PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA
OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO
UNIDAD DE DESARROLLO MUNICIPAL

ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD
ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD

OPS/HEP/HES/URU/02.99

MANUAL PARA LA ELABORACION DE COMPOST
BASES CONCEPTUALES Y PROCEDIMIENTOS

El presente documento no es una publicación de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), sin embargo, todos sus derechos le están reservados. El documento puede ser utilizado para reproducción o traducción, parcialmente o en su totalidad, no obstante, no puede ser utilizado para la venta ni con propósitos comerciales. Las opiniones expresados son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Manual preparado por:

Ing. Daniel Sztern, MGA

Lic. Miguel A. Pravia

Oficina de Planeamiento y Presupuesto

Unidad de Desarrollo Municipal

CONTENIDO

INTRODUCCION

CAPÍTULO I RESIDUOS ORGÁNICOS

- Definiciones
  CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS
- Criterios
  FUENTES DE RESIDUOS ORGÁNICOS
- Actividad agropecuaria
- Actividad agroindustrial
- Industria láctea
- Industria frigorífica
- Industria cerealera
- Industria Aceitera y Granos Oleaginosos
- Industria de la pesca
- Industria forestal
- Residuos sólidos urbanos
  ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS
- Los residuos como fuente de Alimento Animal
- Los residuos como fuente de Energía
- Los residuos orgánicos como materia prima para la producción de Abonos Orgánicos

CAPITULO II LA ELABORACIÓN DEL COMPOST

- Consideraciones Previas
- Definiciones
  COMPOSTAJE AERÓBICO: descripción general del proceso
  SISTEMAS DE COMPOSTAJE
- Sistema en Camellones o Parvas
- Sistema en Reactores
  CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS A COMPOSTAR
- Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)
- Estructura y Tamaño de lo Residuos
- Humedad
- El pH
- La Aireación
  EL PRECOMPOSTAJE
  COMO DISEÑAR Y OPERAR UN SISTEMA DE COMPOSTAJE AEROBICO
- Aspectos cualitativos
- Aspectos cuantitativos
- Unidad de Compostaje (Uc)
- Diseño del Camellón o Parva
- El Tiempo de Compostaje (Tc)
- Area de Compostaje
- Preparación de las Canchas
- Dimensión de la Cancha

MANEJO DEL SISTEMA

- Aireación y Homogeneización de la masa en Compostaje
- Cuando airear y cuando regar
- Control de la Temperatura
- Control de Humedad
- Control de aireación y riego por temperatura

El PROCESO DE REFINACION
RENDIMIENTOS
ACOPIO Y EMPAQUE
ASPECTOS SANITARIOS
ASPECTOS AMBIENTALES
CONSIDERACIONES FINALES

ANEXO 1 EL ABC DE LA MICROBIOLOGIA: UNA HERRAMIENTA PARA COMPOSTAR

INTRODUCCIÓN
CICLO DE LA MATERIA EN LA NATURALEZA

- Ciclos del Carbono y del Oxígeno
- Ciclo Del Nitrógeno
- Asimilación Fotosintética
- Amonificación
- Nitrificación
- Denitrificación
- Fijación de Nitrógeno
- Ciclo del Azufre
- Asimilación del Sulfato
- Formación SH_2 –Reducción de Sulfatos
- Oxidación SH_2 y del Azufre
- Ciclo del Fósforo

EL MUNDO MICROBIANO

- Protistas Eucarióticos
- Los Hongos
- Protistas Procarióticos
- Algas Verdeazuladas
- Las Bacterias

CLASIFICACION DE LAS BACTERIAS

- Los Virus

CONCEPTOS SOBRE NUTRICIÓN Y CRECIMIENTO MICROBIANO

- Factores Orgánicos de Crecimiento
- Requerimientos de Carbono
- Requerimientos de Nitrógeno y Azufre
- Requerimientos de Oxígeno
- Sintrofía
- Crecimiento

- L a concentración de nutrientes en la velocidad de crecimiento
- La Temperatura y la velocidad de crecimiento

CONCEPTOS SOBRE METABOLISMO MICROBIANO

- La fermentación
- La respiración
- Respiración Aeróbica
- Respiración Anaeróbica
- Resumen

ANEXO 2 I. CONVENIO MGAP – IMM

- Introducción y Antecedentes
- Objetivos del Convenio MGAP/DSA – MM/UDA
- Actividades Realizadas
- Actividades Futuras

CONCLUCIONES PRELIMINARES

- Información de campo
- Información de laboratorio

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está dirigido a técnicos que trabajen con residuos sólidos, con experiencia y conocimientos del tema. Se aconseja la lectura previa al trabajo del Anexo I: "El ABC de la microbiología....", por contener conceptos claves para la comprensión global del documento.

El objetivo de la presente obra es dar al lector, fundamentalmente a aquellas personas que desde los gobiernos locales tienen la responsabilidad de la gestión de residuos una herramienta práctica para transformar en forma razonable, equilibrada y fundamentalmente ecológica y ambientalmente deseable una parte importante de los desechos sólidos de distintos orígenes.

Tengamos en cuenta que para que algo sea considerado "residuo", previamente existió la decisión de uno o varios individuos de que ese objeto, deja de tener utilidad o valor para ser un desecho y desprenderse del mismo. Es en definitiva una elección, un acto de libertad individual.

Asimismo esperamos que sea de utilidad para interesados en el tema que participan en organizaciones no gubernamentales, productores agrícolas, empresarios o todo aquel interesado y comprometido con el cuidado y conservación de los recursos y la calidad de vida.

El concepto subyacente en todo el presente trabajo se basa en la consideración de la Tierra como objeto ecológico: un sistema que del exterior recibe únicamente aporte de energía, por lo tanto todo el resto de los recursos es finito.

Consideremos cuales son las formas básicas más habituales de disposición final de residuos hoy en nuestro planeta:

(a) Vertedero sin control o semicontrolado
(b) Relleno sanitario

En el primero caso (a) resultan obvios los problemas ambientales que se generan, al no existir total o parcialmente control de lixiviados, gases ni elementos arrastrables por el viento (plásticos u otros)

El segundo método (b), presenta menores problemas ambientales y permite la recuperación de energía mediante el aprovechamiento del biogás, mezcla de gases generados durante la descomposición anaerobia de los residuos, constituido básicamente por metano.

Los dos sistemas tienen en común retirar materias del sistema, lo cual es sorprendente si tenemos en cuenta cualquier ecobalance si recordamos lo mencionado previamente respecto a lo limitado de los recursos disponibles.

Los residuos orgánicos ocupan en el mundo un lugar prioritario desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo. Constituyen entre el 30 y el 65 % de los residuos domiciliarios, según lugar y clima, más del 85% de los residuos considerados agrícolas y un porcentaje no despreciable de residuos industriales, fundamentalmente vinculados a las agroindustrias.

Dar una respuesta a los residuos agrícolas, significa reducir sustancialmente el volumen de lo que consideramos residuos, la fracción orgánica de los mismos será materia prima de los procesos de compostaje.

El compost es un material al que se llega por biotecnologías de bajo coste, que nos permite mantener la materia orgánica dentro del ciclo natural, no incinerándola ni "ensilándola", con difícil y cara recuperación, como sería el caso de los rellenos sanitarios.
Es un mejorador de suelos, sumamente útil en el combate a la erosión, en la mejora de los cultivos en cuanto a cantidad y calidad de los mismos. Su producción trae beneficios directos e indirectos si consideramos los beneficios en la producción, la mano de obra que ocupa su procesamiento, las posibilidades de obtener producciones ambientalmente sanas, la disminución de materia a eliminar y su valor como elemento formativo ambiental.

En última instancia, el compost podemos considerarlo como un bien "ambiental - social": por los beneficios ambientales que vimos, a los que debemos sumar que disminuye la cantidad de agroquímicos requeridos por los cultivos donde es aplicado y al considerar que devolvemos a la sociedad un bien que fue generado por ella, evitando el agotamiento del humus y tierras productivas.

Como desarrollaremos durante la obra, es sumamente importante la materia prima, los residuos, de los que partimos para obtener el compost.

Podemos partir de residuos mezclados, haciendo su clasificación en una planta de producción o podemos hacer su separación en la fuente de generación. No hay recetas universales, cada uno debe hacer sus estudios de posibilidades, factibilidad técnica, económica y ambiental para tomar sus decisiones.

De cualquier manera, en el caso de residuos domiciliarios, para el que le convenga separarlos en origen le recomendamos la experiencia obtenida por Brian Matthews en el Condado de Alameda (EEUU), donde exitosamente aplicaron la simplicidad: W & D (wet and dry) o sea la separación en húmedo y seco. Este procedimiento es conciso y claro evitando confusiones por parte de quienes deben aplicarlo.

Tratamos de volcar nuestra experiencia práctica de más de doce años de trabajo continuo en gestión de residuos e investigación en el mismo campo: desde el punto de vista biotecnológico teórico y aplicado, y también considerando los aspectos operativos tanto de la producción de compost como de las fases anteriores de la gestión global de la basura.
En definitiva, el compost puede ser una respuesta coherente para la minimización de los residuos dentro de la fracción de los mismos más difícil de reducir, porque su generación corresponde usualmente a necesidades primarias de alimentación.

Esperamos que nuestro trabajo les resulte claro y útil, para que entre todos, asumiendo cada uno su responsabilidad podamos mejorar nuestro entorno.

CAPÍTULO I
RESIDUOS ORGÁNICOS: FUENTES Y ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

DEFINICIONES

A esta altura de la civilización en que vivimos, inmersos en nuestra sociedad de consumo, resulta complejo realizar una definición clara y sencilla de lo que se entiende por Residuo o Desecho, términos frecuentemente utilizados como sinónimos. Si bien se citarán las definiciones de algunos autores, una breve reflexión sobre estos términos clarificará la base conceptual sobre la que desarrollará este capítulo.

En función de los recursos disponibles, los “desechos”, son materiales fuera de lugar y desde el punto de vista económico son el producto del uso ineficiente de los recursos en la producción de bienes y servicios demandados por la sociedad (Instituto Mexicano de Tecnologías Apropiadas, 1982).

La OCDE, define a los residuos como aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo que no alcanzan en el contexto que son producidas ningún valor económico; ello puede ser debido tanto a la falta de tecnología adecuada para su aprovechamiento como a la inexistencia de un mercado para los productos recuperados.

Según la CEE (Directiva 75//442) residuo es cualquier sustancia u objeto del cual se desprenda su poseedor o tenga la obligación de desprenderse en virtud de las disposiciones vigentes.

En su acepción más sencilla y en general los residuos son partes que quedan de un todo, de un cuerpo, luego que han sufrido un proceso de transformación natural o artificial que puede modificar o no sus características físico-químicas y estructurales iniciales. En términos estrictamente físicos, los residuos son consecuencia de la transformación de la materia y la energía (Pravia, M.A., Sztern, D., 1996).

En el caso específico de los residuos agrícolas Grundey, K., (1982), los define como todo aquel material sobrante o desperdiciable generado en un establecimiento agropecuario.

Los elementos químicos necesarios para el mantenimiento de la vida, se encuentran en nuestro planeta en una cantidad limitada. Dado que no existen fuentes exteriores que aporten dichos elementos, la continuación de la vida solo es posible si en la naturaleza se cumple el recambio cíclico de estos elementos. Bajo este enfoque, el término residuo no parece pertenecer a ningún ciclo natural. (Pravia, M.A., 1995).

Basados en estas consideraciones preliminares se podría definir un residuo como un recurso fuera de las coordenadas espacio-tiempo de interés inmediato para el Universo Antrópico (Pravia, M. A. 1996)

CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS

La clasificación de los residuos, admite varios enfoques y la consideración de distintos parámetros. El criterio aplicable para la clasificación estará sujeto a los objetivos planteados. Para la clasificación, se consideran entre otros parámetros: origen o actividad emisora, toxicidad y peligrosidad, tamaño, naturaleza química de los materiales emisores, parámetros físico – químicos en general.

Toda clasificación tiende a simplificar la realidad y no abarca todos los caso posibles que se generan por la heterogeneidad en la composición de la naturaleza química e interrelaciones directas e indirectas de las actividades generadoras. Realizada esta aclaración, aplicaremos como criterio de clasificación, para los objetivos de este Manual, la naturaleza química de los materiales emisores y aquellas actividades que generan residuos con neto predominio de materiales orgánicos.

La clasificación por la *naturaleza química* permite establecer dos categorías de residuos: residuos *inorgánicos o abiógenos* y residuos *orgánicos o biógenos*

Residuos inorgánicos: incluye todos aquellos residuos de origen mineral y sustancias o compuestos sintetizados por el hombre. Dentro de esta categoría se incluyen habitualmente metales, plásticos, vidrios, etc. Desechos provenientes de agrotóxicos, agroquímicos, fitosanitarios y agroveterinarios, son en su mayoría de origen sintético y con un gran efecto residual. Si bien estos residuos requieren un análisis particular y no son objeto de este trabajo, debe considerarse que los mismos representan importantes insumos en los sectores productivos y su efecto residual puede modificar sustancialmente las características y propiedades de los residuos orgánicos.

Residuos orgánicos: se refiere a todos aquellos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales. Incluye una gran diversidad de residuos que se originan naturalmente durante el “ciclo vital”, como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento y perpetuación o son producto de la explotación por el hombre de los recursos bióticos.

El contenido de humedad es otro parámetro a considerar en los residuos orgánicos. La humedad varía de un pequeño porcentaje, como en el caso de residuos de cosechas, hasta un 90% en el caso de lodos, aguas negras y otros desechos líquidos. El contenido en humedad, puede llegar a condicionar, las alternativas de tratamiento.

FUENTES DE RESIDUOS ORGÁNICOS

- **Actividad agropecuaria**

En esta actividad, se generan una gran variedad de residuos de origen vegetal y animal. Los *residuos vegetales* están integrados por restos de cosechas y cultivos (tallos, fibras, cutículas, cáscaras, bagazos, rastrojos, restos de podas, frutas, etc., procedentes de diversas especies cultivadas. El contenido de humedad de este tipo de residuos es relativo dependiendo de varios factores. Características de las especies cultivadas, ciclo del cultivo, tiempo de exposición a los factores climáticos, manejo, condiciones de la disposición, etc. Entre los r*esiduos animales,* se incluyen excrementos sólidos y semisólidos (estiércoles) y líquidos purines. Desechos de faena, cadáveres, sobrantes de suero y leche, etc. Los estiércoles y purines son los residuos que presentan mayor interés por la concentración espacial que alcanzan en producciones como la lechera, suinicultura, avicultura, feed-lots, entre otros y por el impacto ambiental negativo que producen en la mayoría de los casos.

Estiércoles: es una descripción general de cualquier mezcla de heces, orines y desperdicios. La composición físico-química del estiércol varía de una producción agropecuaria a otra, dependiendo entre otros factores del tipo de ganado, de la dieta, y de las condiciones bajo las cuales se produce el estiércol. *Purines*: a diferencia de los estiércoles los purines tienen un alto contenido de agua, por lo que son manejados como líquidos.

- **Actividad agroindustrial**

Existe una gran diversidad de residuos generados en la actividad agroindustrial. Las características cuantitativas y cualitativas de los mismos dependen de numerosos factores, entre otros:

- características de las materias primas
- procesos de industrialización
- intensidad de la producción
- características de los productos obtenidos

Muchos residuos de las actividades agroindustriales son reutilizados a través de alternativas que se aplican desde hace ya algunos años, con menos o mayor grado de eficacia. Para otros residuos agroindustriales aún no existen alternativas de transformación en insumos útiles dentro de un marco económico viable.

