,0	6,2	14,0
Poroto verde	50,1	2,8	17,9	-	-	90,2	83,5	5,9	1,5
Tomate	43,9	1,8	24,5	1,3	2,8	79,0	45,0	5,8	2,1
Zapallo italiano	36,9	2,0	18,7	1,3	4,2	66,5	67,0	8,5	11,0
Poda de Olivo	50,5	1,7	30,0	-	-	-	-	-	-

Nota: Los análisis se efectuaron en los laboratorios AGROLAB y AGRIMED de la Universidad de Chile, ambos localizados en la ciudad de Santiago.

Como se observa en la Figura 6, los residuos de flores, lechuga, poroto verde, tomate y zapallo italiano alcanzan una relación C/N inferior a 25/1. Esto se debe a que estas especies se cosechan en verde, antes de su madurez. Por este motivo, estos residuos vegetales presentan alto contenido de humedad y generalmente son fácilmente biodegradables, y con los mayores contenidos de N total. Por otro lado, el rastrojo de maíz, compuesto por un material bastante seco, generalmente suele presentar un bajo contenido de humedad (10-15%), un alto contenido de Carbono (mayor a 40%), un contenido de materia orgánica que fluctúa entre un 77 y un 85%, un bajo contenido de N (0,3-1,1%), y una alta relación C/N (mayor a 50) por consiguiente una lenta degradación, con un contenido de lignina en la paja de maíz, material difícilmente biodegradable, que varía entre el 10 y el 25%.

Al relacionar el destino de los residuos de cosecha (Figura 2), con la caracterización de los residuos orgánicos generados en el Valle (Cuadro 3), se puede derivar, como se mencionaba anteriormente, que el 53% de los residuos generados son dispuestos a orilla de caminos o en el lecho del río San José, o bien quemados en el propio predio. Esto representa un uso inadecuado de este recurso y una pérdida importante de materia orgánica y nutrientes. Considerando que por este concepto se elimina del orden de 37.100 ton de rastrojos al año en el Valle de Azapa, lo cual corresponde aproximadamente a 731 ton de N al año, Es decir, un equivalente a 497 kg de N/ha (1.080 kg de urea/ha. A un precio de \$24.400 los 50 kg de urea (cotización al 06 de junio del 2012), el valor económico de la pérdida puede estimarse, en alrededor de \$536.800/ha, (23,72 UF/ha al 6 de junio del 2012) solamente por este concepto.

2.2. ESTIMACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS NO BIODEGRADABLES GENERADOS ANUALMENTE EN EL VALLE DE AZAPA

Se estimó la cantidad de residuos inorgánicos que se producen en el Valle de Azapa en un año de producción, cuyos resultados se presentan en el **Cuadro 3**.

De los residuos sólidos no biodegradables derivados de la actividad agrícola encontrados en el Valle de Azapa, se identificó dos tipos de residuos: residuos peligrosos y no peligrosos. De acuerdo al Decreto

Cuadro 3. Estimación de la cantidad de residuos inorgánicos generados por actividades agrícolas en el Valle de Azapa (ton/año).

Residuos inorgánicos presentes en el Valle de Azapa	Cantidad de residuos sólidos no biodegradables producidos en el Valle de Azapa (ton/año)
Sacos de polipropileno	1,83
Envases de productos químicos (residuos peligrosos)	9,16
Plásticos de invernaderos	5,35
Cintas de riego	121,8

Supremo N° 148, comentado anteriormente, un residuo peligroso es aquel que presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto y como consecuencia presentar algunas de las características señaladas: toxicidad aguda, toxicidad crónica, toxicidad extrínseca, Inflamabilidad, reactividad y corrosividad.

Por consiguiente, de los residuos presentes en el Valle de Azapa, sólo se considera a los envases de plaguicidas como residuos peligrosos (**Foto 3**), a menos que sean sometidos al procedimiento de triple lavado y manejados conforme a un programa de eliminación.



Foto 3. Residuos biodegradables y no biodegradables eliminados a orilla de camino. Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota. 2009.

La práctica del triple lavado a los envases de plaguicidas, aparte de ser un manejo necesario, para que éstos no sean considerados como residuos peligrosos y puedan ser reciclados, es un manejo que favorece al agricultor, pues retira todo el plaguicida que se encuentra dentro del envase, haciendo más eficiente su uso. Sin embrago, sólo un 44% de los productores del Valle de Azapa, declara realizar triple lavado a los envases vacíos de plaguicidas.

Como se señaló en el Cuadro 4, la cantidad de envases de plaguicidas utilizados anualmente en el Valle de Azapa equivale a 9,16 ton, de los cuales la producción de tomates es la que aporta la mayor cantidad de ellos (**Figuras 7 y 8**).

La Figura 7 evidencia que el cultivo que aporta la mayor cantidad de envases de plaguicidas por temporada y por unidad de superficie, es el tomate con 3,83 Kg/ha, pues es la especie de mayor importancia económica para el Valle y donde se hace la mayor cantidad de aplicaciones de plaguicidas para el control de plagas y enfermedades. Le sigue el poroto verde junto con pimienta, en un rango de 1,83 a 1,66 kg/ha y en último término se pueden mencionar los cultivos de maíz, lechuga y zapallo italiano, que presentan

una menor incidencia de plagas y enfermedades, y por tanto los productores reducen la carga de agroquímicos empleadas, generando sólo, alrededor de 1 kg/ha de envases de plaguicidas, durante una temporada.

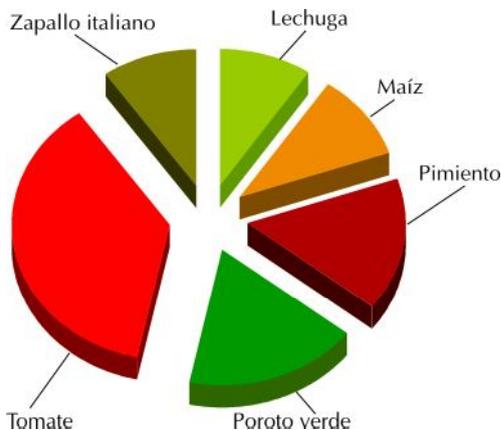


Figura 7. Envases de productos químicos utilizados en una hectárea de cultivo en una temporada (Kg), en el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota.

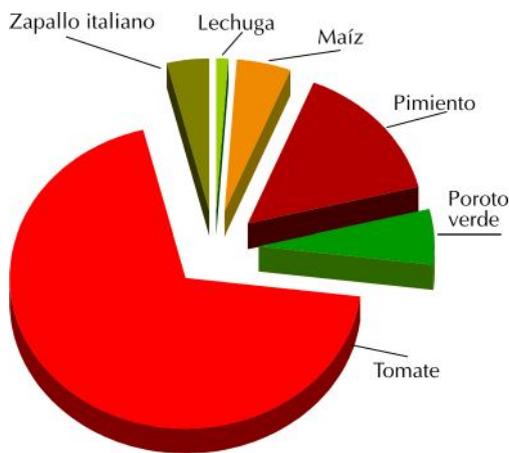


Figura 8. Aporte relativo de envases vacíos de plaguicidas (%), por cultivo y temporada en el Valle de Azapa.

Al integrar la cantidad de envases de plaguicidas empleados por unidad de superficie, con el área total cultivada en el Valle de Azapa en las especies señaladas (Figura 8), se aprecia que el tomate genera el 69% de los envases vacíos dispuestos en este Valle.

El destino de los envases de plaguicidas es variado (Figura 9), siendo la quema la práctica más utilizada por los agricultores del Valle de Azapa (59%). Este es seguido por el almacenamiento de los envases en los mismos predios, 16%, un 8% dispone en basureros, otro 8% los elimina disponiéndolos a orilla de río San José, un 6% los entierra en el suelo y un 3% los reutiliza como base para los soportes del cultivo del tomate o para acumular agua, entre otros.

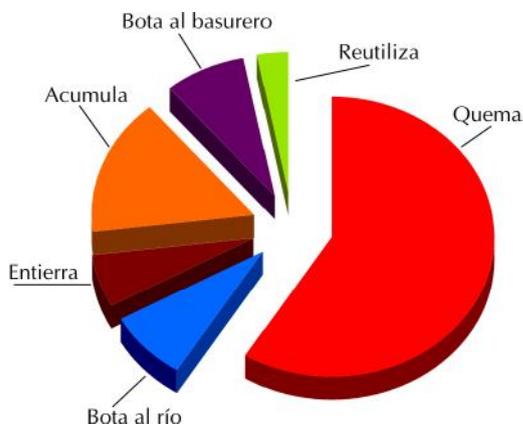


Figura 9. Destino de los envases de producto químico desocupados (%), en el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota.

Es importante destacar que la quema en los campos produce contaminación atmosférica. Las sustancias generadas en estas quemadas son principalmente monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles COVs, en menor medida material particulado PM10 y óxidos de nitrógeno NOx, los que si bien en volumen no se pueden comparar con lo que producen las industrias o el transporte, no dejan de ser importantes (O’Ryan y Riffo, 2007). Además cualquiera de las formas antes mencionadas de disponer los residuos, resultan inadecuadas y contravienen las normas vigentes, lo cual implica potenciales sanciones y multas.

BIBLIOGRAFÍA

- O’Ryan, J y Riffo, M. 2007. " El compostaje y su utilización en agricultura: para pequeños(as) productores(as) de la agricultura familiar campesina". Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Manual FIA de apoyo a la formación de recursos humanos para la innovación agraria. 36 p.
- Tapia, F. 2009. "Estudio Básico: Investigación Silvoagropecuaria de Innovación en la I Región". Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 197. 144 p.

MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS BIODEGRADABLES Y NO BIODEGRADABLES

Fabiola Sepúlveda S.

Ing. Agrónomo.

Francisco Tapia F.

Ing. Agrónomo, M.Sc.

Sergio González M.

Ing. Agrónomo, M.Sc.

La agricultura es una actividad que genera grandes cantidades de residuos al año, tales como restos de cosecha o de cultivo, que de acuerdo a la descripción dada en el capítulo 2, corresponden a los residuos sólidos biodegradables, y plásticos de invernaderos, cintas de riego y sacos de polipropileno, entre otros, que corresponden a los residuos sólidos no biodegradables. En ambos casos, es posible realizar distintos tipos de manejo, detallándose algunos de ellos en este capítulo.

3.1. RESIDUOS SÓLIDOS BIODEGRADABLES

3.1.1. Compostaje (compost)

El compostaje es un método de tratamiento de los residuos sólidos urbanos, agrícolas e industriales, basado en un proceso de oxidación biológica en condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación, realizada por microorganismos. El producto de este proceso se denomina compost, fertilizante natural y considerado un acondicionador de suelo, al otorgar propiedades benéficas de tipo físicas, químicas y biológicas.

Beneficios del compost:

- Previene o reduce la contaminación ambiental al reciclar residuos orgánicos.
- Aumenta los volúmenes de materia orgánica a aplicar al suelo.
- Tiene un efecto sobre el control de patógenos, larvas de insectos, parásitos intestinales y semillas de malezas.
- Mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Elaboración:

Los residuos orgánicos tanto de origen animal, como vegetal, pueden ser utilizados en la fabricación de compost. Estos residuos aportan una gran cantidad de nutrientes, cuyas proporciones puede variar, principalmente en función del tipo de residuo, estado de utilización (madurez) y origen. La elección de los residuos a utilizar para el compost dependerá de factores tanto nutricionales (relación C:N) como operacionales (disponibilidad estacional y/o cercanía de obtención del residuo). En el Cuadro 3, se muestra la caracterización de diferentes residuos de cultivos recolectados en el Valle de Azapa.

El proceso de compostaje comienza con la recolección de residuos vegetales y animales. El siguiente paso consiste en chipear o triturar el material vegetal (**Foto 4**) para luego ser apilado y mezclado con pequeñas cantidades de compost maduro, que contienen hongos y bacterias, las que al encontrar un medio favorable, comienzan el proceso de descomposición. Existen varias formas para elaborar compost. La más común es formar pilas de unos dos metros de ancho y un largo variable, dependiendo de la cantidad de material disponible. Se colocan capas sucesivas de residuos vegetales tanto secos como frescos, estiércol y compost en una proporción de 30:5:1, en relación a volumen. Las capas se humedecen a medida que se van agregando, hasta completar una altura de poco más de un metro y medio (**Figura 10**). En caso de contar con una máquina revoladora de compost, es posible apilar todas las materias primas que se utilizará sin necesidad de ubicarlas en capas y luego mezclarlas con la máquina durante repetidas veces. La función que cumple el compost maduro es inocular los microorganismos que se encargarán de descomponer los residuos vegetales y animales.



Foto 4. Chipecado de material a compostar (maíz), en el Valle de Azapa.

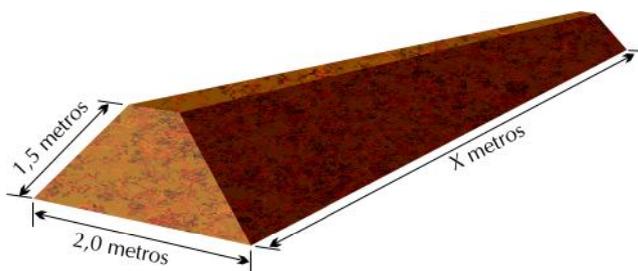


Figura 10. Dimensiones recomendadas para la formación de una pila de compostaje.

Algunos de los factores a considerar para escoger el lugar donde se va a establecer la pila de compostaje son:

- a. Cercanía a una fuente de agua, para que ésta pueda ser regada.
- b. Espacio suficiente para poder voltear la pila.
- c. Evitar zonas ventosas pues aumentará la evaporación del agua de la pila, haciendo que ésta se seque con mayor rapidez.

Las variables más importantes a considerar y que afectan a los sistemas de compostaje son los siguientes:

- **Relativos a la naturaleza del sustrato.** Son aquellos que han de ser medidos y adecuados al inicio del proceso (Madejón y col., 2001): tamaño de partícula, relación C/N y conductividad eléctrica
- **Relativos al proceso de compostaje.** Son aquellos necesarios, para cada fase del proceso, Jeris y col., 1973): temperatura, humedad, pH y aireación. Los valores o intervalos óptimos están influenciados por las condiciones ambientales, y el tipo de residuo a tratar.

Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato

- **Tamaño de partícula.** El tamaño inicial de las partículas que componen la masa a compostar es una importante variable para la optimización del proceso, pues cuanto mayor sea la superficie expuesta al ataque microbiano por unidad de masa, más rápida y completa será la reacción. Por lo tanto, el desmenuzamiento del material facilita el ataque de los microorganismos y aumenta la velocidad del proceso. Las dimensiones óptimas están entre 2 y 5 cm aproximadamente.

Partículas muy pequeñas generan compactación del material y disminución del aire dentro de la pila. Por otra parte, partículas muy grandes pueden generar exceso de aireación y secamiento de la pila.

- **Relación Carbono/Nitrógeno (C/N).** Para un correcto compostaje en que se aproveche y retenga la mayor parte de Carbono y del Nitrógeno presente en el material vegetal o animal, la relación C/N del material de partida debe ser adecuada. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de C por cada una de N. Por esta razón se considera que la relación C/N teóricamente óptima para el compostaje de un producto debe fluctuar entre 25/1 a 35/1 (Jhorar y col, 1991).

La relación C/N ideal para un compost totalmente maduro es cercana a 10/1, similar al humus. En la práctica, se suele considerar que un compost es suficientemente estable o maduro cuando se alcanza una relación C/N < 20, aunque ésta es una condición necesaria pero no suficiente.

- **Conductividad Eléctrica (CE).** La conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso.

La CE tiende generalmente a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce un aumento de la concentración de nutrientes.

La dosis de compost que puede añadirse a un suelo debe ser proporcional a la CE del compost. Un exceso de salinidad en la solución del suelo dificulta la absorción de agua por las raíces de las plantas.

Parámetros de seguimiento relativos al proceso de compostaje

- **Temperatura.** Es uno de los factores que influye de forma más crítica sobre la velocidad de descomposición de la materia orgánica durante el compostaje. Las temperaturas óptimas del proceso se encuentran entre 45 y 59°C. Temperaturas inferiores a 20°C frenan el crecimiento microbiano y, por tanto, la descomposición de los materiales. Por otro lado, con temperaturas superiores a 65°C, se inhibe el desarrollo de gran parte de los microorganismos o provocan su eliminación, reduciéndose la tasa de descomposición microbiana. Sin embargo, temperaturas en este rango, aseguran la muerte de los patógenos que pueden afectar la salud humana y vegetal.
- **Humedad.** Siendo el compostaje un proceso biológico de descomposición de la materia orgánica, la presencia de agua es imprescindible para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, debido a que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células. La humedad de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa, para que permita la circulación del oxígeno.
- **Aireación.** Para el correcto desarrollo del compostaje es necesario asegurar la presencia de oxígeno, pues los microorganismos que intervienen son aerobios (requieren presencia de oxígeno). Una

aireación insuficiente provoca una sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios (sin presencia de oxígeno), con el consiguiente retardo en la descomposición y la producción de malos olores. El exceso de ventilación podría provocar el enfriamiento de la masa y una alta desecación, con la consiguiente reducción de la actividad metabólica de los microorganismos. La aireación se estimula a través de los volteos de las pilas.

- **pH.** El pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. Es así como el pH tiene una relación directa entre la aireación y los microorganismos existentes en el proceso, porque la degradación orgánica se inhibe a pH bajos. Por ello, si el pH se mantiene por encima de 7,5 durante el proceso, es síntoma de una buena descomposición.

Etapas del proceso de compostaje

El compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos. Por lo tanto, los factores que afecten la actividad microbiana tendrán incidencia directa sobre la transformación y calidad del compost. Los microorganismos para reproducirse y crecer deben degradar los residuos para formar energía y sintetizar nuevo material celular. La obtención de energía puede ser por medio de la respiración y la fermentación. En el proceso de compostaje se llevan a cabo una serie de reacciones, las cuales además de liberar energía en forma de calor, forman una serie de compuestos orgánicos que a su vez son utilizados por los microorganismos hasta completar la degradación de los residuos.

De acuerdo a los diferentes cambios de temperatura, pH y sucesiones microbianas durante el proceso de compostaje, éste se divide en cuatro fases o etapas:

- **Fase mesófila inicial (10 a 40°C).** Esta fase, es la parte más dinámica del compostaje. En ella se incrementa rápidamente la temperatura y el pH experimenta amplias variaciones, pues las bacterias y hongos mesófilos presentes en los materiales orgánicos empiezan a desarrollarse utilizando hidratos de carbono y proteínas fácilmente asimilables. De esta forma los microorganismos crecen y se multi-

plican descomponiendo los materiales. La actividad metabólica de los microorganismos en esta fase da lugar a un aumento rápido de la temperatura, las pilas de compostaje tardarán entre tres y cuatro días aproximadamente en incrementar la temperatura y pasar de la fase mesofílica a la termofílica.

- **Fase termofílica (35 a 70°C).** En esta fase proliferan exclusivamente microorganismos termotolerantes y termófilos tales como actinomicetos (*Thermoactinomyces* sp.), diversos *Bacillus* spp. termófilos y bacterias gran negativas como *Thermus* e *Hydrogenobacter*. En un comienzo, bacterias y hongos termófilos empiezan a degradar la celulosa y parcialmente la lignina, con lo cual la temperatura aumenta. A partir de los 60°C, los hongos termófilos cesan su actividad y aumentan los actinomicetos. Durante varios días se mantiene las altas temperaturas y disminuye la actividad biológica, y se produce la pasteurización del medio. Es decir, se destruyen las bacterias patógenas, parásitos presentes en los residuos y la inhibición de la germinación de semillas de malezas.

En esta etapa se deben realizar frecuentes volteos de la pila, con el objeto de aportar oxígeno, el que es rápidamente consumido por los microorganismos.

- **Fase de enfriamiento.** Cuando prácticamente la totalidad de la materia orgánica se ha transformado, la temperatura comienza a descender, porque el calor que se genera al interior de la pila es menor que el que se pierde, evidenciándose una recolonización de microorganismos mesofílicos. A diferencia de la fase mesofílica, donde predominaba la degradación de azúcares, oligosacáridos y proteínas, esta fase se caracteriza por incrementar el número de microorganismos capaces de degradar polímeros más complejos como almidón y celulosa. Esta fase se reconoce cuando luego de dar vuelta la pila, no existe un aumento de temperatura posterior.
- **Fase de maduración.** Período que requiere de un tiempo (meses) a temperatura ambiente, en la cual se producen reacciones de condensación y polimerización de humus. En esta etapa además se degradan algunos ácidos orgánicos producidos en la fase termofílica, los cuales son fitotóxicos.

3.1.2. Incorporación al suelo de residuos de cosecha, poda o rastrojos

Los restos del cultivo que quedan en el campo, después de la cosecha o la poda, pueden ser triturados con la trituradora de rastrojos, o chipeados con una maquina chipeadora, e incorporados al suelo mediante un rastraje (**Foto 5**). De esta forma, son descompuestos por los microorganismos del suelo, con los consecuentes efectos positivos para la estructura del mismo, aumento de la actividad microbiológica y disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, la aplicación de un excesivo volumen de rastrojos puede generar problemas en la preparación de suelo, siembra y establecimiento del cultivo siguiente. Cuando dichos residuos tienen altos contenidos de carbono (C), respecto del contenido de nitrógeno (N), también puede promover el fenómeno de inmovilización de nitrógeno, llamado “hambre de N”. Este es causado por la disminución de este elemento en el suelo, al ser utilizado por los microorganismos en la descomposición de los residuos ricos en C. Además, la aplicación de algunos rastrojos podría tener efectos alelopáticos sobre ciertas malezas o el nuevo cultivo. Es decir, afectar negativamente el crecimiento de las plantas debido a la acción de exudados radiculares.



Foto 5. Chipeado de rastrojos de tomate, para su incorporación directa al suelo.

3.1.3. Elaboración de compost con rastrojos de cultivos en el Valle de Azapa

Como se ha mencionado anteriormente, el importante desarrollo que tiene la horticultura en el Valle de Azapa, en la Región de Arica y Parinacota, con sus cerca de 3.000 ha cultivadas, la ha llevado a constituirse en el principal centro abastecedor de hortalizas de consumo fresco para la zona central del país, durante los meses de invierno. Esto debido a sus excelentes condiciones climáticas, que posibilita cultivar durante todo el año especies como tomate, poroto verde, maíz dulce y pimiento. Entre éstas se destaca el tomate con casi 840 ha cultivadas. Sin embargo, este crecimiento en la producción agrícola acarrea consigo una serie de problemas, como la generación de residuos agrícolas. Así, resultados obtenidos por el INIA, a través, de su proyecto “Manejo de los residuos orgánicos e inorgánicos derivados de la actividad agropecuaria en el Valle de Azapa”, financiado por el Gobierno Regional de Arica y Parinacota, señalan que la elaboración de compost en la Región de Arica y Parinacota es la forma más eficiente para manejar los residuos de cosecha de los cultivos. Esto, debido a que representan un importante recurso, como es la materia orgánica contenida en este material, para mejorar las propiedades físicas y químicas de los suelos del Valle de Azapa.

En el contexto del proyecto que origina este Boletín Técnico, se realizaron diversos estudios para determinar el tiempo requerido, así como la calidad resultante al someter a compostaje diferentes restos de cultivos como sustrato. Así se demuestra que para la elaboración de compost, mientras más materias primas se utilicen en su conformación, de mejor calidad va a ser el compost obtenido. Además, se determinó que un factor importantes es la selección del material a compostar, pues de éste dependerá el tiempo que se demore en estar listo, así como su calidad.

En la **Figura 11**, se muestra la evolución de la temperatura en pilas de compostaje elaboradas con diferentes materias primas.

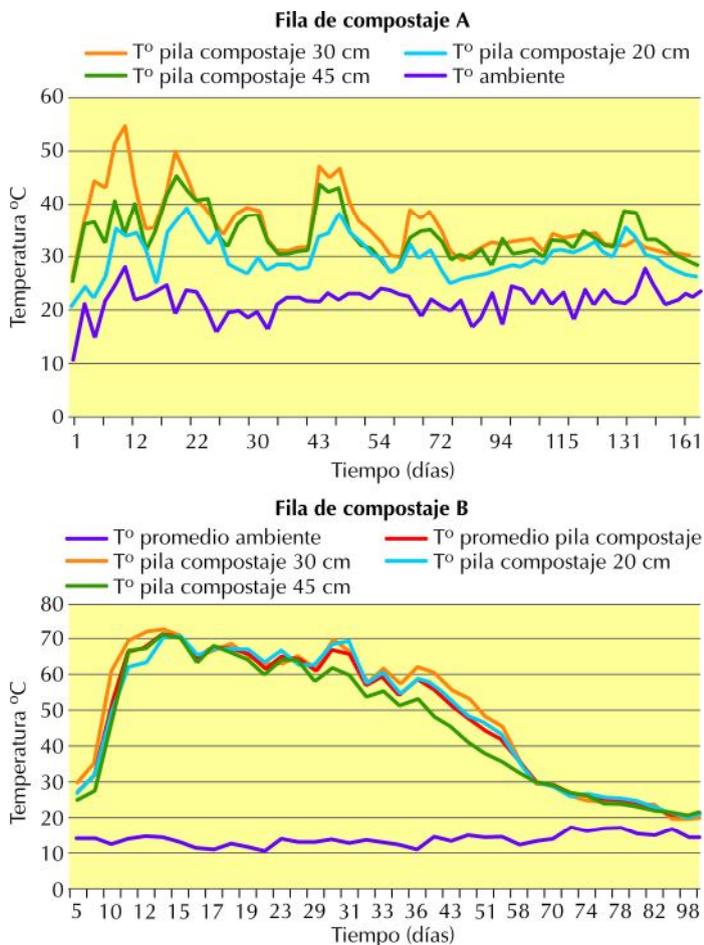


Figura 11. Evolución de la temperatura en dos pilas de compostaje compuesta con diferentes materias primas.

La pila de compostaje A fue elaborada con residuos de cosecha de maíz, tomate y zapallo italiano (**Foto 6**), en una relación 3:1:1 (v:v), respectivamente. A su vez, la pila de compostaje B fue compuesta por rastrojos de tomate, pimiento, ají, berenjena y zapallo italiano en proporciones iguales v:v. (**Foto 7**). Se aprecia, que la pila A, alcanzó temperaturas que varían desde los 54 a los 21°C, aproximadamente, y el proceso desde la fase inicial hasta la fase de maduración, tuvo una duración de cinco



Foto 6. Materias primas utilizadas en la formación de la pila de compostaje A (maíz, tomate y zapallo).



Foto 7. Pila de compostaje B, elaborada con tomate, pimienta, ají, berenjena y zapallo italiano.

meses. Sin embargo, la pila B obtuvo temperatura en el rango de 73 a 20°C, demorando el proceso completo sólo tres meses.

El mayor tiempo para alcanzar la madurez del compost en el caso de la pila A, con respecto a la B, se debe a que el material que la conformaba tenía un alto contenido de lignina, material difícilmente biodegradable, puesto que el rastrojo de maíz contiene entre el 10 al 25% de este compuesto.

Para definir la calidad de los compost resultantes, en el **Cuadro 4**, se presenta la composición química de éstos.

Cuadro 4. Calidad de los compost (A-B), elaborados en el Valle de Azapa.