- **Industria láctea**

Los residuos de mayor volumen generado corresponden a derivados del suero de manteca y de quesería. El suero de manteca tiene una composición similar a la leche descremada, con un contenido más alto de grasa y menor de lactosa. Resulta del batido de la crema y su posterior separación en suero y manteca. Este residuo ha sido ensayado en la alimentación animal, directamente o como complemento de raciones.

El suero de quesería no contiene caseína y presenta un bajo valor en lípidos y minerales, es la fracción líquida que se separa de la cuajada, siendo desechado prácticamente en su totalidad.

- **Industria frigorífica**

La faena de bovinos, ovinos y en menor grado de suinos y aves de corral, genera importantes volúmenes de residuos. Entre estos se destacan excretas, cueros, pieles vísceras, contenidos digestivos, pelos, plumas, sangre y huesos. Parte de la sangre de la faena es derivada a la industria de alimentos para animales. Es utilizada también para la fabricación de productos químicos y harina de sangre.

Algunas vísceras pueden ser empleadas en chacinerías o bien para la fabricación de harinas (harina de hígado y de carne). Otra alternativa que no ha tenido gran desarrollo es la producción de SVC (silo de vísceras, sangre y contenido ruminal).

Los huesos son empleados tradicionalmente para harinas, sales de ganado, entre otros usos industriales. Cueros, plumas, recortes de pelos y pieles, así como contenido ruminal y excreta son residuos para los que no se han propuesto alternativas válidas de aprovechamiento. Su tratamiento representa una dificultad para los establecimientos en cuestión, pudiendo generar problemas de carácter sanitario y ambiental.

- **Industria cerealera**

Arroz, trigo, maíz, sorgo, cebada, avena, leguminosas en grano son los principales cultivos industrializados. En cultivos e industrialización de cereales la generación de desechos: pajas, rastrojo y cáscaras (caso del arroz), igualan en cantidad a la producción de granos.

Muchos de estos residuos reúnen los requisitos para la producción de alimentos con destino al consumo humano o forrajes y piensos para animales. No obstante, para residuos del cultivo e industrialización del arroz, no se han desarrollado tecnologías sostenibles para resolver la problemática de los grandes volúmenes de emisión.

- **Industria Aceitera y Granos Oleaginosos**

Se procesan granos de girasol, soja, colza y lino. Los residuos generados son diversos: cáscara, fibras, efluentes líquidos, etc. En general son residuos que contienen 30 a 50% de proteína, 15 a 30% de celulosa y bajo contenido en agua. El residuo más conocido en esta industria es la “torta”, generado por la extracción de aceite a la que se someten los granos en la prensa hidráulica. Las tortas y harinas de extracción, así como otros derivados de la industria aceitera, contienen un importante valor proteico y energético.

- **Industria de la pesca**

Parte de los residuos generados en esta industria son utilizados para la producción de harina de pescado, que es usada en la fabricación de raciones para alimentación animal. El "ensilado" de pescado es una alternativa para el tratamiento de residuos o descartes de plantas que tiene amplias posibilidades de desarrollo, ya que no requiere maquinaria ni instalaciones especiales. Es un proceso mediado por microorganismos que permite obtener un alimento para consumo animal con niveles vitamínicos altos, que hasta el momento no ha tenido una gran difusión.

- **Industria forestal**

Es una agroindustria en franco desarrollo, que genera volúmenes muy importantes de residuos (corteza, costaneros, serrines, etc.). Los residuos representan aproximadamente un 40 a 50% de la materia bruta. Las alternativas de aprovechamiento que se han implantado hasta el momento están enfocadas a la recuperación energética de estos residuos.

- **Residuos sólidos urbanos (R.S.U)**

La denominación Residuos Sólidos Urbanos hace referencia, en términos generales, a los residuos generados por cualquier actividad en los centros urbanos y en sus zonas de influencia. No obstante, nos ocuparemos brevemente, sólo de aquellos residuos urbanos donde el componente orgánico predomina, estos son: residuos sólidos domiciliarios, residuos provenientes de la limpieza y barrido de áreas públicas, residuos del mantenimiento de arbolado, áreas verdes, recreativas públicas y privadas.

Residuos sólidos domiciliarios

Son todos aquellos residuos sólidos generados en las actividades que se realizan en un domicilio particular. Varios aspectos caracterizan entre otros estos residuos:

- *regularidad en la emisión*: se producen diariamente, sin discontinuidad.
- *incremento en la emisión*: en pocos años, se ha pasado en Uruguay por ejemplo, de una media de 0,6 kg./habitante /día a valores que oscilan entre 0,7-0,9 kg./habitante/día, tendencia que sigue en aumento.
- *heterogeneidad en su composición*: son una mezcla de desechos de origen orgánico o biótico e inorgánico o abiótico, sujeta a variaciones de tipo estacional y zonal.
- *concentración espacial*: una vez efectuada la recolección, los residuos domiciliarios son trasladados a un sitio donde se realiza la disposición final de los mismos.

El componente orgánico de los residuos domiciliarios es la fracción predominante. Su porcentaje en peso puede variar entre un 55 a 70% del peso total, el resto corresponde a residuos abióticos.

Dentro de esta fracción orgánica, en términos generales predominan los desechos de origen vegetal. La relación residuos vegetales/animales está sujeta a variaciones de tipo estacional muy marcadas en algunas regiones.
Si bien los Residuos Sólidos Domiciliarios representan cuantitativamente una fuente muy importante de materia orgánica, la separación de esta fracción libre de restos inorgánicos ofrece dificultades lo que encarece los costos de recuperación.

Residuos de limpieza, barrido y mantenimiento

A excepción, de los desechos del mantenimiento del arbolado público (podas) que son zafrales, el resto de los residuos de la limpieza, barrido y mantenimiento de áreas publicas, son de emisión regular. En este tipo de residuos urbanos, representan una fuente de materia orgánica los provenientes del mantenimiento del arbolado, áreas verdes, limpieza de ferias vecinales y mercados hortifrutícolas.

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS

La recuperación, reutilización y/o transformación de los residuos en insumos útiles a los sectores productivos es una opción con posibilidades, en la medida que las alternativas surjan como consecuencia de un diagnóstico objetivo de la problemática ambiental de cada sector. Las alternativas seleccionadas, deben ser adecuadas técnicamente a las características locales, viables económicamente y sustentables ecológicamente. Sobre estas bases es posible validar, adecuar y promover tecnologías de alternativa que representen una solución efectiva y ajustada a cada realidad.

Las alternativas que se han manejado con mayor o menor resultado para la reutilización y/o reconversión han sido:

- los residuos como fuente de alimento animal
- los residuos como fuente energética
- Los residuos orgánicos como fuente abonos

En este capítulo haremos una breve reseña, de los residuos como fuente de alimento animal y los residuos como fuente de energía,

- **Los residuos como fuente de alimento animal**

La utilización de los residuos orgánicos de la actividad agropecuaria como fuente de alimento animal, así como la aplicación directa en el suelo de los mismos como abonos, son quizás las alternativas de reutilización de mayor data histórica. La actividad agroindustrial genera una gran cantidad y diversidad de residuos susceptibles de ser transformados en forrajes y piensos para animales.

Algunos residuos de la industria de frutas y legumbres, cerealera, láctea y azucarera pueden ser utilizados en forma directa como alimento animal. Otros, como es el caso de la *melaza* se emplea para la preparación de ensilados. Muchos desechos de la industria frigorífica e industria del pescado, son la materia prima para la producción de componentes de raciones por citar algunos ejemplos: harinas de sangre, hígado, hueso pescado, S.V.C. (silo de vísceras, sangre y contenido ruminal), ensilado de pescado, etc.

- **Los Residuos como fuente de Energía**

Los restos de origen biógeno presentan una composición que se caracteriza por el predominio de macromoléculas orgánicas con un alto potencial energético almacenado como energía química de enlace. Si artificialmente degradamos estas macromoléculas rompiendo estos enlaces, es posible liberar la energía química de enlace. A los recursos de origen biógeno como fuente de energía se le denomina Biomasa, definiendo a esta con fines energéticos como la masa de material biológico que es soporte de dicha energía.

Cals Coelho, 1984, establece dos categorías de biomasa como fuentes energéticas: *Fuentes Primarias y Fuentes Secundarias.*

Fuentes Primarias: Es aquella biomasa cuya utilidad es la producción energética y que no constituye residuo de alguna actividad agroindustrial o utilización humana.
Fuentes secundarias: Biomasa que siendo subproducto de una primera utilización, es susceptible de ser sometida a una conversión energética adecuada.

En segundo término es necesario contar con los procedimientos técnicos que permitan la transformación de la energía contenida en la biomasa en formas de energía compatible con los equipamientos existentes, diseñados para el consumo de combustibles derivados de hidrocarburos. La extracción de la energía de enlace químico contenida en la biomasa se puede realizar por diversos procedimientos técnicos. Stout (1980), clasifica estos procedimientos en dos grandes grupos: *procedimientos por vía seca y por vía húmeda.*

Procedimientos por vía seca: Procesos físico-químicos basados en la transformación de los materiales a altas temperaturas: combustión directa, carbonización, pirólisis, gasificación.

Procedimientos por vía húmeda: Procesos bioquímicos en el medio acuoso mediados por microorganismos. En este grupo se destacan la biodigestión anaerobia y la fermentación alcohólica.

Biodigestión anaerobia: se puede definir a grandes rasgos como un proceso mesófilo, de degradación anaerobia de la materia orgánica con la obtención final de una mezcla gaseosa conocida como biogás. Este contiene aproximadamente entre un 50 a 60% de gas metano y un 30% de dióxido de carbono. Además se obtiene un lodo residual con valor de fertilizante enriquecido y un sobrenadante rico en nutrientes. Los residuos orgánicos solubilizados son descompuestos por Clostrideum y otros anaerobios fermentados, con la formación de anhídrido carbónico, hidrógeno molecular, amoníaco, ácidos orgánicos y alcoholes. Esta etapa se denomina acidogénesis.

Las bacterias reductoras de sulfato, oxidan anaerobicamente el hidrógeno molecular y algunos productos de la fermentación con la formación de sulfuro de hidrógeno y acetato. La etapa conocida como fase de metanogénesis es medida por organismos cuyo metabolismo energético al igual que los reductores de sulfato son la respiración anaeróbica. Las bacterias metanogénicas utilizan como aceptor final de electrones el anhídrido carbónico y cierta cantidad de carbono orgánico (por ejemplo el grupo metilo del

ácido acético) para la oxidación anaeróbica del hidrógeno molecular y algunos productos orgánicos de la fermentación, con la producción predominante de gas metano.

Fermentación alcohólica: es un proceso bioquímico mediado por levaduras que degradan los azúcares fermentables. El producto final de la fermentación es el etanol, que es extraído por destilación fraccionada. Teoricamente los residuos de origen vegetal por su constitución química con neto predominio de poliglicanos son susceptibles de ser fermentados para la obtención de alcohol etílico o etanol. Industrialmente el etanol se obtiene a partir de caña de azúcar, sorgo sacarígeno, remolacha, etc. El etanol como combustible, puede utilizarse como sustituto de la gasolina o en mezclas de alcohol-nafta (hasta un 20% de alcohol), sin requerir adaptaciones en los motores. En esta mezcla se eleva el octanaje, con lo que se reduce en gran parte el agregado de compuestos de plomo altamente contaminantes.

- **Los residuos orgánicos como materia prima para la producción de abonos orgánicos**

Parece oportuno en este capítulo, discutir algunas definiciones referentes a lo que se entiende por abonos, bioabonos o biofertilizantes. Entendemos genéricamente por *abonos* todas aquellas sustancias o compuestos de origen abiógeno o biógeno que presentan alguna propiedad positiva para los suelos y cultivos.

Por *abonos mineral*es se entienden sustancias o compuestos químicos que pueden pertenecer al campo de la química inorgánica u orgánica. Son inorgánicos todos los abonos potásicos y fosfatados; entre los nitrogenados, algunos, como la urea y el amoníaco, pertenecen a la química orgánica.

Por contraposición, los *abonos orgánicos o bioabonos*, son aquellas sustancias o compuestos de origen biógeno vegetal o animal que pertenecen al campo de la química orgánica, y que son en general incorporados directamente al suelo sin tratamientos previos. La aplicación de estiércoles y purines es una práctica tradicional de abonado orgánico. En esta categoría se puede incluir los *abonos verdes*. Si bien potencialmente, la incorporación al suelo de residuos orgánicos puede llegar a tener algún efecto beneficioso sobre la estructura y fertilidad de los suelos, no en todos los casos esto se cumple e inclusive el efecto puede ser perjudicial. Cuando incorporamos residuos orgánicos frescos o en proceso incipiente de biodegradación al suelo, el orden natural, conlleva a que se cumplan los procesos de mineralización. Es frecuente, que para que esta serie de procesos se cumplan, se produzca un alto consumo de oxígeno e inclusive si los materiales aportados no tienen una buena relación carbono/nitrógeno se agoten inicialmente las reservas de nitrógeno del suelo. En algunos casos, se terminan favoreciendo los procesos anaerobios, con la consiguiente acidificación, movilización y pérdidas de nutrientes. En resumen, los procesos de estas prácticas son incontrolables por lo que los resultados finales quedan en muchos casos librados al azar.

Parece entonces razonable, que para aprovechar el potencial que los desechos orgánicos tienen como abonos, estos deben pasar por un proceso previo antes de su integración al suelo, de forma tal que, el material que definitivamente se aporte, haya transcurrido por los procesos más enérgicos de la mineralización, se presente desde el punto de vista de la

biodegradación de la forma más estable posible, y con los macro y micro nutrientes en las formas más asimilables posibles para los productores primarios.

Unas de las técnicas que permite esta biodegradación controlada de la materia orgánica previa a su integración al suelo es el *Compostaje* y el producto final es conocido como *Compost* . Por una razón práctica, a los efectos de este Manual, utilizaremos el término *biofertilizantes* para referirnos a aquellos *abonos orgánicos* que son producidos a partir de desechos orgánicos, por la aplicación de alguna *biotécnica*.

CAPITULO II
LA ELABORACIÓN DEL COMPOST

CONSIDERACIONES PREVIAS

La práctica del compostaje deriva probablemente del tradicional cúmulo de residuos en el medio rural, que se generaba en las tareas de limpieza y mantenimiento de viviendas e instalaciones. Los desechos de las actividades de granja, agropecuarias y domiciliarias se acopiaban por un tiempo a la intemperie con el objetivo de que redujeran su tamaño para luego ser esparcidos empleándolos como abonos.

Como hemos mencionado en capítulos anteriores, en la naturaleza se produce de forma lenta pero continua el recambio cíclico de la materia y en términos generales a esta serie de procesos se le denomina *mineralización*. Cuando nos proponemos poner en marcha una técnica de compostaje, no estamos más que tratando de reproducir en forma parcial y a escala los procesos de la mineralización de la naturaleza.

Con el desarrollo de la microbiología y fundamentalmente a partir de los trabajos de Sergius Winoggradsky (1856-1953) y Martinus Willem Beijerinck (1851-1931) fue posible establecer el papel fundamental que desempeñan los microorganismos como agentes geoquímicos, en los ciclos biológicamente importantes de transformación de la materia en la bioesfera. Estos conocimientos, permitieron abordar la práctica tradicional del compostaje con una base científica, instrumentando procedimientos y técnicas que permiten mayoritariamente el control del proceso en su conjunto.

DEFINICIONES

En términos generales el Compostaje se puede definir como una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica. Como hemos visto en capítulos anteriores, la biodegradación es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición. La consecuencia final de estas actividades vitales es la transformación de los materiales orgánicos originales en otras formas químicas. Los productos finales de esta degradación dependerán de los tipos de metabolismo y de los grupos fisiológicos que hayan intervenido. Es por estas razones, que los controles que se puedan ejercer, siempre estarán enfocados a favorecer el predominio de determinados metabolismos y en consecuencia a determinados grupos fisiológicos.

En una pila de material en compostaje, si bien se dan procesos de fermentación en determinadas etapas y bajo ciertas condiciones, lo deseable es que prevalezcan los metabolismos respiratorios de tipo aerobio, tratando de minimizar los procesos fermentativos y las respiraciones anaerobias, ya que los productos finales de este tipo de metabolismo no son adecuados para su aplicación agronómica y conducen a la pérdida de nutrientes.

Lo importante no es biodegradar, sino poder conducir esta biodegradación por rutas metabólicas, que nos permitan la obtención de un producto final lo más apropiado posible, en el menor tiempo posible. El éxito de un proceso de compostaje, dependerá entonces de aplicar los conocimientos de la microbiología, manejando la pila de compost como un medio de cultivo.

A lo largo de la historia, se han empleado distintos procedimientos en la producción de Compost que han generado numerosas publicaciones de divulgación con diferentes enfoques, posiblemente debido al desconocimiento de los mecanismos íntimos del proceso. Actualmente, se conoce la base científica de este proceso, y se lleva a cabo de una forma controlada. En tal sentido, el compostaje, se puede definir como un proceso dirigido y controlado de mineralización y pre-humificación de la materia orgánica, a través de un conjunto de técnicas que permiten el manejo de las variables del proceso; y que tienen como objetivo la obtención de un biofertilizante de características físico-químicas, biológicas y microbiológicas predeterminadas, conocido como Compost. A este proceso controlado de compostaje los denominamos *Compostaje aerotérmico o termoaeróbico* para diferenciarlo de las técnicas tradicionales.

COMPOSTAJE AERÓBICO: descripción general del proceso

Se caracteriza por el predominio de los metabolismos respiratorios aerobios y por la alternancia de etapas mesotérmicas (10-40ºC) con etapas termogénicas (40-75ºC), y con la participación de microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente. Las elevadas temperaturas alcanzadas, son consecuencia de la relación superficie/volumen de las pilas o camellones y de la actividad metabólica de los diferentes grupos fisiológicos participantes en el proceso. Durante la evolución del proceso se produce una sucesión natural de poblaciones de microorganismos que difieren en sus características nutricionales (quimioheterotrofos y quimioautotrofos), entre los que se establecen efectos sintróficos y nutrición cruzada.

Debemos distinguir en una pila o camellón dos regiones o zonas:

- la zona central o núcleo de compostaje, que es la que está sujeta a los cambios térmicos más evidentes, y
- la corteza o zona cortical que es la zona que rodea al núcleo y cuyo espesor dependerá de la compactación y textura de los materiales utilizados.

El núcleo actúa como zona inductora sobre la corteza. No obstante, todos los procesos que se dan en el núcleo, no alcanzan la totalidad del volumen de la corteza. A los efectos prácticos y utilizando como criterio las temperaturas alcanzadas en el núcleo, podemos diferenciar las siguientes etapas:

Etapa de latencia: es la etapa inicial, considerada desde la conformación de la pila hasta que se constatan incrementos de temperatura, con respecto a la temperatura del material inicial. Esta etapa, es notoria cuando el material ingresa fresco al compostaje. Si el material tiene ya un tiempo de acopio puede pasar inadvertida. La duración de esta etapa es muy variable, dependiendo de numerosos factores.
Si son correctos: el balance C/N, el pH y la concentración parcial de Oxígeno, entonces la temperatura ambiente y fundamentalmente la carga de biomasa microbiana que contiene

el material, son los dos factores que definen la duración de esta etapa. Con temperatura ambiente entre los 10 y 12 ºC, en pilas adecuadamente conformadas, esta etapa puede durar de 24 a 72 hs.

Etapa mesotérmica 1 (10-40ºC): en esta etapa, se destacan las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila, en concomitancia con oxidaciones aeróbicas (respiración aeróbica). Mientras se mantienen las condiciones de aerobiosis actúan Euactinomicetos (aerobios estrictos), de importancia por su capacidad de producir antibióticos. Se dan también procesos de nitrificación y oxidación de compuestos reducidos de Azufre, Fósforo, etc. La participación de hongos se da al inicio de esta etapa y al final del proceso, en áreas muy específicas de los camellones de compostaje. La etapa mesotérmica es particularmente sensible al binomio óptimo humedad-aireación. La actividad metabólica incrementa paulatinamente la temperatura. La falta de disipación del calor produce un incremento aún mayor y favorece el desarrollo de la microflora termófila que se encuentra en estado latente en los residuos. La duración de esta etapa es variable, depende también de numerosos factores.

Etapa termogénica (40-75ºC): la microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de Bacilos y Actinomicetos termófilos, entre los que también se establecen relaciones del tipo sintróficas. *Normalmente en esta etapa, se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables*. Si la compactación y ventilación son adecuadas, se producen visibles emanaciones de vapor de agua. El CO_2 se produce en volúmenes importantes que difunden desde el núcleo a la corteza. Este gas, juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos. La corteza y más en aquellos materiales ricos en proteínas, es una zona donde se produce la puesta de insectos. La concentración de CO_2 alcanzada resulta letal para las larvas. Conforme el ambiente se hace totalmente anaerobio, los grupos termófilos intervinientes, entran en fase de muerte. Como esta etapa es de gran interés para la higienización del material, es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes.

Etapa mesotérmica 2: con el agotamiento de los nutrientes, y la desaparición de los termófilos, comienza el descenso de la temperatura. Cuando la misma se sitúa aproximadamente a temperaturas iguales o inferiores a los 40ºC se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizarán como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y lignina restante en las parvas. Esta etapa se la conoce generalmente como etapa de maduración. Su duración depende de numerosos factores. La temperatura descenderá paulatinamente hasta presentarse en valores muy cercanos a la temperatura ambiente. En estos momentos se dice que el material se presenta estable biologicamente y se da por culminado el proceso.

Las etapas mencionadas, no se cumplen en la totalidad de la masa en compostaje, es necesario, remover las pilas de material en proceso, de forma tal que el material que se presenta en la corteza, pase a formar parte del núcleo. Estas remociones y reconformaciones de las pilas se realizan en momentos puntuales del proceso, y permiten además airear el material, lo que provoca que la secuencia de etapas descripta se presenta por lo general más de una vez.

Desde el punto de vista microbiológico la finalización del proceso de compostaje se tipifica por la ausencia de actividad metabólica. Las poblaciones microbianas se presentan en fase

de muerte por agotamiento de nutrientes. Con frecuencia la muerte celular no va acompañada de lisis. La biomasa puede permanecer constante por un cierto período aún cuando la gran mayoría de la población se haya hecho no viable.
Las características descritas, corresponden a un compost en condición de estabilidad. Esta condición se diagnostica a través de diversos parámetros. Algunos de ellos, se pueden determinar en campo (temperatura, color, olor), otras determinaciones se deben realizan en laboratorio.

Algunos Parámetros de control de estabilidad del Compost

Temperatura	Estable
Color	Marrón oscuro-negro ceniza
Olor	sin olor desagradable
PH	alcalino (anaerobic. ,55ºC,24 hs)
C/N	> =20
Nºde termófilos	decreciente a estable
Respiración	0 < 10 mg/g compost
Media	0 < 7.5 mg/compost
COD	< 700 mg/g (peso seco)
ATP	decreciendo a estable
CEC	> 60 meq./100 libre de cenizas
Actividad de enzimas hidrosolubles	Incrementándose-estable
Polisacáridos	< 30-50 mg glucidos/g. peso seco
Reducción de azucares	35%
Germinación	< 8
Nemmatodes	Ausentes

SISTEMAS DE COMPOSTAJE

Existen varios sistemas de compostaje, no obstante, el objetivo de todos es además de transformar los residuos en Compost, conseguir las condiciones consideradas letales para patógenos, parásitos y elementos germinativos (semillas, esporas).

- **Sistema en Camellones o Parvas**

Parvas, camellones o pilas es la denominación que se le da a la masa de residuos en compostaje cuando la misma presenta una morfología y dimensiones determinadas. A los sistemas donde se procesa el material mediante la conformación de estas estructuras se le denomina *Sistema en Parvas o Camellones*.

De acuerdo al método de aireación utilizado, este sistema se subdivide además en:

Sistema en Parvas o Camellones Móviles, cuando la aireación y homogeneización se realiza por remoción y reconformación de las parvas y *Sistema de Camellones o Parvas Estáticas* cuando la aireación se realiza mediante instalaciones fijas, en las áreas o canchas de compostaje (métodos Beltsville y Rutgers), que permiten realizar una aireación forzada sin necesidad de movilizar las parvas.

- **Sistema en Reactores**

Otros procesos de compostaje, no se basan en la conformación de parvas Los residuos orgánicos son procesados en instalaciones que pueden ser estáticas o dinámicas, que se conocen como *Reactores*. Básicamente los reactores, son estructuras por lo general metálicas: cilíndricas o rectangulares, donde se mantienen controlados determinados parámetros (humedad, aireación), procurando que los mismos permanezcan en forma relativamente constante. Los reactores móviles además, posibilitan la mezcla continua de los desechos mediante dispositivos mecánicos, con lo que se logra un proceso homogéneo en toda la masa en compostaje.

Este tipo de sistemas, permite acelerar las etapas iniciales del proceso, denominadas incorrectamente “fermentación”. Finalizadas estas etapas activas biologicamente, el material es retirado del reactor y acopiado para que se cumpla la “maduración”. Los sistemas de compostaje en reactores son siempre sistemas industriales. Se aplican en aquellas situaciones donde diariamente se reciben volúmenes importantes de desechos, y para los cuales sería necesario disponer de superficies muy extensas. Tal es el caso de las grandes plantas de triaje y selección de Residuos Sólidos Domiciliarios (R.S.U.), donde a partir de la fracción orgánica recuperada de este tipo de residuos se produce compost en forma industrial.

CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS A COMPOSTAR

Describiremos aquellas características que consideramos relevantes de los residuos, y que inciden en forma directa en la evolución del proceso y en la calidad del producto final.

- **Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)**

La relación C/N, expresa las unidades de Carbono por unidades de Nitrógeno que contiene un material. El Carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el Nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorecerá un buen crecimiento y reproducción.

Una relación C/N óptima de entrada, es decir de material "crudo o fresco" a compostar es de 25 unidades de Carbono por una unidad de Nitrógeno, es decir C(25)/N (1) = 25.

En términos generales, una relación C/N inicial de 20 a 30 se considera como adecuada para iniciar un proceso de compostaje. Si la relación C/N está en el orden de 10 nos indica que el material tiene relativamente más Nitrógeno. Si la relación es de por ejemplo 40, manifiesta que el material tiene relativamente más Carbono.

Un material que presente una C/N superior a 30, requerirá para su biodegradación un mayor número de generaciones de microorganismos, y el tiempo necesario para alcanzar una relación C/N final entre 12-15 (considerada apropiada para uso agronómico) será mayor. Si el cociente entre estos dos elementos es inferior a 20 se producirán pérdidas importantes de nitrógeno. Los residuos de origen vegetal, presentan por lo general una relación C/N elevada. Las plantas y montes, contienen más nitrógeno cuando son jóvenes y menos en su madurez. Los residuos de origen animal presentan por lo general una baja relación C/N. Existen tablas, donde es posible obtener las relaciones de estos elementos para diferentes tipos de residuos. A título orientativo, adjuntamos la siguiente tabla. Si se desconocen estas relaciones en el material a compostar, lo aconsejable es realizar en un laboratorio las determinaciones correspondientes.

Base Seca			
MATERIALES	**C%**	**N%**	**C/N**
Aserrines	40	0.1	400
Podas, tallos, maíz	45	0.3	150
Paja de caña	40	0.5	80
Hojas de árboles	40	1	40
Estiércol de equino	15	0.5	30
Estiércol ovino	16	0.8	20
Heno	40	2	20
Estiércol bovino	7	0.5	15
Estiércol suino	8	0,7	12
Estiércol de gallina	15	1.5	10
Harina de sangre	35	15	2

Puede suceder que el material que dispongamos no presente una relación C/N inicial apropiada para su compostaje. En este caso, debemos proceder a realizar una mezcla con otros materiales para lograr una relación apropiada. Este procedimiento se conoce como *Balance de Nutrientes*. A título de ejemplo, supongamos que disponemos de aserrín y excreta bovina, un balance adecuado se lograría mezclando 3 partes de excreta bovina con una parte de aserrín, obteniendo una relación C/N de entrada de aproximadamente 20. Cuando nos referimos a partes, las mismas pueden estar representadas por unidades ponderales (Kg, Ton) o Volumétricas (lts, m^3). Desde el punto de vista práctico es aconsejable manejarse con medidas volumétricas por ej. m^3. Para este ejemplo, mezclaríamos 3 m^3 de excreta con 1 m^3 de aserrín.

Con respecto al Balance de Nutrientes podemos sacar las siguientes reglas básicas:

1. Utilizando materiales con una buena relación C/N, no es necesario realizar mezclas.

2. Los materiales con relativo alto contenido en Carbono deben mezclarse con materiales con relativo alto contenido en Nitrógeno y viceversa.

- **Estructura y Tamaño de lo Residuos**

Numerosos materiales pierden rápidamente su estructura física cuando ingresan al proceso de compostaje (por ej.: excretas), otros no obstante son muy resistentes a los cambios, tal es el caso de materiales leñosos y fibras vegetales en general. En este caso la superficie de contacto entre el microorganismo y los desechos es pobre, no olvide el carácter osmótrofo de la gran mayoría de las bacterias.

Cuando se presenta una situación de este tipo, por ejemplo disponemos de restos de podas de pequeño diámetro, debemos mezclar estos residuos con otros de diferente estabilidad estructural, de forma tal que aumente la superficie de contacto. Una opción sería la mezcla de estos restos de poda con excretas en proporciones tales que aseguremos una buena relación C/N de entrada.

Ante el caso de no disponer, de excretas u otro material de diferente estructura física, debemos recurrir al procesamiento del mismo, para lograr un tamaño adecuado y un proceso rápido. Las alternativas para este tipo de materiales leñosos y de gran tamaño es la utilización de trituradoras o chipeadoras. Para un diámetro medio máximo de partículas de 20 mm resulta un incremento significativo de la biodisponibilidad y del tiempo de compostaje cuando se compara con partículas mayores a 80 mm, por lo que el tamaño indicado de 20 mm a 10 mm es aconsejable para este tipo de materiales.

Trituraciones, chipeados y posteriores moliendas donde se obtengan diámetros inferiores a aproximadamente 3 mm, no son aconsejables, ya que la acumulación de materiales con estos diámetros tienden a compactarse en los asentamientos de las parvas, con lo que disminuye en forma importante la capacidad de intercambio gaseoso.