Análisis químicos	Compost A	Compost B	NCh 2880. Of 2004	
			Clase A	Clase B
pH (suspensión 1:5)1:5	7,3	8,3	5,0 – 8,5	
C. Eléctrica (suspensión 1:5)dS/m	2,4	6,6	< 3	<8
Materia orgánica (%)	39	33,5	>20	
Carbono orgánico (%)	21,7	18,6	>11	
Nitrógeno Total (%)		1,24	1,9	>0,5
Relación C/N	17,5	9,8	<25	>30
Fósforo total P2O5) (%)	0,76	1,1		
Potasio total (K2O) (%)	0,23	1		
Humedad (%)	28	53	30 - 45	
Materia Seca (%)	72	47	55 – 70	

Los resultados obtenidos de los análisis químicos efectuados a los compost A y B, muestran que ambos cumplen con la Norma Chilena 2880. Sin embargo, sólo el compost A, sería clasificado como clase A, debido a que la conductividad eléctrica que presenta es menor a 3 dS/m, no así el compost B que presenta un conductividad eléctrica de 6,6 dS/m, correspondiendo a un compost clase B. Esto puede deberse, a que el compost A se estableció en un lugar más ventoso que el B, siendo necesario aplicarle una mayor cantidad de riegos, lo cual ayudó al lavado de sales, obteniendo de esta forma un conductividad eléctrica menor que la del compost B.

3.1.4. Efecto de la agregación de material orgánico al suelo, en la dinámica del nitrógeno y propiedades físicas y químicas del suelo

Durante el año 2011, se realizó un estudio con la finalidad de evaluar el efecto de la materia orgánica en el suelo, sobre el movimiento del

agua y el nitrógeno, así como sobre los rendimientos de materia seca de avena.

Para ello, se instaló columnas de lixiviación de 1 m de alto, con un diámetro de 20 cm las cuales se rellenaron con suelos disturbado de dos sectores del Valle de Azapa, sector Surire (zona alta del Valle) y sector Cerro Blanco (zona media del Valle). Sobre estos suelos se aplicó cinco tratamientos que consideraron distintos sustratos de materia orgánica:

- T0: Tratamiento testigo.
- T1: Agregación de Compost.
- T2: Agregación de guano de ave.
- T3: Tratamiento Testigo con agregación de N vía Urea.
- T4: Agregación residuos de tomate + Guano de Ave.

Sobre la superficie de cada tratamiento se estableció una cubierta vegetal con avena (*Avena sativa*), debido a su rápido establecimiento. Para evaluar la dinámica del agua de riego y del nitrógeno, se estableció un sistema de riego periódico y prolongado con agua pura, donde lo esencial, fue la colecta periódica de los percolados y lixiviados de nitrógeno, a través de la columna de suelo, con el fin de llevar un seguimiento en el tiempo, tanto de los volúmenes de agua percolados, como del contenido de nitrógeno mineral lixiviados en éstos.

Los suelos utilizados en el ensayo correspondieron a dos sectores del Valle de Azapa donde se cultivan principalmente hortalizas, destacando el cultivo del tomate. Cada suelo posee sus propias características físicas y químicas, en donde el suelo del sector Surire, ubicado en el km 45 del Valle de Azapa, se caracteriza por ser un suelo de textura Franco Arenoso y en profundidad Areno Franco, con una muy baja presencia de materia orgánica, 0,5% en promedio, una conductividad eléctrica (CE) promedio de 12 mS/cm, lo cual representa un suelo fuertemente salino y un pH promedio de 7,9 (alcalino).

En comparación, el suelo del sector Cerro Blanco, ubicado en el km 27 del Valle de Azapa, posee una textura Franca y en profundidad Franco Arenoso, la presencia de materia orgánica, al igual que la del sector Surire es baja, 0,8% en promedio, una CE promedio de 8,2 mS/cm, y

que de igual forma corresponde a un suelo fuertemente salino y un pH promedio de 8,1 (alcalino). En el **Cuadro 5**, se puede observar la caracterización físico-química de cada estrata de suelo.

Cuadro 5. Caracterización física y química de los suelos del sector Surire y Cerro Blanco, en el Valle de Azapa.

Identif. suelo	Ph	C.E mS/cm	M.O %	% Arena 2-0,05 mm	% Limo		Textura
					0,05-0,002 mm	% Arcilla <0,002 mm	
Sector Surire							
0-20 cm	7,64	20,2	0,8	76,5	12,5	11,0	Franco Arenoso
20-40 cm	7,9	7,9	0,4	78,4	12,2	9,4	Franco Arenoso
40-60 cm	8,21	7,9	0,3	81,0	10,5	8,5	Arena Franco
Sector Cerro Blanco							
0-20 cm	7,73	12,5	1,2	39,7	35,1	25,2	Franco
20-40 cm	8,11	7,1	0,8	46,2	32,1	21,7	Franco
40-60 cm	8,51	5,2	0,3	73,1	15,0	11,9	Franco Arenoso

Además, como se mencionó anteriormente, se evaluó diferentes fuentes orgánicas como aporte de nitrógeno, recolectadas en el Valle de Azapa. En el **Cuadro 6**, se presenta una caracterización química de cada una de ellas.

Cuadro 6. Caracterización química de las enmiendas orgánicas utilizadas en el estudio.

Enmienda Orgánica	M.O. %	C.E. mS/cm	Ph	Nitrógeno %	Fósforo %
Guano de ave	22,5	58,3	7,1	2,6	6,6
Compost	33,5	6,6	8,2	1,9	1,1
Rastrojos de Tomate	79,0	2,1	5,8	1,8	1,3

Las dosis equivalentes aplicadas en cada tratamiento, de los sustratos orgánicos empleados, correspondió a aquellas utilizadas normalmente por los agricultores en campo. En todos los tratamientos se agregó una fertilización base de fósforo (P), en una dosis equivalente de 120 kg/ha de P_2O_5 , en la forma de Super Fosfato Triple (SFT). En el **Cuadro 7**, se señala las dosis utilizadas para cada sustrato.

Cuadro 7. Dosis equivalente de los sustratos orgánicos incorporados en cada tratamiento.

Tratamiento	Dosis equivalente aplicada (Kg/ha)
Compost	20.000
Guano	15.000
Residuos de tomate	42.000
Urea	200

Se empleó un diseño experimental completamente al azar, donde se utilizó dos suelos, cinco tratamientos y tres repeticiones, estableciéndose un total de 30 columnas de lixiviación. En la **Foto 8**, se observa el ensayo ya establecido.



Foto 8. Ensayo de columnas de lixiviación ya establecido.

Resultados

A continuación se presenta los principales resultados de este estudio.

- **Efecto de las fuentes orgánicas sobre la percolación del agua de riego.**

Dada la importancia que tiene para la región la eficiencia en el uso de este recurso, se estudió la percolación del agua de riego y de este modo analizar el efecto de las fuentes orgánicas generadas en el Valle de Azapa y disponibles para la agricultura local, como son el guano de ave, los restos de cultivo (especialmente tomate) y compost, sobre la retención de agua en el suelo.

En la **Figura 12**, se presenta la percolación de agua en cada tratamiento, expresada en porcentaje, respecto a la cantidad total de agua de riego aplicada, en cada suelo evaluado.

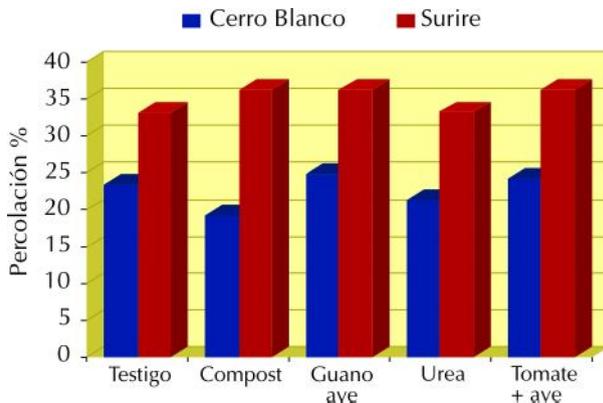


Figura 12. Porcentaje de percolación, respecto al agua aplicada (%).

Como se observa, las mayores pérdidas de agua, se evidencian, en general, sobre el suelo del sector Surire, con 12,4% más de percolación, respecto al suelo del sector Cerro Blanco, que en promedio alcanzó una

percolación de agua de un 22,6% respecto al agua de riego aplicada. Esto tiene una estrecha relación con la textura del suelo, detallada anteriormente. En efecto, tal como se observa en el Cuadro 6, el porcentaje de Arena en el perfil del suelo de Surire es en promedio de un 78,6%, permitiendo que el agua se pierda fácilmente en el perfil del suelo, porque además, presenta un bajo porcentaje de arcilla (9,6% en promedio), no permitiendo retener una mayor cantidad de agua.

Al comparar el efecto de los tratamientos orgánicos entre sí, no se evidenció diferencias respecto al testigo y entre ellos, en ninguno de los dos suelos estudiados. Es decir, en una temporada no se alcanza a apreciar los efectos de la materia orgánica sobre la retención de agua en el perfil del suelo. Esto permite concluir que necesariamente, en este tipo de suelo con bajos niveles de materia orgánica, que no superan el 1%, se requiere estar permanentemente aplicando este tipo de sustrato, para alcanzar los efectos que proporciona la materia orgánica sobre algunas propiedades del suelo.

- **Efecto de las fuentes orgánicas sobre la dinámica del Nitrógeno en el suelo.**

Con el fin de poder determinar la dinámica de este nutriente en relación a las propiedades físicas y químicas del suelo y de las enmiendas orgánicas utilizadas, se estudió y evaluó la lixiviación de nitrógeno en relación al testigo. De este modo, en la **Figura 13**, se observa la lixiviación del nitrógeno respecto al testigo por suelo y tratamiento.

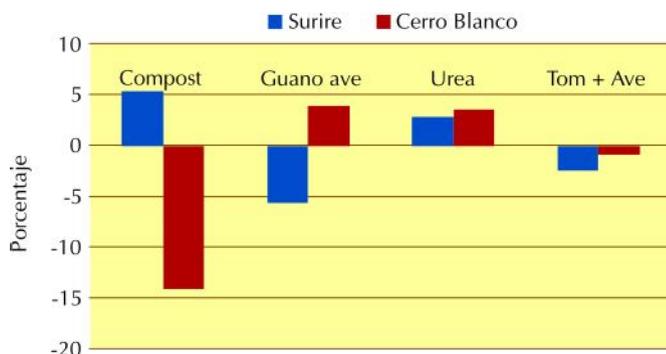


Figura 13. Porcentaje de la lixiviación del Nitrógeno, respecto al testigo.

De esta Figura, se puede inferir que el tratamiento que tuvo una mayor pérdida de nitrógeno por lixiviación, en ambos suelos, fue el tratamiento donde se aplicó Urea, con pérdidas de este nutriente en relación al testigo, de 2,9% más en el suelo del sector Surire y un 3,6 % más en el suelo del Sector Cerro Blanco. Esto se debe a que la Urea es un fertilizante que deja disponible el nitrógeno en forma más rápida que la materia orgánica. Por otra parte, se observa efectos interesantes en los tratamientos compost, guano de ave y rastrojo de tomate + guano de ave, donde se aprecia, que especialmente el compost y el guano de ave son capaces de retener entre un 14,1% y un 5,7% más de nitrógeno que el testigo. De esta forma, se evita pérdidas de este nutriente por el fenómeno de lixiviación en el perfil del suelo, pudiendo alcanzar y contaminar el agua sub superficial y profunda.

En consecuencia, de este estudio se puede derivar que la adición de material orgánico, disponible en el Valle de Azapa, permite mitigar la pérdida de nitrógeno en el suelo y por consiguiente disminuye la contaminación del agua subterránea.

- **Efecto de las fuentes orgánicas sobre la producción de avena.**

Un aspecto de importancia para la agricultura del Valle de Azapa, es evaluar el efecto de la incorporación al suelo de los sustratos orgánicos disponibles en la Región, sobre los rendimientos de los cultivos. Con este propósito se sembró sobre cada lisímetro avena, que es una especie de rápido crecimiento, para estudiar su comportamiento frente a los tratamientos evaluados. En la **Figura 14**, se presenta la producción de avena en cada suelo, en promedio para el conjunto de tratamientos aplicados.

De esta Figura se puede apreciar que el suelo de Cerro Blanco presenta un mayor potencial de rendimiento para avena, superando

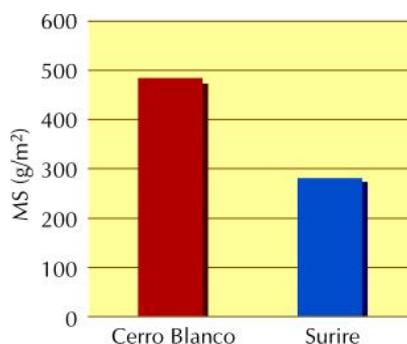


Figura 14. Producción de materia seca de avena, por suelo, en promedio para el conjunto de tratamientos aplicados, expresados en g/m².

en promedio a Surire en un 73%. Esto se puede deber a que el suelo de Cerro Blanco presenta, especialmente en los primeros 20 cm de suelo, una menor CE que los suelos de Surire y además cuenta con mayor presencia de arcilla en su perfil, lo cual permite una mayor retención de agua y nutrientes.

Sin embargo, al analizar el rendimiento al interior de cada tratamiento en relación al testigo, de la **Figura 15**, se observa, que los mayores efectos se alcanzan en el suelo de Surire.

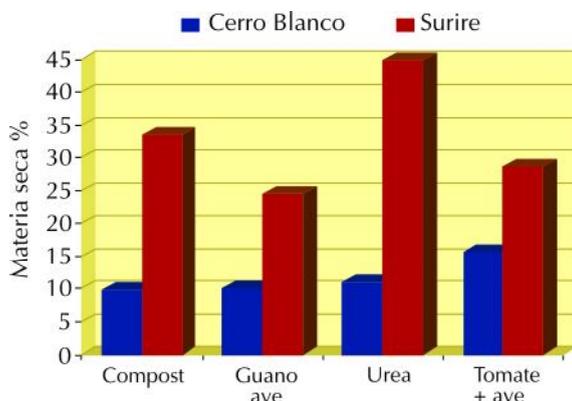


Figura 15. Producción de materia seca de avena, expresada en % en relación al testigo.

En el suelo de Cerro Blanco, se evidencia que en todos los tratamientos aplicados se alcanza una respuesta en el rendimiento de la avena que supera al testigo, sólo entre un 9,8% y un 15,6%, destacándose el efecto de la adición de rastrojo de tomate + guano de ave. Sin embargo, al analizar el comportamiento de los tratamientos en el suelo de Surire se aprecia que los rendimientos de avena se incrementaron en un 32,9% en promedio, respecto al testigo. El mayor incremento se alcanzó con la adición de urea, como fertilizante, con un incremento de un 45%, debido a que el nitrógeno está disponible más rápidamente, en comparación a un sustrato orgánico. Por otra parte, al analizar el efecto de las enmiendas orgánicas se observa que los incrementos en la producción de materia seca de avena fluctuaron entre 24,4% en el caso de guano

de ave, un 28,7% en el rastrojo de tomate + guano de ave y un 33,5% cuando se adicionó compost. De estos sustratos, destaca este último, debido a que es un material estabilizado y los nutrientes, especialmente nitrógeno, están más prontamente disponibles, en relación a los rastrojos de tomate y el guano de ave.

En definitiva, de estos resultados se puede derivar que los mayores efectos, sobre la producción de cultivos, al aplicar un sustrato orgánico, se obtienen en los suelos de Surire, que son aquellos que presentan mayores limitantes.

Conclusiones

Las principales conclusiones que se pueden inferir de este estudio se indican a continuación:

- Los mayores efectos de la adición de sustratos orgánicos sobre la producción de materia seca de avena se alcanzaron en los suelos de Surire, que presentan mayores limitantes impuestas por la salinidad de éstos. Los rendimientos de avena se incrementaron en promedio, respecto al testigo, en un 32,9%, mientras que el suelo de Cerro Blanco se logró un incremento promedio de sólo 11,6%.
- De los sustratos estudiados, el compost permite alcanzar los mayores rendimientos de avena, un 33,5% superior al testigo, debido a que es un material estabilizado y los nutrientes, especialmente nitrógeno, están más prontamente disponibles, en relación a los rastrojos de tomate y el guano de ave.
- La adición de material orgánico, disponible en el Valle de Azapa, permite mitigar la pérdida de nitrógeno en el suelo y por consiguiente disminuye la contaminación del agua subterránea. Destacan el compost y el guano de ave que son capaces de retener entre un 14,1% y un 5,7% más de nitrógeno que el testigo.
- Respecto al efecto de la adición de los sustratos orgánicos sobre la retención de agua en el perfil del suelo, no se evidenciaron diferencias respecto al testigo y entre ellos, en ninguno de los dos suelos

estudiados. Es decir, una temporada es insuficiente para evaluar los efectos de la materia orgánica sobre la dinámica del agua de riego en el suelo.

- Necesariamente, en los suelos que predominan en el Valle de Azapa, que se caracterizan por sus bajos niveles de materia orgánica, que no superan el 1% y altas concentración de sales, se requiere aplicar permanentemente materia orgánica para alcanzar los efectos que ésta proporciona sobre algunas propiedades del suelo.

3.1.5. Producción de plantines utilizando diferentes sustratos: compost y turba

Se denomina sustrato, a cualquier material sólido y poroso diferente del suelo "*in situ*", que colocado dentro de un contenedor pueda servir de anclaje a las raíces de la planta y permita una libre circulación del agua y los gases. Esto puede ser de naturaleza mineral u orgánica, y con (o sin) actividad química y biológica (sustratos activos o inertes, respectivamente), lo cual alterará de alguna manera la solución nutritiva aportada.

En el Valle de Azapa, el sustrato más utilizado por los agricultores para hacer sus plantines es la turba, sustancia compuesta de materia orgánica, originada por la descomposición incompleta de restos vegetales, en un medio carente de aire y extremadamente húmedo o saturado de agua. En esta descomposición entran restos de musgos y gramíneas, a veces mezclados con fragmentos leñosos y partículas de humus. Sin embargo, el elevado precio y el hecho de que la turba es un recurso natural difícilmente renovable, cuya extracción provoca la destrucción de zonas de alto valor ecológico-arqueológico, se hace cuestionable su disponibilidad futura. Por ello, se ha fomentado la búsqueda de nuevos materiales, especialmente aquellos que tengan una disponibilidad local, como sustitutos de la turba.

En este contexto, INIA realizó un ensayo con cinco repeticiones en los cuales se utilizó como sustrato compost y turba para la producción de plantines de tomate Cherry, variedad Tropical. El compost empleado correspondió a un compost fabricado por el agricultor, clasificado según

la NCh 2880 como clase B, mientras que la turba utilizada correspondió a una turba comercial utilizada por el agricultor (Sunshine).

Una vez establecida la siembra, las bandejas de 135 alvéolos, fueron colocadas en cámaras de germinación por cinco días, luego de lo cual se evaluó el número de semillas germinadas, proceso que se repitió cada cinco días para determinar el porcentaje de germinación (**Cuadro 8**).