No debe confundirse lo antedicho con la vieja usanza de pasar por molino los residuos sólidos urbanos en "crudo", pretendiendo luego procesarlo como compost, lo cual está totalmente contraindicado. Se obtenía un producto con alto contenido de impurezas inorgánicas que dificultaban su aplicación y convertían en peligrosa su manipulación por la presencia de vidrios y metales. Aun hoy, en algunos lugares de España, los campesinos dicen "si la tierra brilla después del compost, no sirve", por la presencia de vidrio molido que alteraba sus propiedades.

- **Humedad**

El contenido en humedad de los desechos orgánicos crudos es muy variable, tal es el caso de la excretas y estiércoles, donde el contenido en humedad está intimamente relacionado con la dieta. Si la humedad inicial de los residuos crudos es superior a un 50 %, necesariamente debemos buscar la forma de que el material pierda humedad, antes de conformar las pilas o camellones.

Este procedimiento, podemos realizarlo extendiendo el material en capas delgadas para que pierda humedad por evaporación natural, o bien mezclándolo con materiales secos, procurando mantener siempre una adecuada relación C/N.

La humedad idónea para una biodegradación con franco predominio de la respiración aeróbica, se sitúa en el orden del 15 al 35 % (del 40 al 60 %, sí se puede mantener una buena aireación). Humedades superiores a los valores indicados producirían un desplazamiento del aire entre las partículas de la materia orgánica, con lo que el medio se

volvería anaerobio, favoreciendo los metabolismos fermentativos y las respiraciones anaeróbicas. Si la humedad se sitúa en valores inferiores al 10%, desciende la actividad biológica general y el proceso se vuelve extremadamente lento.

El carácter osmótrofo de la gran mayoría de grupos fisiológicos, implica que con humedades inferiores al 20%, las poblaciones pasen a fases estacionarias o en condiciones extremas a fase de muerte, retardando o deteniendo el proceso de compostaje. La humedad adecuada para cada etapa, depende de la naturaleza, compactación y textura de los materiales de la pila. Los materiales fibrosos y finos retienen mayor humedad y aumentan la superficie específica de contacto.

- **El pH**

Como hemos visto en el Capítulo 1, el rango de pH tolerado por las bacterias en general es relativamente amplio, existen grupos fisiológicos adaptados a valores extremos. No obstante pH cercano al neutro (pH 6,5-7,5, ligeramente ácido o ligeramente alcalino nos asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores de pH inferiores a 5,5 (ácidos) inhiben el crecimiento de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores superiores a 8 (alcalinos) también son agentes inhibidores del crecimiento, haciendo precipitar nutrientes esenciales del medio, de forma que no son asequibles para los microorganismos. Durante el proceso de compostaje se produce una secesión natural del pH, que es necesaria para el proceso y que es acompañada por una sucesión de grupos fisiológicos.

No es habitual que nos enfrentemos a desechos orgánicos agrícolas que presenten un pH muy desplazado del neutro (pH= 7). Puede ser el caso de algunos residuos provenientes de actividades agroindustriales. Este tipo de residuos, se caracteriza por su estabilidad (resistencia a la biodegradación), y en general se trata de desechos con pH marcadamente ácido. De presentarse una situación de este tipo, debemos proceder a determinar el valor del pH y posteriormente realizar una neutralización mediante la adición de Piedra Caliza, Calcáreo o Carbonato de Calcio de uso agronómico.

DATOS DE ANALISIS DE RESIDUOS COMPOSTADOS *Lic. Miguel Angel Pravia*

						total %						total ppm		
AÑO	**TIPO DE RESIDUOS**	**Tc/días**	**C/N**	**pH**	**M.O.%**	**N**	**P**	**Ca**	**K**	**Mg**	**Na**	**Fe**	**Mn**	**Zn**
	AGROPECUARIOS													
1989	Excreta bovina	85	16	7,3	35	1,7	0,87	2,5	1,3	0,98	0,17	2300	277	346
1989	Excreta ovina	80-85	15	7,7	33	1,8	1	2,1	0,98	0,9	0,16	2212	280	325
1990	Excreta equina	80	15	7,8	32	1,6	0,9	2,8	1	0,97	0,16	2170	275	333
1991	Estiércol de gallina	80	11	6,7	35	1,9	1,2	3,4	1,2	0,7	0,09	2200	266	360
	MEZCLAS													
1990	Excretas suinas 30% + aserrín 70%	80	18	7,8	40	2	1,8	2,4	1,5	0,9	0,21	2165	221	292
1992	Estiércol de gallina 40% + cascara de arroz	110	17	6,8	42	1,5	1,7	2,2	1	1,2	0,33	2285	266	332
1992	Cama de aves (Excreta de pollos 15% + resto de ración 3% +													
	cáscara de arroz 82 %)	90	17	8	41	1,7	0,9	2,3	1,3	1	0,19	2180	270	273
1992	Restos de podas (añosas –chipeadas) *Plátano spp.*	120	21	7,1	39	1,2	0,82	1,34	0,9	0,81	0,08	1820	255	203
1992	Restos de podas (jóvenes-chipeadas) *Plátano spp.*	100	19	7,4	37	1,6	0,9	1,22	0,87	0,93	0.1	1924	247	221
1992	Restos de podas (jóvenes-chipeadas) mezlca de varias especies	120	20	7,3	35	1,54	1,1	1,03	0,7	0,91	0,18	1872	251	231
1992	Restos de podas (con técnicas de bioaumentación)	90	17	7,7	36	1,6	1,02	1	0,9	0,88	0,19	1770	235	222
1994	Cascaras y hojas de cambúr (plátano) (Venezuela)	85	18	7,6	42	1,3	1,2	1,7	1,5	1,3	1	1882	277	301
	AGROINDUSTRIALES													
1991	Contenido ruminal de bovinos	90	17	6,4	32	1,6	0,9	0,98	1,1	0,77	0,22	1423	288	342
1992	Bagazo de caña de azúcar	85	14	6,6	38	1,4	1,23	1,29	0.92	1	0,13	1725	244	220
1993	Residuos de Sidrería	90	19	6,5	37	1,1	0,77	0,98	1,3	0,7	0,87	1522	195	341
1993	Orujo de uva	80	21	7,6	42	1	0,87	2,7	1,5	0,8	0,07	1324	172	201
1993	Residuos de frutas (cítricos)	90	22	6,6	33	1,3	1,33	1	1,4	0,88	0,8	1231	183	355
1994	Cáscara de arroz (con hidrólisis alcalina y bioaumentación)	135	24	7,3	41	1,2	0,88	2,5	1,6	1,1	0,9	1324	288	346
1994	Plumas de aves 60% + Sangre 10% + aserrín 30%	100	26	7,8	55	2,2	1,8	2,7	1,2	0,92	0,9	2297	270	287
1994	Pergamino de café (con hidrólisis alcalina y bioaumentación)	120	21	7,3	45	1	0.91	2	1,2	1	0,7	1240	203	328
	RESIDUOS URBANOS													
1990	Barridos de ferias vecinales	80	16	6,8	34	1,6	1,5	1	0,87	1,1	0,77	1825	278	346
1992	Residuos de mercado frutícolas	90	18	7,3	36	1,4	0,9	1,1	0,92	1,2	0,83	1723	251	311
1992	Fracción orgánica recuperada de R.S.U. recolección en masa	120	20	8,1	32	0,9	0,3	2,1	0,26	0,97	0,12	1722	170	301
1993	Fracción orgánica recuperada de R.S.U. recolección en masa													
	con técnicas de bioaumentación	75	16	8,2	35	1,7	0,87	2	0,24	0,8	0,11	1742	177	300

- **La Aireación**

La aireación es conjuntamente con la relación C/N uno de los principales parámetros a controlar en el proceso de Compostaje Aeróbico. Como hemos mencionado al comienzo de este capítulo nuestro objetivo es favorecer los metabolismos de respiración aerobia. Cuando como consecuencia de una mala aireación la concentración de Oxígeno alrededor de las partículas baja a valores inferiores al 20% (concentración normal en el aire), se producen condiciones favorables para el inicio de las fermentaciones y las respiraciones anaeróbicas.

En la práctica, esta situación se diagnostica por la aparición de olores nauseabundos, producto de respiraciones anaeróbicas (degradación por la vía de putrefacción, generación de dihidruro de azufre SH_2) o fuerte olor a Amoníaco producto de la Amonificación. En una masa en compostaje con una adecuada C/N, estas condiciones de anaerobiosis se producen por exceso de humedad o bien por una excesiva compactación del material. En estas situaciones, se debe proceder de inmediato a suspender los riegos y a la remoción del material y a la reconformación de los camellones.

EL PRECOMPOSTAJE

Se denomina Precompostaje, a todos aquellos procedimientos que se realizan antes de la conformación de las parvas o camellones, y tienen como objetivo acondicionar la masa de residuos para optimizar el proceso. Algunos de estos procedimientos ya los hemos mencionado:

⇒ Balance de nutrientes (corrección de la relación C/N)
⇒ Corrección del pH
⇒ Chipeado
⇒ Triturado
⇒ Molienda

Alguno tipos de residuos, pueden presentar poca carga biológica o masa microbiana. Esto es frecuente en residuos frescos de origen agroindustrial que han sido sometidos en el proceso industrial a altas temperaturas. En estos casos es conveniente aplicar Técnicas de Bioaumentación. Las más sencillas de estas técnicas consisten básicamente en inocular artificialmente los desechos con una carga de microorganismos. Podemos utilizar, varias fuentes de inóculos. A continuación damos algunas alternativas ampliamente probadas:

⇒ Inóculo con suelo fértil*:* el procedimiento consiste en extender en área los residuos en capas no superiores a los 20 cm. , y posteriormente distribuir sobre ellos a razón de 0,5 kg/m_2 suelo fértil. Luego se mezcla y se procede a conformar el camellón. Aconsejado para materiales con exceso de humedad.

⇒ Inóculo por trasplante: como en el ejemplo anterior se extienden los residuos.

De una parva en compostaje en etapa *mesotérmica 1* se extrae de su núcleo una cantidad de material suficiente para aplicar sobre el material extendido 100 g/m^2. Luego se mezcla y se procede a conformar el camellón. Aconsejado para materiales con exceso de humedad.

⇒ Inóculo con Caldo de Cultivo: este procedimiento consiste en preparar un caldo de cultivo. Para ello tomamos un recipiente o tanque de aproximadamente 200 lts. En los mismos introducimos, 5 lts. de excreta de aves de corral (frescas), 20 lts., de estiércol bovino (fresco) y 5 lts. de suelo fértil o bien 5 lts. de material proveniente del núcleo de una parva en etapa mesotérmica1. A continuación llenamos con agua el tanque hasta los 200 lts. y agitamos. El recipiente debe ser instalado en un lugar donde este sujeto a las mínimas variaciones térmicas. Luego de 48 hs. , el inóculo puede ser aplicado. Cada vez que se retira un volumen de inóculo debe ser repuesto por un volumen igual de agua más 0,25 kg. de suelo fértil o bien 5 lts. de material proveniente del núcleo de una parva en etapa mesotérmica1. El contenido del recipiente debe ser agitado y homogeneizado por lo menos una vez al día, tratando del remover el material sedimentado en el fondo. Según las condiciones climáticas, un preparado de acuerdo a las proporciones citadas puede rendir unos 600 a 700 lts. de Inóculo.

El material extendido en las dimensiones de los ejemplos anteriores es regado abundantemente con el preparado. Luego se conforman los camellones. Este tipo de inóculo es aconsejado para residuos deficitarios en humedad.

COMO DISEÑAR Y OPERAR UN SISTEMA DE COMPOSTAJE AEROBICO

En este apartado, trataremos de aportarles aquellos conceptos que consideramos básicos para el diseño y operación de un sistema de compostaje aeróbico en camellones.

- **Aspectos cualitativos**

Es importante caracterizar adecuadamente los residuos que nos disponemos a compostar, de acuerdo a los criterios y parámetros establecidos en el apartado Características de los Residuos. De existir alguna dificultad en los Balances de Nutrientes, debemos identificar localmente fuentes de desechos que nos permitan realizar las correcciones necesarias. De acuerdo a cada caso se instrumentarán los procedimientos de precompostaje necesarios. Un aspecto muy importante a tener en cuenta es asegurarnos que los residuos estén libres de contaminantes químicos, en particular metales pesados. Esta situación no es frecuente en desechos provenientes de la actividad agropecuaria, pero puede presentarse en algunos residuos de origen agroindustrial y en residuos sólidos domiciliarios.

- **Aspectos cuantitativos**

La cuantificación de los volúmenes que dispondremos para compostar, así como la frecuencia de ingreso de los mismos, es un dato de gran importancia, ya que nos permitirá calcular la necesidad de área de compostaje y determinar la Unidad de Compostaje.

Es aconsejable manejarse con medidas volumétricas y determinar los parámetros: Densidad (D), Masa (M) y Volumen (V), apartir de la fórmula D = M/V, expresando la Masa en toneladas (Ton.), y el volumen en metros cúbicos (m^3).

- **Unidad de Compostaje (Uc)**

La Unidad de Compostaje, es la masa de residuos que nos permitirá la conformación de un camellón y que ingresará al sistema como una unidad independiente del resto. A título de ejemplo, supongamos el caso de un "Tambo", donde diariamente se generan 90 kg. día de excretas, con una Densidad = 0,5, tendremos entonces:

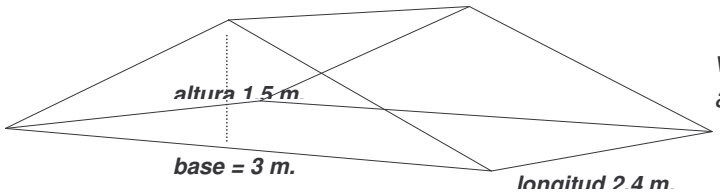
	GENERACION DE RESIDUOS			
Densidad = 0,5	Día	Semana	Quincena	Mes
Peso en ton.	0,09	0,63	1,35	2,7
Volumen en m3	0,18	1,26	2,7	5,4

Para este ejemplo, consideraremos como *Unidad de Compostaje*, una masa de 2,7 ton. y con un volumen de 5,4 m^3.

- **Diseño del Camellón o Parva**

No es aconsejable la conformación de parvas o camellones de pequeños volúmenes, ya que las fluctuaciones de temperatura en estos pequeños volúmenes son muy bruscas. No conforme camellones con base inferior a los 2 m (dos metros). Como regla general, tome como altura la mitad de la base, los que nos permitirá obtener una buena relación Superficie/Volumen. A título de ejemplo, supongamos que tomamos como dimensiones del camellón las siguientes: base = 3 m / altura = 1,50 m., lo que nos da un volumen de 2,25 m^3 por metro lineal de camellón. Siguiendo con el ejemplo del tambo, si el volumen mensual de residuos que disponemos es de 5,4 m^3 y la capacidad de carga del camellón diseñado es de 2,25 m^3 por metro lineal, el cociente entre estos dos volúmenes nos dará la longitud de la Unidad de compostaje: 5,4 m^3/2,25 m^3 = 2,4 m.

Nuestra Unidad de Compostaje tendrá entonces los siguientes valores:



volumen aprox.= 5,4 m^3
área de la base = 7,2 m^2

- **El Tiempo de Compostaje (Tc)**

Se entiende por Tiempo de Compostaje (Tc), el transcurrido desde la conformación de una parva o camellón hasta la obtención la obtención de Compost estable.

El Tc, varía según las características de los residuos a compostar, las condiciones climatológicas (temperatura, ambiente, % de humedad relativa, etc.); manejo físico-químico; manejo microbiológico y características del producto final que se desea obtener. El Tc, es un parámetro que puede ser controlado y establecido con cierto grado de certeza a través del conjunto de técnicas descritas con anterioridad.

- **Area de Compostaje**

El área donde se conforman las pilas y se lleva a cabo el proceso se denomina corrientemente *canchas de compostaje o patios*. En el momento de seleccionar el área destinada a las canchas debemos considerar los siguientes factores:

⇒ En lo posible estas áreas deben situarse en los puntos topográficos más altos del terreno. Nunca se ubicarán en depresiones del mismo. Es necesario que el área de las canchas presente un declive superior al 1 % hacia las cotas menores del predio, de esta forma es posible evacuar las aguas pluviales y colectar los líquidos lixiviados que se generan durante el proceso.

⇒ La impermeabilidad del suelo es otro factor a considerar, ya que es posible la contaminación de las aguas subterráneas. En suelos que no presenten una impermeabilidad natural adecuada, se deberá proceder a la impermeabilización de los mismos, así como también se impermeabilizarán los drenajes.

- **Preparación de las Canchas**

Una vez seleccionada el área de acuerdo a los criterios mencionados, se procederá a retirar de la misma, malezas, arbustos u otros elementos que interfieran con la operación del sistema. Posteriormente, se realizará la compactación y nivelación del terreno. Es conveniente que el área esté rodeada por una canaleta perimetral, donde desembocarán las canaletas inter-parvas, necesarias para la evacuación y posterior colecta de los líquidos lixiviados. El diseño del sistema de drenajes, admite diversas alternativas y dependerá de las características topográficas del predio y dimensiones del área de compostaje.

- **Dimensión de la Cancha**

La dimensión de la Cancha estará determinada por la Unidad de Compostaje (Uc) y el Tiempo de Compostaje (Tc). Volvamos al ejemplo anterior del “Tambo” y asumamos un Tc = 90 días. La conformación de las parvas la realizamos en forma mensual, es decir mensualmente ocupamos un área de base de parva de 7,2 m^2 en 90 días, el área necesaria para la instalación de las tres parvas es de 7,2 m^2 x 3 = 21,6 m^2 .

Debemos considerar además el espacio necesario entre parvas a los que llamaremos pasillos. Este espacio es necesario para manejar los camellones. Las dimensiones del mismo estarán sujetas a la forma en que se realicen las operaciones de remoción y aireación. Si la operativa es manual, el ancho del pasillo puede situarse en el entorno de 2 a 2,5 m.

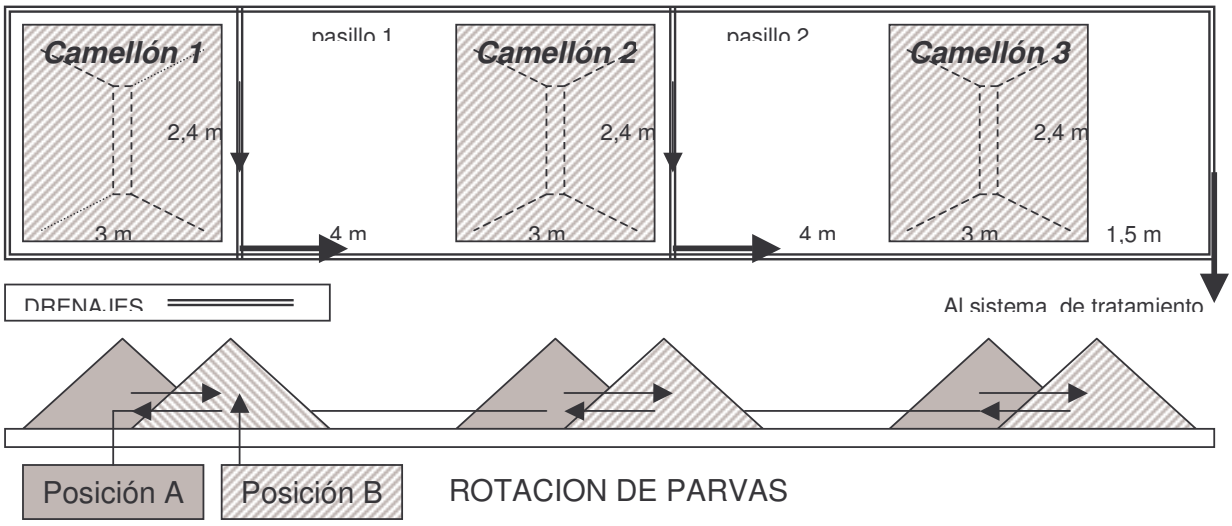
Si la operación es mecanizada (pala cargadora, tractor con pala), los pasillos tendrán el ancho suficiente para que la máquina pueda empalar perpendicularmente los camellones. Asumamos que para el ejemplo que estamos manejando, la operación se realice con un tractor con pala. El ancho del pasillo no será menor a los 4 m.

El número de pasillos se calcula como el (Nº de parvas-1), + (el área correspondiente a la mitad del área de base de una parva). Esta última área es la que permite maniobrar con amplitud.
Si la longitud de las parvas es de 2,4 m.
El área necesaria para pasillos será de: 2,4 m x 4 m x 3 m = 28,8 m^2
El área correspondiente a la mitad de área de una parva es: 1,5 m x 2,4 m = 3,9 m^2

El área fina de compostaje será entonces de: 21,6 m^2 +28,8 m^2 +3,9 m^2 ≅ 54 m^2

En el siguiente esquema, damos una de las posibles distribuciones(lay -out) del sistema de compostaje que hemos manejado como ejemplo:

ESQUEMA DE UNA POSIBLE DISTRIBUCION



Como se puede apreciar en el esquema, cuando contamos con el material necesario para la conformación del Camellón nº 3, el Camellón Nº 1, a cumplido con su Tc = 90. El Compost se retira y el espacio queda disponible para recibir un nuevo camellón, estableciéndose a partir del tercer mes un ciclo productivo mensual con la salida del sistema del volumen de Compost Bruto correspondiente al Camellón nº 1 y así sucesivamente. Este sistema, lo hemos denominado *Sistema Asincrónico* y nos permite una disponibilidad mensual de Compost.

MANEJO DEL SISTEMA

Una de las reglas fundamentales a tener en cuenta para un sistema como el propuesto es mantener la independencia física de la Unidad de Compostaje (Uc). Nunca, debemos adicionar material nuevo a una Parva que ya ha sido conformada. Sólo cuando tenemos el material equivalente a la Uc, debemos instalar el Camellón.

Es muy importante llevar de cada Unidad de Compostaje, registros de los datos más relevantes. Fecha de conformación, relación C/N de entrada, temperatura del material antes de su ingreso al sistema, temperatura ambiente y todo dato que se considere que puede ser de valor para sistematizar el proceso. Los registros pluviométricos son de gran importancia. Aconsejamos instalar cercano a la Cancha un pluviómetro y llevar los registros correspondientes.

Delimite con marcas visibles, todas las dimensiones necesarias en la Cancha que le puedan servir como referencia para la movilización y reconformación de los Camellones. Si bien, las dimensiones dadas en el ejemplo y esquema son geométricas, procure ajustarse lo máximo posible a las mismas. En la práctica, el material tenderá a explayarse, perdiendo las dimensiones iniciales. Esto es totalmente normal. Cuando reconforme los camellones conserve en lo posible las dimensiones de diseño originales.

- **Aireación y Homogeneización de la masa en Compostaje**

Este procedimiento, como ya hemos mencionado con anterioridad tiene dos objetivos: favorecer los metabolismos aerobios y procurar que el proceso se cumpla homogeneamente en toda la masa en compostaje. Esta operación se puede hacer tanto manualmente como mecanicamente. Siempre debe procurarse en los movimientos de las parvas, que el material perteneciente al núcleo de compostaje pase a formar parte de la corteza y éste del núcleo. En el esquema anterior, se muestra la forma de movilizar los camellones.

- **Cuando airear y cuando regar**

No existen frecuencias preestablecidas de aireación y riego que resulten aplicables para todos los casos posibles. Las aireaciones excesivas, son tan perjudiciales como los riegos en exceso. Uno de los parámetros, que nos resultará de fácil determinación es la temperatura y es a partir de la misma que podremos en gran parte, ejercer un control sobre el proceso.

- **Control de la Temperatura**

La temperatura debe ser tomada en el núcleo del camellón. Existen termómetros especialmente diseñados para este fin. Si no se cuenta con un termómetro de este tipo, pueden utilizarse termómetros para uso textil (teñidos), o bien termómetros para parafina, utilizados en laboratorios de histología. También existen instrumentos digitales. Considerando la longitud del camellón (24 m.) se recomienda tomar la temperatura en dos puntos equidistantes y tomar el valor promedio aritmético entre los dos puntos.

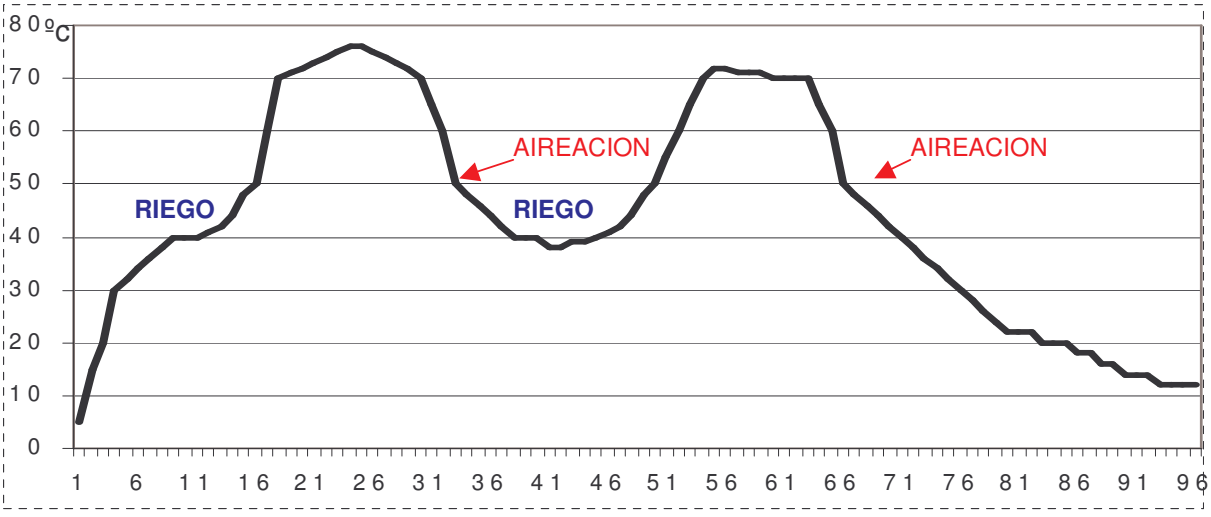
Como regla general y para conservar el instrumento que utilice, practique primero con una varilla metálica de mayor diámetro que el termómetro una perforación, y luego introduzca el instrumento. Marque el lugar donde practicó la perforación, para utilizarlo en una nueva oportunidad. Es conveniente, realizar más de una lectura por metro lineal de camellón y promediar los resultados.

- **Control de Humedad**

Para el control del contenido de humedad, puede aplicar el siguiente procedimiento empírico:

1. Tome con la mano una muestra de material.
2. Cierre la mano y apriete fuertemente el mismo.
3. Si con esta operación verifica que sale un hilo de agua continuo del material, entonces podemos establecer que el material contiene más de un 40% de humedad.
4. Si no se produce un hilo continuo de agua y el material gotea intermitentemente, podemos establecer que su contenido en humedad es cercano al 40%.
5. Sin el material no gotea y cuando abrimos el puño de la mano permanece moldeado, estimamos que la humedad se presenta entre un 20 a 30 %
6. finalmente si abrimos el puño y el material se disgrega, asumimos que el material contienen una humedad inferior al 20 %.

- **Control de aireación y riego por temperatura**



Como se visualiza en el gráfico, se recomienda realizar las aireaciones, cuando comienza a decrecer la temperatura, luego de haber alcanzado su valor máximo en etapa termogénica. Inmediatamente a la remoción del material la temperatura experimenta un descenso, y paulatinamente vuelve a subir hasta completar una nueva etapa termogénica. Puede ser posible que sólo se cumpla una sola etapa termogénica o más de dos. Esto

dependerá de múltiples factores. Si el material ha sido preparado y los camellones se han homogeneizado adecuadamente en el proceso de aireación, es frecuente que solo se presenten no más de dos etapas termogénicas. Si hay necesidad de riego es conveniente hacerlo en las etapas mesotérmicas. El riego debe ser lo más atomizado posible, para no producir cambios bruscos en la temperatura.

Este procedimiento de aireación y riego por control de temperatura, es una alternativa que tiene sus fundamentos en los grupos fisiológicos que intervienen, en los tipos de metabolismos y en los productos de estos metabolismos. En otras literaturas, recomiendan realizar un aireación o "volteo" una vez por semana durante las primeras cuatro semanas. Si el lector relee el capítulo "El ABC de la Microbiología", encontrará la respuesta al procedimiento propuesto.

El PROCESO DE REFINACION

No todo el material que entra al sistema de compostaje se biodegrada con la misma velocidad. Muchos materiales, como ya hemos mencionado, requieren por su estructura física y composición química mayores tiempos para perder su morfología inicial. Por esta razón, es muy frecuente que conjuntamente con el compost, se presenten restos de materiales en distintas etapas de biodegradación o bien el residuo original contenga aún componentes inorgánicos. Este caso se da cuando la materia prima es la fracción orgánica recuperada de los Residuos Sólidos Domiciliarios.
Para lograr un compost apto para su aplicación agronómica, sea en forma manual o mecánica, el mismo debe presentar una granulometría adecuada y homogénea y estar libre de elementos orgánicos o inorgánicos que dificulten su aplicación. Hay muchas alternativas técnicas para el refinado del compost: separación balística, centrífuga, o cribado (granulométrica). La experiencia indica que la separación granulométrica por cribado es sin duda la menos costosa de instrumentar, y la que ha dado mejores resultados. Las cribas o zarandas, pueden ser vibratorias o de rotación. En particular las rotatorias, presentan un mejor rendimiento cuando se trata de procesar volúmenes importantes. El tamaño de malla de la criba dependerá de la granulometría que se desea obtener, no obstante para utilización agrícola se recomiendan mallas de 1 cm x 1 cm. Para que este proceso, se realice sin inconvenientes es fundamental que el compost presente un contenido en humedad inferior al 20%. Los procesos de refine se realizan por razones obvias bajo techo. Una vez culminado el proceso de compostaje, el material es trasladado al área de procesamiento y es convenientemente extendido en capas no superiores a los 30 cm. , para favorecer la pérdida de humedad. Cuando el compost presente el contenido de humedad mencionado, estará pronto para su refine. De este proceso se produce un rechazo, que dependiendo de la materia prima utilizada y de la granulometría que se desea obtener, se puede presentar en el orden del 5 al 20 %. Para residuos de origen agrícola y agroindustrial, y para la granulometría indicada se debe estimar a los efectos de los cálculos un rechazo promedio del orden del 6 %. Para Compost producido a partir de la fracción orgánica recuperada de Residuos Sólidos Urbanos de recolección en masa, el rechazo se sitúa cercano al 20 %. Si el rechazo es exclusivamente de desechos orgánicos, el mismo se ingresará nuevamente al sistema de compostaje.