Como se puede observar en el **Cuadro 9**, el porcentaje de germinación es muy adecuado para los dos sustratos, siendo sobre un 90%. Para estudiar el comportamiento de los plantines en los diferentes sustratos utilizados, se evaluó la altura de plantas en el tiempo (**Figura 16**), donde se observó que en la turba las plantas

alcanzaron un desarrollo aéreo importante, en relación al tratamiento con compost, generando una disminución promedio durante el desarrollo de la planta de un 60%. A los 20 días de siembra, las plántulas en el sustrato con turba alcanzaron, en promedio, 6,3 cm de altura, mientras, que en el compost sólo presentaban una altura de 2,8 cm. Sin embargo, una vez hecho el trasplante, las plantas establecidas en

Cuadro 8. Porcentaje de germinación (G) de tomate Cherry, establecido en dos sustratos.

Sustrato	G%
Turba	95,8
Compost	94,2

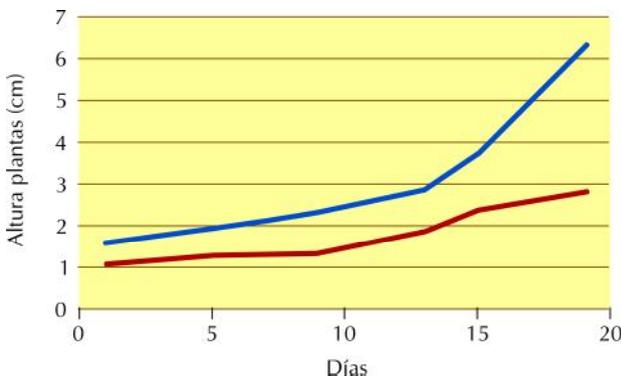


Figura 16. Comportamiento de la variable altura de plantas en los sustratos turba y compost. Tomate Cherry. Azapa 2010.

compost, rápidamente se igualaron en tamaño y no presentaron diferencias con relación a las sembradas en turba. Estudios realizados en la tesis Doctoral por María Ángeles Gómez Sánchez, de la Universidad de Salamanca, España (2011), señalan que la mezcla de turba con compost, en una proporción de 60%, 40% respectivamente, es la que daría mejores resultados.

En definitiva, los productores podrían elaborar su propio sustrato, evitando la compra de turba y aprovechando los recursos disponibles en el mismo predio, como son los rastrojos de sus cultivos, debidamente compostados, haciendo un importante ahorro y reduciendo costos de producción.



Foto 9. Preparación de los speedling de Tomate Churri, variedad Tropical.

3.1.6. Efecto de la aplicación de compost sobre el suelo y el comportamiento de un cultivo de tomate en el Valle de Azapa

Con el fin de identificar los efectos y beneficios producidos en el suelo y en el cultivo de tomate, variedad Naomi, por la aplicación de compost e incorporación de rastrojos de cosecha al suelo, se realizó un estudio, durante la temporada de cultivo 2009-2010. Para ello, se estableció dos ensayos, en los predios de los productores Jaime Marcas, ubicado en el

km 45 del Valle de Azapa, sector Surire (**Fotos 10 y 11**) y Víctor Castro, también ubicado en el Km 45 del Valle de Azapa (**Foto 12**).



Foto 10. Trasplante de plántulas de tomate, variedad Naomi. Predio Sr. Jaime Marcas.



Foto 11. Cultivo de tomate ya establecido. Predio Sr. Jaime Marcas.



Foto 12. Preparación de suelo, en la parcela del agricultor Sr. Víctor Castro.

Estos ensayos se conformaron por cinco tratamientos, de los cuales uno correspondía a la aplicación de 8 kg/m^2 de compost y el resto a combinaciones con rastrojos de cultivos y guano de cordero, según se indica a continuación:

Tratamientos evaluados:

- T1: Aplicación de 8 kg/m^2 de Compost (C).
- T2: Aplicación de 8 kg/m^2 de Compost + $36,3 \text{ kg/m}^2$ de guano de cordero previamente incorporado al suelo (CG).
- T3: Aplicación de 8 kg/m^2 de Compost + $36,3 \text{ kg/m}^2$ de guano de cordero previamente incorporado al suelo + $1,0 \text{ kg/m}^2$ de rastrojos de zapallo italiano (CGR) o $1,0 \text{ kg/m}^2$ de rastrojos de cebollas, en base a materia seca.
- T4: $36,3 \text{ kg/m}^2$ de guano de cordero previamente incorporado + $1,0 \text{ kg/m}^2$ de rastrojos de zapallo italiano (GR) o rastrojo de cebollas.
- T5: 1 kg/m^2 de guano de cordero previamente incorporado al suelo (G).

A continuación en los **Cuadros 9, 10 y 11** se señala las características químicas del compost aplicado al suelo, empleando los rastrojos de zapallo italiano, cebolla y del guano de cordero respectivamente.

Cuadro 9. Análisis químico del Compost.

Variable	Compost	Clase A	Clase B
		NCh 2880 of 2004	
pH 1:5 suspensión 1:5)	7,3	5,0 - 8,5	
C. Eléctrica (suspensión 1:5) dS/m	2,4	<3	<8
Materia orgánica (%)	39	>20	
Carbono orgánico (%)	21,7	>11	
Nitrógeno Total (%N)	1,24	>0,5	
Relación C/N	17,5	<25	<30
Fósforo total (%P)	0,3		
Fósforo (%P ₂ O ₅)	0,76		
Potasio total (% K)	0,19		
Potasio total (% K ₂ O)	0,23		
Densidad aparente (g/cm ³)	0,41	< 0,7	
Humedad (%)	28	30 – 45	
Materia Seca (%)	72	55 – 70	

Cuadro 10. Análisis químico de los rastrojos de zapallo italiano y cebolla.

Variable	Rastrojo de Zapallo Italiano Productor Sr. Jaime Marcas	Rastrojo de Cebolla Productor Víctor Castro
pH 1:5 (suspensión 1:5)	8,5	5,0
C. Eléctrica (suspensión 1:5) dS/m	11,0	21,6
Materia orgánica (%)	66,5	82,5
Carbono orgánico (%)	36,9	45,8
Nitrógeno Total (% N)	2,0	1,7
Relación C/N	18,7	27,1
Fósforo (%P ₂ O ₅)	1,3	0,3
Potasio total (%K ₂ O)	4,2	2,2
Humedad (%)	67,0	5,0

Cuadro 11. Análisis químico de guano de cordero.

Variable	
pH 1:5 suspensión 1:5)	8,5
C. Eléctrica (suspensión 1:5) dS/m	13,0
Materia orgánica (%)	68,5
Carbono orgánico (%)	38,1
Nitrógeno Total (%N)	1,78
Relación C/N	21,4
Fósforo total (%P)	0,59
Fósforo (%P ₂ O ₅)	1,35
Potasio total (%K)	1,92
Potasio (%K ₂ O)	2,30
Densidad aparente (g/cm ³)	0,3
Humedad (%)	12
Materia Seca (%)	88

Resultados

Una de las variables analizadas correspondió a la producción de materia seca de la parte aérea de las plantas de tomate y de sus raíces, expresada en (kg). En la **Figura 17**, se grafica la relación entre materia seca del follaje y de las raíces.

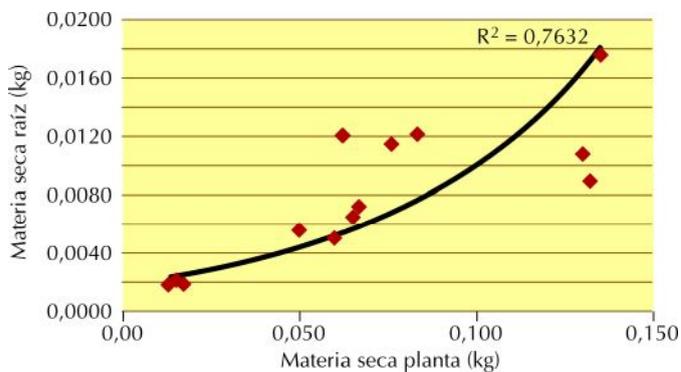


Figura 17. Relación entre la materia seca de una planta de tomate (kg), versus la materia seca de la raíz (kg).

De la Figura 17, se puede inferir tal como lo indica la literatura, que existe una estrecha relación entre la producción de materia seca del follaje y de las raíces, alcanzando $R^2 = 0,76$. De esta forma, considerando la importancia del crecimiento radicular en la producción de biomasa total, en las **Figuras 18 y 19**, se grafica en los dos predios evaluados el efecto de los tratamientos aplicados al suelo, en la generación de materia seca de raíces.

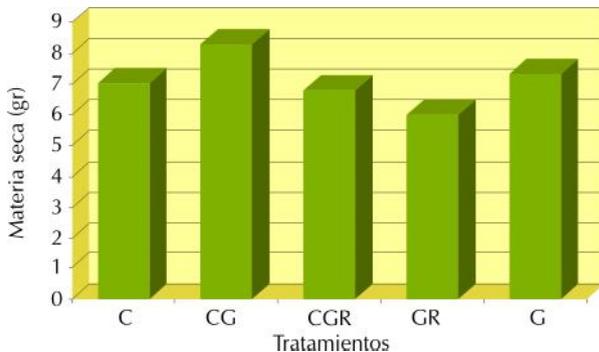


Figura 18. Generación de materia seca de raíces/planta (gr), por tratamiento. Predio Sr. Jaime Marcas.