RENDIMIENTOS

En términos generales, durante el proceso de compostaje se produce una pérdida del orden del 6 a 10 % del volumen inicial de residuos, debido a los procesos bioquímicos y a la manipulación del material. A esta merma, se le debe adicionar la producida por los procesos de refinación.

ACOPIO Y EMPAQUE

Finalizado el proceso de Compostaje y la refinación del mismo, es conveniente acopiar bajo techo. Si no se dispone de la infraestructura necesaria, una alternativa es cubrir los acopios con materiales impermeables (por ejemplo, film de polietileno). El Compost expuesto a la intemperie, pierde rapidamente valores de sus nutrientes esenciales, por lavado y lixiviación. En referencia al empacado, son muchas las alternativas hoy disponibles que aseguran el mantenimiento de la calidad del producto. Se debe evitar, el empleo para el empacado de cualquier tipo de bolsa o recipiente que haya contenido agrotóxicos o cualquier otra sustancia química.

ASPECTOS SANITARIOS

Si el compost ha sido debidamente procesado, el material final no ofrece mayores riesgos, salvo aquellos que puedan ser originados por elementos inertes corto-punzantes que puedan haber venido con la materia prima inicial, por lo que es recomendable la utilización de guantes anticorte, si manipula directamente el material Las mayores precauciones deben tomarse con el material fresco, en las manipulaciones precompostaje, más aún si se trata de excretas y/o estiércoles.

Se recomienda la utilización de guantes de goma, sobre los anticorte. Si el material toma contacto con los ojos, lave abundantemente con agua. Finalmente, no es conveniente, subir sobre la cúspides de los camellones activos para tomar temperaturas, o realizar otro tipo de registro. Recuerde que durante el proceso se producen emanaciones importantes de gases, que por un *efecto chimenea* tienden a escapar por el lomo del camellón o parva. Algunos de estos gases en momentos puntuales del proceso se producen en concentraciones que pueden llegar a ser letales, en ambientes cerrados.

ASPECTOS AMBIENTALES

Como hemos mencionado con anterioridad, durante el proceso de compostaje se producen líquidos lixiviados que deben ser recolectados para su tratamiento. En emprendimientos donde se composten volúmenes significativos, debe preverse el diseño y construcción de una Planta de Tratamiento. No acopie residuos frescos, más allá de los que pueda ingresar de forma inmediata al sistema. Finalmente consulte a un experto acerca de la normativa y requisitos ambientales para este tipo de proyectos.

CONSIDERACIONES FINALES

Los conocimientos sobre la biotécnica de Compostaje no se agotan en el contenido de este Manual. El objetivo de los autores ha sido más que nada trasladar su experiencia a través de alternativas de procedimientos y recomendaciones, que surgen de años de experiencia en el tema. La experiencia práctica conjuntamente con la observación y sistematización son los elementos que le permitirán al lector poner a punto esta biotécnica para cada caso en particular. En los capítulos iniciales de este Manual encontrará la respuesta a muchas de las situaciones con las que se encontrará.

ANEXO 1

EL ABC DE LA MICROBIOLOGIA: UNA HERRAMIENTA PARA COMPOSTAR

- **Introducción**

Las superficies de los continentes hasta un metro de profundidad aproximadamente, los océanos, mares, lagos y ríos y la parte inferior de la atmósfera son las regiones del planeta donde hay vida y se conocen con la denominación general de *Biósfera*.

La actividad de esta delgada capa de vida ha afectado profundamente la estructura y composición de las capas superficiales de la Tierra. Los seres vivos que integran la biósfera son los agentes más influyentes en los cambios geoquímicos.

El mantenimiento de la vida con cierto grado de equilibrio, depende de dos factores: *el recambio cíclico de los elementos* indispensables para la vida fundamentalmente, carbono, nitrógeno, oxígeno, fósforo y azufre y el aporte constante de la *energía solar*.

A través del proceso fotosintético y la energía solar, los productores primarios, extraen elementos del medio ambiente en forma de compuestos inorgánicos y biosintetizan compuestos orgánicos que son incorporados en células y tejidos. Estos materiales orgánicos acumulados representan de forma directa o indirecta la fuente de energía para otros integrantes de las redes tróficas. Antes de que estos elementos puedan ser utilizados nuevamente como alimento para los organismos fotosintéticos deben volver a su estado inorgánico.

Esta conversión del estado orgánico al estado inorgánico es conocida como *Mineralización* y se debe en gran parte a la descomposición de los restos vegetales y animales, así como de los productos orgánicos de la excreción de animales. Los principales agentes de la mineralización son las bacterias no fotosintéticas y los hongos. Este grupo de microorganismos se le denomina genéricamente *Descomponedores*. Se estima que el 90% aproximadamente del CO_2 que se produce en la bioesfera se debe a la actividad metabólica de este grupo.

La gran importancia de los microorganismos en el proceso de mineralización es el resultado de tres factores: su *omnipresencia en la biosfera*, consecuencia de la facilidad de propagación de los organismos; su *elevada velocidad metabólica y de crecimiento* y la *gran diversidad fisiológica* que les confiere una capacidad colectiva para degradar todos los compuestos orgánicos naturales que se pongan a su alcance. Se estima, que en una capa de 15 cm. de profundidad de suelo fértil puede presentar una biomasa de más de 4 Ton. de bacterias y hongos por hectárea.

La eficiencia con la que los microorganismos realizan las transformaciones químicas, se debe a su gran poder catalítico. Como consecuencia de su pequeño tamaño bacterias y hongos presentan una relación superficie/volumen muy elevada en comparación con

organismos superiores, los que les permite un rápido intercambio de sustratos y productos de desechos entre estos y el medio.

La intensidad respiratoria de un gramo de algunos grupos de bacterias, es ciento de veces superior a la del hombre. El potencial metabólico de los 15 cm. de suelo fértil mencionados con anterioridad, puede ser en un momento dado equivalente a varias decenas de millares de seres humanos.

Su gran capacidad reproductiva, cuando las condiciones del ambiente son favorables, hace posible que el potencial metabólico de la progenie de una sola bacteria con un tiempo de multiplicación de 20 minutos pueda aumentar hasta más de 1000 veces al cabo de las tres horas.

Todas las sustancias orgánicas naturales, son descompuestas por algún microorganismo, lo que explica la ausencia de materia orgánica inalterada en la biosfera, cuando se mantiene el equilibrio entre la velocidad de emisión de esta y la capacidad de transformación de los descomponedores. Cuando un compuesto orgánico deja de formar parte de un organismo vivo, rápidamente es mineralizado por los microorganismos.

Cualquier especie bacteriana en si misma, es un agente limitado de mineralización, la gran versatilidad metabólica es consecuencia de la acción conjunta de una gran diversidad de grupos fisiológicos. Existen grupos de microorganismos muy especializados, que cumplen un papel relevante en la mineralización de restos orgánicos específicos. Tal es el caso del grupo *Cythophaga*, bacterias aeróbicas deslizantes, que pueden degradar rápidamente la celulosa, el componente más abundante en los tejidos vegetales, siendo esta la única sustancia que pueden utilizar como fuente de carbono.

Consideremos resumidamente, que es lo que ocurre en el suelo cuando una pequeña muestra de material orgánico de origen animal o vegetal es degradado. Los compuestos orgánicos, son rápidamente atacados por los microorganismos que digieren y oxidan gran parte de estos compuestos en presencia de oxígeno. Conforme el oxígeno se consume en la proximidad del material orgánico en descomposición, el microambiente se hace anaeróbico, condición que favorece el desarrollo de microorganismos fermentadores.

Los productos de la fermentación, difunden a regiones donde aún hay oxígeno o pueden ser oxidados anaerobicamente. Cuando la casi totalidad del compuesto orgánico se haya convertido en CO_2, las condiciones se harán nuevamente aeróbicas y se desarrollarán a expensas de los productos de esta mineralización organismos autótrofos.

Esta sucesión de procesos que hemos esquematizado a escala microscópica se observa a escala macroscópica en la naturaleza. Cuando un cúmulo de residuos orgánicos sobre el suelo se descompone, el resultado es esencialmente el mismo. Las condiciones climáticas y estacionales pueden retardar o acelerar el ciclo de recambio de la materia.

En el suelo, no todos los restos orgánicos se mineralizan a la misma velocidad. Experiencias realizadas por Kononova y Aliev (1975 y 1980) han permitido medir el grado de mineralización de la materia orgánica. Considerando el balance material,

aproximadamente el 75% de la materia orgánica se mineralizada por completo; el 25% restante, que no se mineraliza, se transforma en humus.

El *Humus*, se puede definir como sustancia de orgánica de composición compleja, muy estable, resultante de la acción final de los microorganismos sobre los restos orgánicos. Su estabilidad no es absoluta, en climas templados, un 2% del mismo se mineraliza anualmente. Puede formar complejos con los minerales de arcilla "complejos arcillo - húmicos", de gran estabilidad y que forman la base de la fertilidad duradera del suelo**.**

La *humificación*, se define como el conjunto de procesos de síntesis que terminan en la formación de compuestos húmicos coloidales de neoformación, a expensas de los productos más o menos solubles resultantes de la descomposición de la materia orgánica fresca. Los factores biológicos formadores de humus son: la actividad microbiológica y la actividad animal (lombrices y artrópodos), que condicionan la división mecánica de los restos orgánicos, su incorporación a la materia mineral y la formación de complejos órganos minerales.

La evolución energética que se verifica sucesivamente en este proceso, demuestra que la fracción mineralizada cede todo su contenido energético; la parte humificada, en cambio, crea una acumulación energética típicamente opuesta al potencial termodinámico. En efecto, el contenido calórico de la masa vegetal sometida a degradación es de 4.000 calorías/gramo; el 25% de esta masa, que no llega a degradarse, sino que se humifica, posee un contenido calórico de 4.700 calorías gramo; así pues, existe una potencialización energética y una neta recuperación del potencial termodinámico originario. Reportando el cálculo a 1.000 gramos de masa orgánica inicial, los 250 gramos humificados poseen un contenido calórico total de 1.175.000 calorías, que representan el 29,3% de los 4.000.000 de calorías existentes inicialmente.

En la degradación de la materia orgánica, una cuarta parte de la misma queda excluida de la mineralización, mientras que de su potencial solo se excluye un tercio. El aspecto energético del fenómeno tiene una gran importancia a efectos de comprender el cometido del abono orgánico. Se pone de manifiesto, efectivamente, que el abonado orgánico no solamente suministra al suelo elementos nutritivos, sino también, y sobre todo, proporciona al aparato de las síntesis químicas determinadas formas de energía, directamente disponible por el condicionante termodinámico de la función nutritiva de las plantas a nivel del sistema radicular.

Dependiendo de las condiciones climatológicas, características del suelo y del tipo de residuos orgánicos se pueden generar diferentes tipos de humus que en términos generales se tipifican de la siguiente manera:

Humus mull: se forma cuando la degradación de la materia orgánica se da en suelos ricos en Calcio, con un pH mayor que 5,5 con buena aireación y alta actividad microbiológica. Este tipo de humus, produce grumos estables, dando al suelo buena estructura y resistencia a la erosión.

Humus moder: se genera cuando la descomposición de los residuos orgánicos se produce en suelos con un pH entre 4 a 5,5 y en donde la actividad microbiológica es intermitente

por cambios térmicos bruscos o reducida por bajas temperaturas. Si bien este tipo de humus no presenta las propiedades del mull, beneficia al suelo.
Humus mor: se genera en suelo ácidos con pH inferior a 4, compactados o encharcados con mala aireación o en climas muy fríos con escasa actividad microbiológica.

Una de las sustancias que caracterizan este tipo de humus son los ácidos fúlvicos, pobres en Nitrógeno, solubles en agua y que forman complejos con el Calcio, Hierro y Magnesio que son fácilmente arrastrados por las lluvias.

CICLO DE LA MATERIA EN LA NATURALEZA

- **Ciclos del Carbono y del Oxígeno**

La *fotosíntesis* es la fuerza motora del recambio cíclico de los elementos de importancia para la vida. Por este proceso, las formas oxidadas del carbono (dióxido de carbono, carbonato y bicarbonato) se reducen para formar compuestos orgánicos con liberación de oxígeno molecular por oxidación del agua.

La oxidación posterior de estos compuestos orgánicos sintetizados por los productores primarios esta acoplada directa o indirectamente con la reducción de oxígeno molecular a agua durante los procesos *respiración*, que es llevada a cabo en parte por los productores primarios y mayoritariamente por los consumidores y por los procesos de *combustión*. No obstante, son los descomponedores (bacteria y hongos, fundamentalmente) quienes oxidan la mayor parte de la materia orgánica.

El dióxido de carbono (CO_2) es la forma asequible de carbono para la fotosíntesis. El aire contiene aproximadamente un 0,03 % de $CO_{2.}$ en volumen. Esta concentración se mantiene relativamente constante debido al equilibrio dinámico *fotosíntesis -mineralización*.

Parte del carbono disponible en la bióesfera retarda su recambio cíclico cuando se inmoviliza en *depósitos inorgánicos*, precipitando como carbonato de calcio en los océanos en condiciones débilmente alcalinas o se deposita biológicamente en las conchas de protozoos, corales y moluscos. De esta forma se han formado las calizas (rocas calcáreas). Si bien este carbono inmovilizado no es asequible para la fotosíntesis, parte de este entra nuevamente al ciclo por acción de los microorganismos que solubilizan estos depósitos al producir ácido carbónico y otros ácidos durante los procesos de fermentación, oxidación del azufre y nitrificación. Otros procesos microbiológicos alcalinizan el medio y favorecen el depósito de carbonato de calcio, por ejemplo, la reducción de sulfato y la desnitrificación.

Otro retardo del ciclo del carbono se produce por la inmovilización en *depósitos orgánicos,* tal es el caso de la formación de humus, carbón, turba, petróleo y gas natural.

- **Ciclo Del Nitrógeno**

A pesar de que el nitrógeno molecular es uno de los componentes mayoritarios en volumen en la atmósfera, su molécula es muy inerte quimicamente y no es una fuente adecuada de

este elemento para la gran mayoría de los seres vivos. Todos los seres vivos, dependen nutricionalmente del nitrógeno combinado.

Las formas combinadas de este elemento, amoníaco, nitrato y compuestos orgánicos son frecuentemente escasas en el suelo y agua y su disponibilidad es un factor limitante para la vida.

- **Asimilación Fotosintética**

Las algas y plantas asimilan el nitrógeno en forma de nitrato (NO_3^-) o de amoníaco (NH_3). Si se asimila en forma de nitrato debe ser reducido en la célula a amoníaco. En esta reducción no hay excreción significativa de compuestos reducidos de nitrógeno.
La asimilación y reducción de nitrato no excede a las necesidades de este elemento para el crecimiento. Esta es la principal diferencia entre la asimilación de nitrato de la reducción de nitrato en la respiración anaeróbica. El nitrato o el amoníaco pasa a formar parte de la materia viva como nitrógeno orgánico, por ejemplo, como grupos NH_2 de los aminoácidos. Los compuestos orgánicos del nitrógeno sintetizados por los productores primarios son utilizados como fuente de nitrógeno por todos consumidores. A diferencia de plantas y algas, los animales excretan durante su metabolismo gran cantidad de compuestos nitrogenados. Los invertebrados excretan predominantemente amoníaco y los vertebrados, reptiles y aves, principalmente ácido úrico. Los mamíferos fundamentalmente urea.