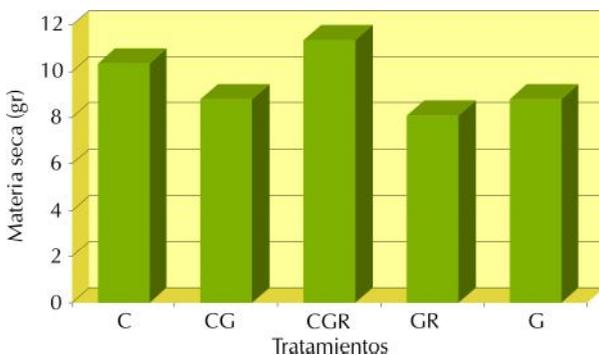


Figura 19. Producción de materia seca de la raíz (gr/planta), por tratamiento. Predio Sr. Víctor Castro.

Como se observa de la Figura 18, el tratamiento que generó mayor cantidad de materia seca de raíces, correspondió a aquel que consideró la aplicación al suelo de compost + guano (CG), con 8,3 g/raíces/planta, superando a los tratamientos de guano (G), Compost (C), Compost +

guano + rastrojos de zapallo italiano (CGR) y guano y rastrojos de zapallo italiano (GR), en un 13 %, 15%, 18%, y 27%, respectivamente.

De la Figura 19, se puede inferir que el tratamiento que generó la mayor cantidad de materia seca de raíces, correspondió al tratamiento tres compost + guano + rastrojos de cebolla (CGR), con 11 gr/raíces/planta. De esta forma, los tratamientos de compost (C), compost + guano (CG), guano (G) y guano + rastrojos de cebolla (GR), alcanzaron una menor producción de raíces, inferior en un 9%, 22%, 22% y 29%, respectivamente.

De las Figuras 18 y 19 se puede observar que el tratamiento que produjo menos materia seca de raíces correspondió al tratamiento de guano más rastrojo. Esto se puede explicar porque ambos sustratos son materias orgánicas que no están debidamente estabilizadas, debiendo pasar por una etapa de descomposición, en la que los microorganismos necesitan nitrógeno y carbono. De esta forma, se puede interpretar que el nitrógeno y el carbono disponibles en el guano y los rastrojos, son utilizados para la degradación de estas materias, disminuyendo de esta forma la disponibilidad de estos nutrientes para la planta.

Una de las variables evaluadas y de mayor importancia correspondió al estudio del comportamiento de la materia orgánica en el suelo, de acuerdo a su origen.

La materia orgánica cobra gran importancia debido a que los suelos del Valle de Azapa, al igual que la mayoría de los suelos del norte de Chile, se caracterizan por ser deficitarias en ésta, lo cual se traduce en una disminución de la fertilidad de los suelos.

La fertilidad del suelo es la capacidad de éste de sustentar la vida vegetal, la cual a su vez depende de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, de la capacidad de retención de agua, de la existencia de un espacio físico para el crecimiento de raíces y movimiento de gases, y de la ausencia de procesos de destrucción. La fertilidad natural de un suelo está determinada en gran parte por la presencia de materia orgánica en éste. La materia orgánica del suelo es el conjunto de residuos vegetales y animales de todas las clases, más o menos descompuestos y transformados por la acción de los microorganismos. Los principales

microorganismos que se encuentran son bacterias, hongos y algas. Bajo la acción de estos microorganismos los residuos se van descomponiendo y transformando en compuestos orgánicos variados, en forma más o menos lentamente.

En el **Cuadro 12**, se muestra el aumento de la materia orgánica (%) en el suelo por tratamiento y en la **Figura 20** se observa el comportamiento de la materia orgánica durante la temporada del cultivo de tomate.

Cuadro 12. Contenido de Materia Orgánica en el suelo al final de una temporada de cultivo.

Tratamiento	Predio Sr. Jaime Marcas	Predio Sr. Víctor Castro
MO (%) inicial en el suelo	1,9	1,0
Compost	2,1	2,0
Compost + Guano de Cordero	2,7	2,0
Compost + Guano de Cordero + Rastrojo	3,3*	1**
Guano de Cordero+Rastrojo	2,8*	0,9**
Guano de Cordero	2,7	1,8

* Rastrojo de Zapallo Italiano

** Rastrojo de Cebolla

Del Cuadro 13, se puede observar, en el caso del predio del Sr. Jaime Marcas, un aumento en la presencia de materia orgánica en todos los tratamientos, variando entre un 11% y un 74%, respecto al contenido inicial en el suelo. El tratamiento que mostró el mayor incremento (74%), correspondió al tratamiento compost + guano+ rastrojo, debido probablemente a que este sustrato se estructuró con la mayor cantidad de materias primas que aportaban materia orgánica.

En el caso del ensayo realizado en el predio del Sr. Víctor Castro, los tratamientos que presentaron mayores incrementos de materia orgánica, fueron T1 (compost) y T2 (compost y guano) con un aumento del 100% respecto al contenido de ésta al inicio del estudio. El T5 (guano) aumentó en un 80%, sin embargo, T3 (compost, guano y rastrojo) y T4 (guano y rastrojo), se mantuvieron en el nivel inicial.

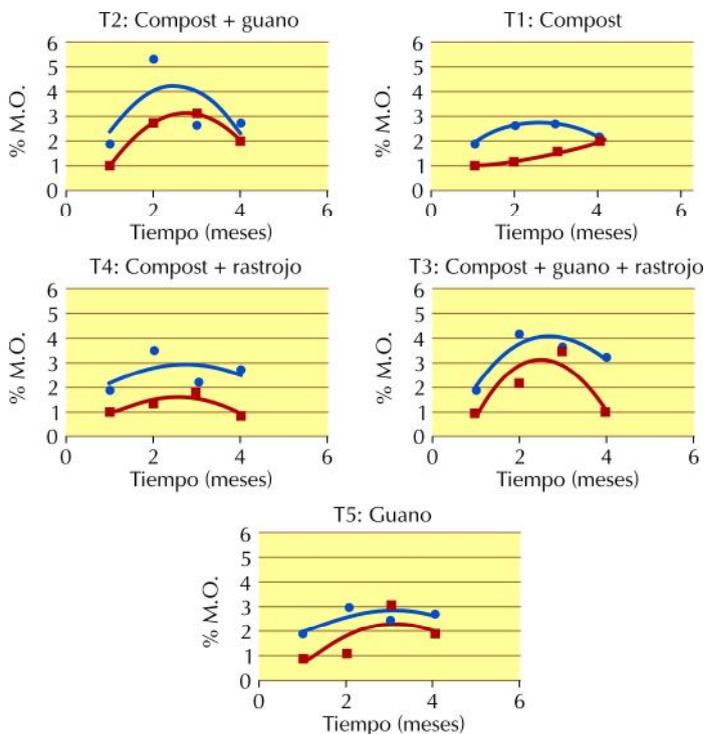


Figura 20. Comportamiento de diferentes materias primas como fuente de materia orgánica incorporada al suelo (Predio Sr. Jaime Marcas y Sr. Víctor Castro).

En la Figura 20, se puede observar la evolución de la materia orgánica a través del tiempo, obteniéndose en la mayoría de los tratamientos una curva polinómica decreciente. Sin embargo, en el tratamiento que considera sólo la aplicación de compost, se evidencia una curva exponencial, lo cual indica que la materia orgánica al término del cultivo aún no llegaba al punto de degradación y pérdida de ésta en el suelo. El compost a diferencia de los otros abonos incorporados al suelo, es el único que posee la materia orgánica estabilizada (Moreno y Moral.,2008) , entregando una cierta estabilidad de esta en el suelo. Es importante destacar que los suelos del Valle de Azapa presentan muy bajos contenidos de materia orgánica, por lo cual se hace fundamental hacer un aporte de ésta cada temporada, ya que como se evidencia , ésta se pierde en la temporada de cultivo.

3.2. RESIDUOS SÓLIDOS NO BIODEGRADABLES

Un Residuo Sólido no Biodegradable, como se mencionó anteriormente, es aquel que no se descompone fácilmente, y demora mucho tiempo en hacerlo. Por ejemplo: el plástico tarda de 100 a 1.000 años, el vidrio demora unos 4.000 años, por nombrar algunos.

De esta forma, una manera de poder manejar estos residuos es utilizando los siguientes conceptos:

- **Reutilización:** empleo de un producto usado para el mismo fin para el que fue diseñado originalmente.
- **Reciclado:** transformación de los residuos, dentro de un sistema de producción, para su fin inicial o para otros fines.
- **Valorización:** todo procedimiento que permite el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios para el medio ambiente.

Tal como se indicó en el Capítulo 2, la caracterización y dimensión de los residuos sólidos no biodegradables generados por la actividad agropecuaria en el Valle de Azapa, señaló un total de 138 t/temporada, entre envases de plaguicidas, sacos de polipropileno, cintas de riego y plásticos de invernadero. Entre éstos, los de mayor importancia son los envases de plaguicidas, pues si no son debidamente manejados para su eliminación son considerados residuos peligrosos. Es por ello, que en este capítulo se enfatizará en el manejo más apropiado para estos residuos.

3.2.1. Centro de acopio

Se define como Centro de Acopio, a aquel que cuenta con:

- a) Infraestructura de recepción y almacenamiento, por un período no superior a los 6 meses (Artículo 31, DS N° 148) y,
- b) Implementación de maquinaria para el chipeado, triturado de envases plásticos de productos fitosanitarios que han sido sometidos a “triple lavado”.