- **Amonificación**

Cuando una planta o un animal muere, se libera el nitrógeno orgánico almacenado en sus tejidos que es atacado inmediatamente por microorganismos, descomponiendo estos compuestos con liberación de amoníaco, parte del nitrógeno pasa a formar parte de la biomasa de los microorganismos. Cuando estos microorganismos mueren, el nitrógeno orgánico se libera como amoníaco. El amoníaco, es el compuesto más rico en nitrógeno, contiene aproximadamente un 82% en peso de nitrógeno.

La primera etapa de proceso de *amonificación* consiste en la *hidrólisis* de las proteínas y ácidos nucleicos con liberación de aminoácidos y bases orgánicas nitrogenadas. Estos compuestos más sencillos, son descompuestos entonces por fermentación o respiración. En general la descomposición anaeróbica de las proteínas (putrefacción), característica de las bacterias esporulantes anaerobias (g. *Clostridium*) no libera todo el nitrógeno orgánico como amoníaco.
Parte de los aminoácidos dan lugar a *aminas* que en presencia de aire se oxidan a amoníaco proceso en el que intervienen esporulantes aeróbicos (g. *Bacillus*)

- **Nitrificación**

La *nitrificación* es el proceso de conversión del amoníaco en nitrato. Es llevado a cabo en la Naturaleza por dos grupos de bacterias aerobias quimioautotrofas obligadas, conocidas como *bacterias nitrificantes*. Se separan en dos grupos fisiológicos: Las que oxidan anomíaco a nitrito (NO_2^-). Entre estas, la más abundante en el suelo es *Nitrosomona*. (también se han aislado en el suelo y en el agua, Nitrosocystis y Nitrosouva). Las que

oxidan nitritos (NO_2^-) a nitratos (NO_3^-). La forma más común en el suelo es *Nitrobacter,* en medios marinos, *Nitrococcus*.

- **Denitrificación**

La *denitrificación* es el proceso de conversión de nitratos-nitritos a nitrógeno molecular (N_2) que pasa a la atmósfera. Cuando se descompone la materia orgánica en el suelo como consecuencia de la respiración bacteriana el ambiente se hace anaeróbico y el nitrato existente tiende a disminuir por desnitrificación.
La denitrificación es llevada a cabo por microorganismos que realizan respiración anaeróbica (*Pseudomonas y Bacillus*) y utilizan el nitrato como aceptor final de electrones reduciéndolo hasta nitrógeno molecular.

- **Fijación de Nitrógeno**

Si el nitrógeno molecular fuera absolutamente inerte, la denitrificación eliminaría de la bioesfera el nitrógeno necesario para la vida. Algunos microorganismos son capaces de fijar el nitrógeno molecular con lo que son compensadas las pérdidas por denitrificación.

Existen dos mecanismos de fijación del nitrógeno. La *fijación simbiótica*, consecuencia de la asociación íntima entre una bacteria y una planta, donde aisladamente ninguno de los participantes de esta simbiosis es capaz de fijar nitrógeno molecular. Un ejemplo conocido es de las leguminosas con el género *Rhizobium.* La fijación no simbiótica, es realizada fundamentalmente por las algas verdeazuladas de los géneros *Anabaena* y *Nostoc* y por las bacterias aerobias estrictas de los géneros *Azotobacter y Beijerinkia*.

- **Ciclo del Azufre**

El azufre es un componente esencial de los seres vivos. En la biosfera es asequible para la vida, primordialmente en forma de sulfato soluble. También se presenta en la biosfera azufre reducido bajo la forma de díhidruro de azufre (SH_2) (conocido como ac. Sulfídrico) producto de la actividad microbiológica, actividades volcánicas y actividades industriales.

- **Asimilación del Sulfato**

El sulfato (SO_4^{--}) es utilizado universalmente como nutriente por los productores primarios y microorganismos. En la materia orgánica viva se presenta en estado reducido como grupos -SH o -S-S-. Sólo se asimila la cantidad necesaria para el crecimiento sin eliminación al medio de productos reducidos.

- **Formación SH_2 –Reducción de Sulfatos**

Cuando una planta o un animal o microorganismo muere, los compuestos orgánicos del azufre se mineralizan y el azufre se libera en su forma inorgánica reducida SH_2
Este producto se forma como consecuencia de procesos de respiración anaeróbica, restringida a un pequeño grupo de microorganismos conocido como *bacterias reductoras de sulfatos* (g. *Desulfovibrio* y algunos miembros del g. *Clostridium*). La actividad de las

bacterias reductoras de sulfatos es manifiesta en los sedimentos anaerobios de estanques, lagunas, arroyos, plantas de tratamiento de efluentes líquidos con alta carga orgánica. Cuando la acumulación de materia orgánica da lugar a una reducción masiva de sulfatos la concentración de SH_2 llega a niveles de toxicidad.

- **Oxidación SH_2 y del Azufre**

La oxidación del SH_2 y el azufre elemental a sulfatos se realiza en aerobiosis por acción de las bacterias quimioautotrofas incoloras del azufre (g. *Thiobacillus*), o en anaerobiosis por bacterias fotosintéticas verdes (g. Chlorobium) y purpúreas (g. Ectothiorhopira).
Como estas oxidaciones dan lugar a la formación de iones hidrógeno, producen la acidificación del medio.

- **Ciclo del Fósforo**

Los organismos vivos asimilan el fósforo en forma inorgánica como fosfato (PO_4^{--}), en la célula es incorporado a los compuestos orgánicos por esterificación del ion fosfato. Cuando una planta o un animal muere, el fósforo se libera por hidrólisis como fosfato inorgánico. El este ciclo el átomo de fósforo no cambia de valencia y forma parte siempre de un grupo fosfato. El fósforo en muchos medios, es un factor limitante del crecimiento, la razón de esta limitación es puramente física, debido a su escasez relativa en la biosfera.

EL MUNDO MICROBIANO

El número más importante y de mayor diversidad de seres vivos en la biosfera pasa inadvertido a nuestra vista. El ojo humano, no puede percibir un objeto con un diámetro inferior a 0,1 mm (100 micrones) y difícilmente pueda distinguir los detalles de un objeto con un diámetro de 1 mm. A estos seres vivos de tan pequeñas dimensiones se les denominan *microorganismos* o *microbios*. Este término no tiene validez taxonómica e incluye algunos animales metazoarios, protozoarios, numerosas algas, hongos, bacterias y virus. La ciencia que estudia estos seres vivos es la *Microbilogía*.

El descubrimiento del mundo microbiano se debe a la invención del microscopio por el holandés Antony van Leeuwenhoek (1632-1723). A los inicios del estudio de los microorganismos, los mismos fueron distribuidos entre el *reino vegetal* y el *reino animal* que era la división del mundo viviente aceptada. Con el desarrollo de los conocimientos, se puso de manifiesto que esta sencilla clasificación era insuficiente, ya que muchos microorganismos no compartían totalmente los atributos de animales y vegetales. En 1866 E. H. Haeckel (discípulo de Darwin) propuso la creación de un tercer reino*, el reino de los protistas* que incluía, algas, protozoarios, hongos y bacterias, que son organismos en su mayoría unicelulares o cenocíticos o pluricelulares sin diferenciación.
Con el perfeccionamiento de la microscopía electrónica, se determinó que entre los organismos existen dos tipos de organización celular. La *célula ecucariótica* altamente diferenciada, que es la unidad estructural de vegetales, animales, protozoarios, hongos y la mayoría de las algas y la *célula procariótica* menos diferenciada que es la unidad estructural de bacterias y algas verdeazuladas. El reino de los protistas, quedó entonces subdividido en *protistas ecucarióticos* y *protistas procarióticos*.

- **Protistas Eucarióticos**

Entre *los protistas ecucarióticos*, se distinguen tres grupos principales: algas, protozoarios y hongos. Las algas (fotosintéticas) pueden ser unicelulares, filamentosas o cenocíticas y otras macroscópicas. Los protozoarios son predominantemente unicelulares y los hongos son en general cenocíticos, crecen formando una estructura filamentosa conocida como *micelio* otros son unicelulares como las levaduras.

- **Los Hongos**

Por el papel de los hongos en la degradación de la materia orgánica, realizaremos una breve descripción de este grupo. Los hongos son organismos no fotosintéticos, existen formas microscópicas y macroscópicas, acuáticos y terrestres y sus formas vegetativas son inmóviles. Muchos viven exclusivamente sobre la materia orgánica en descomposición y son incapaces de infectar otros organismos vivos, estos se denominan *saprobios obligados.* Otros pueden vivir sobre la materia orgánica en descomposición o bien ser parásitos y se denominan *parásitos o saprobios facultativos.* Un tercer subgrupo sólo pueden vivir a expensas de otro ser vivo, denominados *parásitos obligados*, finalmente otros mantienen una relación de simbiosis como es el caso de los líquenes (alga-hongo)

Desde el punto de vista nutricional son quimiheterótrofos, la fuente de energía y la fuente de carbono provienen de compuestos orgánicos.
La mayoría de los hongos, viven libres en el suelo o en el agua y obtienen energía por respiración o fermentación de materiales orgánicos solubles. En relación con la temperatura, la gran mayoría crecen entre los 0 a 35º C con un óptimo entre los 20 y 30ºC. Por lo general se desarrollan bien en medios ligeramente ácidos, alrededor de pH 6.

De acuerdo al grado de organización, se distinguen en hongos inferiores, superiores y fungi imperfecti. Los hongos inferiores o *Ficomicetos* pueden ser acuáticos o terrestres. Los *ficomicetos acuáticos*, se encuentran sobre la superficie de restos orgánicos en descomposición en aguas estancandas y corrientes (ej. g. *Allomyces*). Como característica, presentan elementos reproductores móviles. Los *ficomicetos terrestres* son habitantes del suelo. No presentan elementos reproductores móviles. Son inmóviles y sus células reproductoras son dispersadas por el aire (ej. g. *Rhizopus*).

Los hongos superiores presentan un micelio tabicado a diferencia de los inferiores y esporas asexuales exógenas. Atendiendo el desarrollo sexual se distinguen dos grandes grupos: *ascomicetos* y *basidiomicetos*. En los ascomicetos, las esporas se forman en una estructura denominada *asca* (ej. g. Penicillium) conocido por su capacidad de producir antibiótico (Peniclilina). En los basidiomicetos, las esporas se desarrollan en una estructura conocida como *basidio*. El micelio vegetativo es subterráneo, cuando las condiciones son favorables se forman los cuerpos fructíferos que contienen los basidios y que son de muy variadas formas y coloración, visibles y conocidos popularmente como setas u “hongos” (ej., gs. *Lactarius*, *Amanita, Agaricus*)

Una tercera clase de hongos corresponde a los *Fungi imperfecti*, donde se agrupa aquellos hongos de los cuales se desconoce su estado sexual. Es una agrupación taxonómica provisional y en la medida que se determina el estado sexual de estos hongos, son reclasificados en ascomicetos o basidiomicetos.

Las *Levaduras,* son hongos que no tienen crecimiento cenocítico no forman micelio y son unicelulares. Se clasifican en la tres clases de hongos superiores, Ascomicetos, Basidiomicetos y Fungi imperfecti. La mayoría vive en ambientes ricos en azúcares y las que realizan la fermentación alcohólica de los azúcares han sido explotadas históricamente por el hombre (ej. *Saccharomyces cervisiae*).

Los *hongos mucosos*, no están clasificados como hongos verdaderos, aunque comparten muchas características con estos. El ejemplo más conocido es el de los *mixomicetos* que se encuentran sobre troncos en descomposición en bosques húmedos. Se distinguen porque es una masa citoplasmática multinucleada sin pared rígida que se desplaza con movimiento ameboideo.

- **Protistas Procarióticos**

Los protistas procarióticos comprenden bacterias y algas verdeazuladas. Las *algas verdeazuladas*, son organismos fotosintéticos (fotoautotrofos obligados) muchos son unicelulares de forma esférica o bastón y otros pluricelulares en forma de filamentos. Se reproducen por escisión binaria y tienen una distribución natural muy amplia. Se encuentran en el suelo, aguas dulces y océanos. Algunas crecen en manantiales calientes a temperaturas superiores a los 70ºC.

- **Algas Verdeazuladas**

Entre todos los organismos fotosintéticos, las verdeazuladas, son las únicas capaces de suplir los requerimientos de nitrógeno fijando nitrógeno molecular. Esta condición le confiere a este grupo los requerimientos nutricionales más sencillos de los organismos conocidos. Las formas unicelulares en los ecosistemas acuáticos, constituyen el fitoplancton. Se ha estimado que la fijación de CO_2 en los océanos es del orden de 1,2 x 10^{10} ton/año.

- **Las Bacterias**

Las bacterias o eubacterias (bacterias verdaderas) es sin duda el grupo más importante de los organismos procariotas, por su número, distribución natural y diversidad fisiológica. Es el grupo de mayor interés para los objetivos de este manual. La gran complejidad del mismo no puede ser resumida en pocas páginas. No obstante, nos referiremos brevemente a sus características más sobresalientes, profundizando en aquellos aspectos referentes a su papel en la transformación de los residuos orgánicos íntimamente ligados al crecimiento requerimientos nutricionales y diversidad fisiológica.

La gran mayoría son unicelulares, basicamente con tres tipos de formas celulares, *cocos* (esféricas u ovales), *bacilos* (cilíndricas o en forma de bastón) y *espirilos* (en forma de

espiral). Se multiplican por escisión binaria transversal. Muchas veces las células hijas no se separan de forma inmediata formando cadenas de células, muy frecuente en los géneros *Bacilllus* y *Lactobacillus*. Prácticamente los cocos y un gran número de bacilos son inmóviles, no obstante existen forma móviles flageladas.

Muchas bacterias pueden formar una forma de resistencia o reposo conocida como *endóspora,* propiedad de los cocos y bacilos. La endóspora se forma dentro de una célula vegetativa, es muy refrigente se tiñe con dificultad y es extremadamente resistente al calor y otros tratamientos letales. Puede permanecer en este estado de retardo durante años en algunas especies. Esta endospora se libera cuando la célula madre se rompe se lisa, dando lugar a una nueva bacteria.

Otras bacterias en particular los integrantes del género *Azotobacter*, pueden formar *quistes*. El bacilo se acorta y la pared aumenta notoriamente su espesor por secreciones. El quiste no tiene las características de resistencia de la endospora.

Los euactimomicetos son un grupo de bacterias que se caracteriza por presentar una estructura vegetativa en forma de micelio, similar a la que presentan los hongos. En las formas primitivas de actinomicetos (micobacterias y protoactinomicetos) el micelio es una forma transitoria que se rompe dando lugar a cocos o bacilos. En los actinomicetos superiores la estructura miceliana se conserva permanentemente y la reproducción se realiza por células conocidas como conidiosporas. Un ejemplo es el género *Streptomyces*, cuyo micelio es frecuentemente confundido en las pilas de compostaje con el micelio de un hongo.