De esta forma, a través del proyecto “Manejo de los residuos orgánicos e inorgánicos derivados de la actividad agropecuaria en el Valle de Azapa, Región de Arica y Parinacota”, ejecutado por el INIA y financiado por el Gobierno Regional de Arica y Parinacota, el 8 de junio de 2011, se estableció el primer Centro de Acopio de envases vacíos de productos fitosanitarios con triple lavado en la Región. Para ello, se contó con la activa participación de la Cooperativa Agrícola Lechera de Santiago CALS y la Asociación Nacional de Fabricantes e Importadores de Productos Fitosanitarios Agrícolas (AFIPA). En la **Foto 13**, se muestra el Centro de Acopio establecido en la Cooperativa Agrícola Lechera de Santiago CALS, ubicada en el km 3 del Valle de Azapa.



Foto 13. Primer Centro de Acopio de envases vacíos de plaguicidas con triple lavado en la Región de Arica y Parinacota.

Triple Lavado

El responsable de realizar el triple lavado es el agricultor, según se indica en la Resolución 2195/2000 del SAG, y está inserta en cada etiqueta que acompaña al envase del producto.

Este procedimiento debe realizarse inmediatamente después de terminado el contenido del envase de plaguicida, con el fin de eliminar los residuos de producto que quedan en el envase y aprovechar hasta la última gota de producto en la aplicación y eliminar sobrantes que puedan contaminar el suelo y el ambiente. Se entenderá que un envase de

plaguicida ha sido sometido al procedimiento de triple lavado, cuando dicho envase haya sido lavado con agua al menos tres veces en forma sucesiva, utilizando no menos de un 10% del volumen del contenedor por cada lavado, o bien haya sido lavado mediante un método de efectividad equivalente, como por ejemplo el lavado a presión durante un minuto, y luego de todo lo cual, dicho envase haya sido inutilizado mediante punzonamiento, aplastamiento o cualquier otro método que lo destruya o inutilice. Además, el agua resultante del lavado deberá ser incorporada al estanque de aplicación del plaguicida como parte del agua de preparación o, en caso contrario, deberá ser manejada como un residuo peligroso.

A continuación y en la **Figura 21**, se detallan los pasos a seguir para realizar la práctica de “Triple Lavado” de envases vacíos de plaguicidas:

Paso 1: Vacíe el envase sobre el tanque de aplicación y mantenga en posición de descarga por 30 segundos.

Paso 2: Agregue agua hasta $\frac{1}{4}$ de la capacidad del envase vacío.

Paso 3: Cierre el envase y agite durante 30 segundos.

Paso 4: Vierta el enjuague sobre el tanque de aplicación y mantenga en posición de descarga por 30 segundos.

¡Repetir este procedimiento tres veces!

Paso 5: Perforar el envase para evitar su reutilización.

Paso 6: Entregue gratuitamente los envases vacíos con triple lavado en Centros de Acopio Autorizados.

Desde la inauguración del Centro de Acopio de la Región de Arica y Parinacota, el 8 de junio del 2011, se recibieron hasta el término del año 2011, un total de 4.403 envases de productos fitosanitarios, lo cual equivale a 637 kg de plásticos. Del total de los envases recepcionados, un 97,6% de éstos han sido aceptados por el encargado del Centro, quien ha sido capacitado por AFIPA y cumple la función de revisar envase por envase para verificar que éstos posean el triple lavado de forma correcta. Aquellos envases que no cumplen con el triple lavado, son rechazados y devueltos a su generador. Es así, como del total de los envases recepcionados durante el año 2011, se han rechazado un 2,4% de éstos. En la **Figura 22**, se muestra el gráfico que representa el

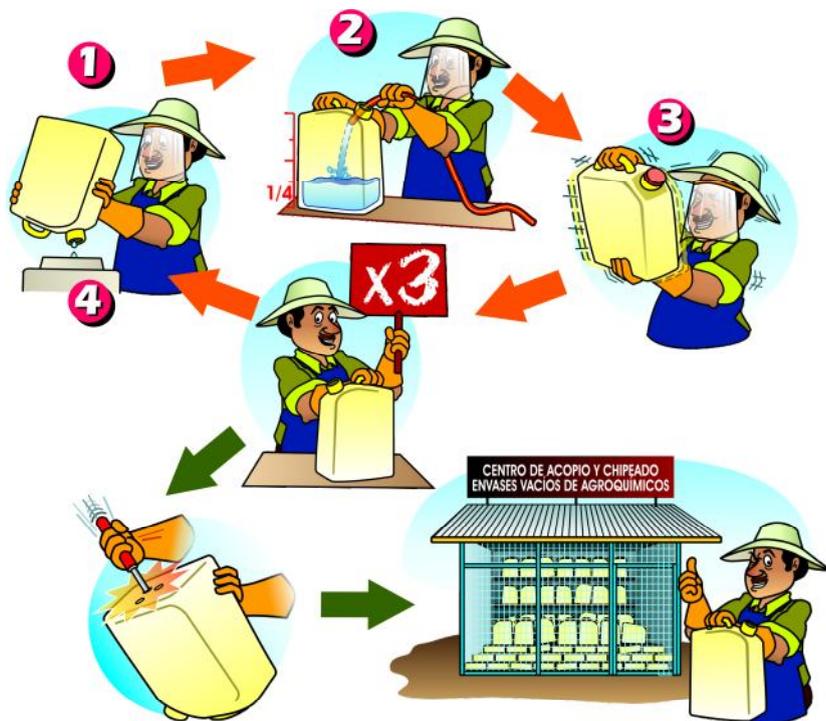


Figura 21. Diagrama de la práctica de "Triple Lavado" de envases vacíos de plaguicidas



porcentaje de envases aceptados y rechazados por el centro de acopio y en la **Figura 23**, se puede observar la evolución que ha tenido la recepción de los envases de productos fitosanitario por mes en el año 2011.

Figura 22. Porcentaje de envases aceptados y rechazados en el centro de acopio.



Figura 23. Recepción de envases vacíos de productos fitosanitarios en peso (kg), aceptados y rechazados por mes durante el año 2011.

Como se puede observar, desde el mes de junio, en que se inauguró el Centro de Acopio ha habido un flujo constante de recepción de envases vacíos de productos fitosanitarios, lo cual indica que el Centro responde a una necesidad de los agricultores de la Región de Arica y Parinacota. De lo observado en la Figura 23, el mes con mayor recepción de envases fue octubre con un 30% del total, mientras que en los meses de septiembre y diciembre, se alcanzó una menor recepción de envases con un 6,6% y un 9,1%, respectivamente, en relación al total. Esto puede deberse a que en ambos meses se celebran diversas fiestas donde los agricultores participan y se toman un tiempo de descanso.

El origen de los envases vacíos recepcionados por el Centro de Acopio de productos fitosanitarios con triple lavado, tiene principalmente dos tipos de generadores. Uno corresponde a las empresas semilleras establecidas en la Región, con el 56,3% de los envases dispuestos en el Centro, mientras que el segundo corresponde a los productores del Valle de Azapa, con el 43,7% de los envases, **Figura 24**. Esto último, es muy importante, pues indica que casi la mitad de los envases proviene de los agricultores, lo cual manifiesta que ellos están tomando conciencia en el manejo de sus residuos y que están aprovechando la oportunidad de tener un lugar que reciba gratuitamente sus envases vacíos de plaguicidas. Esto, sin duda alguna, constituye un avance trascendente en la Región para alcanzar los estándares que exige una producción agropecuaria bajo criterios de “Producción Limpia”.

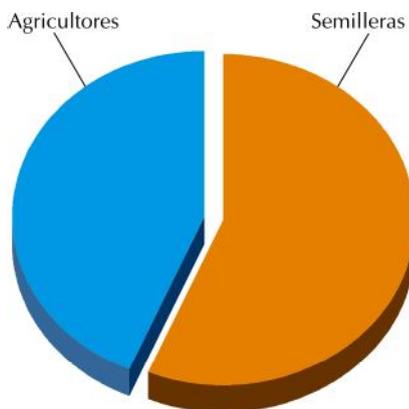


Figura 24. Porcentaje de envases vacíos de productos fitosanitarios aceptados según el generador (Agricultor o Semillera).

BIBLIOGRAFÍA

- Céspedes L., C. 2005. Agricultura Orgánica: Principios y Prácticas de Producción. Chillán, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 131. 134 p.
- Gómez, M. 2011. Tesis Doctoral "Caracterización de residuos apícolas y análisis de estrategias para su utilización en producción vegetal". Universidad de Salamanca, España. 265 p.
- Jeris, J.S. y Regan, R.W. 1973. Controlling Enviromental Parameters for Optimun Composting. Part II, Compost Sci., 14 (March-April): 8-15.
- Jhorar, B. S., Photag, V. y Malik, E. 1991. Kinetics of composting rice Straw with glue waste at different C/N ration in a semiarid environment. Arid Soil Rest. Rehabil., 5:297-306.
- Madejón, E.; Díaz, M. J.; López, R. y Cabrera, F. 2001. Co-composting of sugarbeet vinasse: Influence of the organic matter nature of the bulking agents used. Biores. Technol., 76:275-278.
- Martínez S., María Mercedes, Gutiérrez R., Viviana y Novo S., René. 2010. Microbiología Aplicada al Manejo Sustentable de Suelos y Cultivos. 235 p.
- Moreno Casco, J. y Moral Herrero, R. 2008. Compostaje., 570 p.