En las paredes celulares de las células bacterianas existen diferencias de composición química y estructurales que se ponen de manifiesto a través de una técnica de tinción, conocida como técnica de *Gram* de gran valor taxonómico. Se distinguen entonces bacterias *Gram positivas* y *Gram negativas*. Muchas bacterias son capaces de producir importantes excreciones extracelulares (ej. *Acetobacter xylinum*)

Otras producen toxinas sustancias altamente letales, un ejemplo de las cuales son las toxinas producidas por *Clostridium botulinum* y *C. diphtheriae*. Bacterías patógenas Gran negativas producen endotoxinas sustancias derivadas de las paredes celulares de las bacterias. Las más conocidas son las producidas por las bacterias coliformes de los géneros *Salmonella*, *Shigela* y *Escherichia*, que producen fiebre y toxicidad. Otros grupos de bacterias sin embargo producen antibióticos de gran significación ecológica. En la siguiente tabla se muestran algunos antibióticos producidos por bacterias, actinomicetos y hongos.

ANTIBIÓTICOS FORMADOS	ORIGEN BIOLOGICO	QUMIOTERÁPICO FRENTE A
POR BACTERIAS		
Gramicidina	*Bacillus brevis*	Bacterias Gram positivas
Polimixina B	*Bacillus polymyxia*	Bacterias Gram positivas
Bacitracina	*Bacillus subtilies*	Bacterias Gram positivas
POR ACTINOMICETOS		
Cloranfenicol	*Streptomyces venezuelae*	Bacterias Gram positivas-negativas rickettsias y bedsonias
Estreptomicina	*S. griseus*	Bacterias Gram positivas-negativas
Tetraciclinas	*S. auerofaciens,rimosus*	Bacterias Gram positivas-negativas rickettsias y bedsonias
Neomicinas	*S. fradiae*	Bacterias Gram positivas-negativas
Eritromicina	*S. erythreus*	Bacterias Gram positivas
Nistatina	*S. noursei*	Hongos
Anfotericina B	*S. nodosus*	Hongos
POR HONGOS		
Penicilinas	*Penicillium* sp.	Bacterias Gram positivas
Cefalosporinas	*Cephalosporium* sp.	Bacterias Gram positivas-negativas
Griseofulvina	*Penicillium griseofulvum*	Otros hongos

CLASIFICACION DE LAS BACTERIAS

La taxonomía o clasificación de las bacterias es extremadamente compleja. Para los objetivos de este Manual no limitaremos a aplicar un criterio artificial, mencionando sólo grandes grupos de acuerdo a sus características fisiológicas más destacables.

1. BACTERIAS DESLIZANTES
2. BACTERIAS FOTOSINTETICAS
3. BACTERIAS DEL GRUPO ENTERICO
4. BACTERIAS GRAN NEGATIVAS NO FOTOSINTETICAS
5. BACTERIAS FORMADORAS DE ENDOSPORAS
6. BACTERIAS GRAN POSITIVAS NO FORMADORAS DE ENDOSPORAS

- **Los Virus**

Finalmente, y con el objetivo de dar una visión general a la naturaleza del mundo microbiano describiremos brevemente los *virus*. Los virus son las unidades biológicas más pequeñas. Difieren totalmente del resto de los organismos en su composición química, estructura y forma de multiplicarse. Consiste en una cubierta de proteína que contiene en su interior una sola clase de ácido nucleico o bien ARN o ADN. Es incapaz de realizar ningún tipo de biosíntesis por lo que para su multiplicación requiere de la maquinaria biosintética de una célula huésped que es comandada luego de la infección por su material genético (ARN ,ADN). Las partículas infecciosas resultantes de su multiplicación se denominan *viriones* y son las que se trasmiten de célula a célula en un proceso infeccioso.

CONCEPTOS SOBRE NUTRICIÓN Y CRECIMIENTO MICROBIANO

Los microorganismos para crecer y desarrollar sus actividades, deben disponer en el ambiente de los *nutrientes* que le provean energía y materiales para la biosíntesis. Los microorganismos presentan una gran diversidad fisiológica específica y por lo tanto requerimientos nutricionales específicos.

No es casual, que las células de todos los seres vivos, independientemente de su grado de organización, presenten una composición química constante de aquellos materiales necesarios para la vida. La tabla 1, muestra la composición elemental aproximada de un microorganismo (*Escherichia coli)*.

Tabla 1 Composición elemental aproximada en *Escherichia coli*

Elemento	**Porcentaje del peso seco**
Carbono	50
Oxígeno	20
Nitrógeno	14
Hidrógeno	8
Fósforo	3
Azufre	1
Potasio	1
Sodio	1
Calcio	0,5
Magnesio	0,5
Cloro	0,5
Hierro	0,2
Todos los demás	0,3

Fuente: Stanier, Dourofoff, Adelberg, Microbiología, 1977

El principal nutriente esencial en términos cuantitativos, de todo ser vivo es el *agua,* que representa entre un 80 a 90% del peso total. El 95 % del peso seco de la célula, contiene, *carbono, nitrógeno, fósforo* y *azufre* en orden decreciente de abundancia, así como *hidrógeno* y *oxígeno* (que pueden derivarse metabólicamente del agua).

El porcentaje restante incluye una gran diversidad de elementos. La inmensa mayoría de los seres vivos requieren además, *calcio*, *cinc*, *cobre*, *cobalto*, *hierro*, *manganeso*, *magnesio*, *molibdeno* y *potasio*. Las funciones conocidas de estos elementos se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Funciones fisiológicas conocidas de los principales elementos

Elemento	Funciones Fisiológicas
Hidrógeno	Constituyente del agua celular, de materiales orgánicos celulares
Oxígeno	Constituyente del agua celular, materiales orgánicos celulares: como O_2 aceptor de elementos en la respiración de los aerobios.
Carbono	Constituyente de materiales celulares orgánicos
Nitrógeno	Constituyente de proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas
Azufre	Constituyente de proteínas (como los aminóácidos cisleína y metionina); de algunas coenzimas (p. ej. , CoA, co-carboxilasa)
Fósforo	Constituyente de ácidos nucleicos, fosfolípidos, coenzimas
Potasio	Uno de los principales cationes inorgánicos de las células, cofactor de algunas enzimas
Magnesio	Importante catión celular; cofactor inorgánico para muchas reacciones enzimáticas, incluyendo aquellas que implican ATP; funciona uniendo las enzimas a los substratos: constituyente de las clorofilas.
Manganeso	Cofactor inorgánico de varias enzimas, a veces remplazando al Mg.
Calcio	Importante Catión celular; cofactor para algunas enzimas (p. ej. , Proteínas)
Hierro	Constituyente de citocromos y otras
Cobalto	Constituyente de la vitamina B_{12} y de sus coenzimas derivados
Cobre	Constituyentes inorgánicos de enzimas especiales
Cinc	
Molibdeno	

Fuente: Stanier, Dourofoff, Adelberg, Microbiología, 1977

- **Factores Orgánicos de Crecimiento**

Los compuestos orgánicos que un organismo no pueda sintetizar a partir de fuentes de carbono sencillas, necesariamente deben ser administrados como nutrientes. Estos nutrientes son conocidos como *factores de crecimiento* y de acuerdo a su estructura química y función metabólica se pueden clasificar en tres clases:

- *Aminoácidos*, necesarios como constituyentes de las proteínas.

- *Purinas y pirimidinas*, requeridos como integrantes de los ácidos nucleicos.

¤ *Vitaminas*, forman parte de grupos prostéticos o centros activos de ciertas enzimas

Los factores de crecimiento son requeridos en pequeñas cantidades ya que cubren plenamente las necesidades específicas de las biosíntesis.

- **Requerimientos de Carbono**

Los organismos fotosintéticos, y las bacterias que oxidan compuestos inorgánicos, utilizan como o fuente de carbono su forma más oxidada CO_2. Los restante organismos, obtienen el carbono fundamentalmente de materiales orgánicos. Gran parte del carbono de los materiales orgánicos, es utilizado como fuente de energía y es excretado de la célula como CO_2 que es el principal producto de la *respiración*. Cuando el mecanismo productor de energía es la *fermentación* parte del carbono es excretado como CO_2 y compuestos orgánicos. Las sustancias orgánicas cumplen un doble papel nutricional, son fuente de carbono y fuente de energía. No hay en la naturaleza, ningún compuesto orgánico que no pueda ser utilizado como fuente de carbono y energía por algún microorganismo.

- **Requerimientos de Nitrógeno y Azufre**

El *nitrógeno* en los compuestos orgánicos de las células se presenta en estado reducido como grupo *amino*. La gran mayoría de los organismos fotosintéticos asimilan el nitrógeno en estado inorgánico como nitratos que posteriormente son reducidos. Muchos organismos no fotosintéticos como bacterias y hongos también pueden asimilar el nitrógeno como nitrato, otros microorganismos son incapaces de llevar a cabo esta reducción y utilizan como fuente de nitrógeno formas reducidas de este.

El *azufre* en los compuestos orgánicos de las células se presenta en estado reducido como grupo sulfhidrilo. La mayoría de los organismos fotosintéticos asimilan el azufre en estado inorgánico como sulfatos que posteriormente son reducidos. También bacterias y hongos también pueden asimilar el azufre como sulfato. Las necesidades de nitrógeno y azufre, pueden cubrirse frecuentemente con materiales orgánicos que contienen estos dos elementos en estado reducido.

- **Requerimientos de Oxígeno**

En los organismos superiores, el oxígeno es un componente universal de las células y gran parte de este elemento lo proporciona el agua. No obstante los organismos superiores y muchos microorganismos necesitan además oxígeno molecular ya que dependen de la respiración aerobia como mecanismo generador de energía, donde el oxígeno actúa como oxidante terminal. Estos organismos que requieren oxígeno molecular se les denomina *aerobios obligados*. Dentro de esta categoría, hay algunos grupos que crecen mejor a presiones parciales de oxígeno más bajas (0,2 atm.) que las del aire y se les denomina *microaerófilos .*

Otros microorganismos, obtienen energía por la vía fermentativa o por respiración anaerobia que no implica la necesidad de oxígeno como oxidante terminal. En muchos

casos el oxígeno puede actuar como una sustancia tóxica o bien inhibir el crecimiento. A estos microorganismos se les denomina *anaerobios obligados*.

Otros microorganismos pueden crecer tanto en ausencia como en presencia de oxígeno molecular, alternando la respiración con la fermentación, a estos se les denomina *anaerobios facultativos*.
Un caso particular son las bacterias del ácido láctico, que no son sensibles al oxígeno molecular y en presencia de éste, continúan la fermentación.

CATEGORÍAS NUTRICIONALES

Tradicionalmente, desde el punto de vista de las relaciones tróficas, los seres vivos se clasifican en: *Productores Primarios* o *Autótrofos* (fotosintéticos) que pueden asimilar nutrientes totalmente inorgánicos. *Consumidores* o *Heterótrofos (*herbívoros, carnívoros y omnívoros) que requieren nutrientes orgánicos y *Descomponedores* (bacterias y hongos, principalmente). El principal inconveniente de esta sencilla dicotomía entre autótrofos y heterótrofos es que no contempla la gran variedad de modelos nutricionales que se presenta en la categoría de los Descomponedores.

Una clasificación útil es la que considera la naturaleza de la fuente de energía y la naturaleza de la fuente de carbón. Considerando la *fuente de energía*, los organismos que utilizan la luz como fuente de energía, se denominan *fotótrofos* (fotosintéticos) y los que emplean la energía química como fuente de energía *quimiótrofos*. En referencia a la *fuente de carbono*, los organismos que utilizan CO_2 como principal fuente se denominan *autótrofos* y los que emplean compuestos orgánicos como fuente de carbono *heterótrofos*.

De la conjunción entre estos dos criterios, se pueden establecer las siguientes categorías nutricionales:

- *Fotoautótrofos*, utilizan la luz como fuente de energía y CO_2 como fuente de carbono. Esta categoría incluye, vegetales superiores, algas eucarióticas, algas verdeazuladas y bacterias fotosintéticas.

- *Fotoheterótrofos*, utilizan la luz como fuente de energía y compuestos orgánicos como fuente principal de carbono. En esta categoría se incluye, algunas algas ecucarióticas y bacterias no-sulfobacterias (bacterias fotosintéticas)

- *Quimiautótrofos*, emplean como energía, la energía química de compuestos inorgánicos reducidos y CO_2 como fuente principal de carbono. Es una categoría exclusiva de un grupo especializado bacterias, entre las que se destacan, bacterias nitrificantes, que utilizan (NH_3, NO_2^-) y las que llevan a cabo la oxidación de compuestos reducidos del azufre (SH_2, S, $S_2O_3^{2-}$).

- Quimioheterótrofos, la fuente de energía y la fuente de carbono provienen de compuestos orgánicos. Esta categoría incluye a todos los animales superiores (consumidores), hongos y protozoos y la gran mayoría de bacterias.

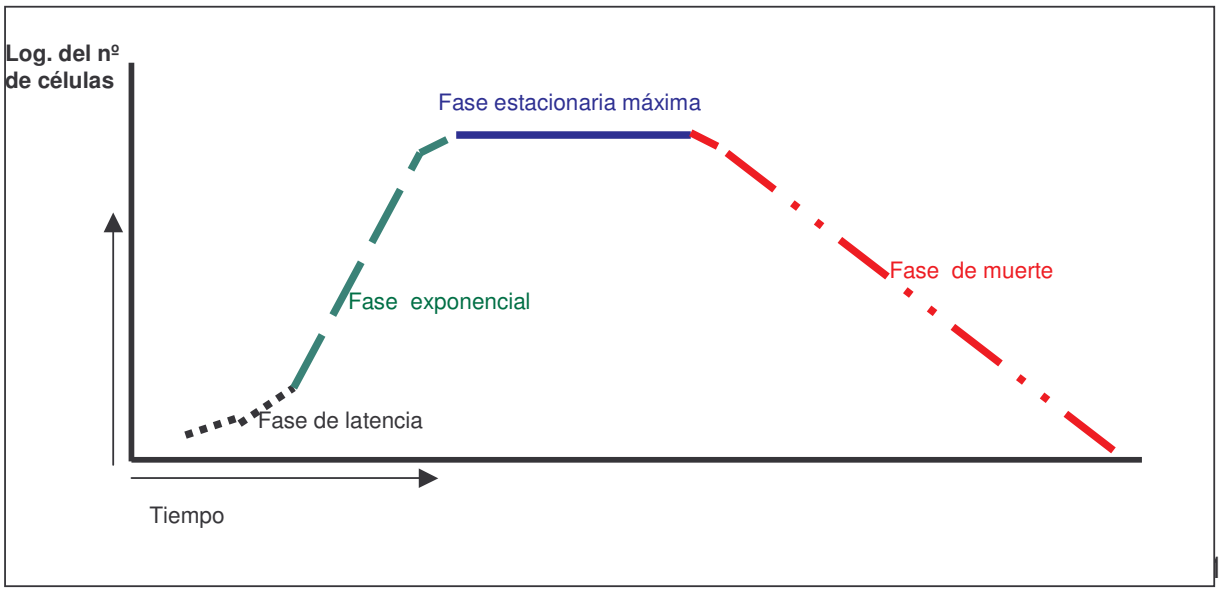
Estas categorías pueden subdividirse en *osmótrofos* que son aquellos que ingresan los nutrientes en forma disuelta y *fagótrofos* que los engloban en forma particulada.
Una segunda subdivisión, puede realizarse en función del mecanismo productor de energía entre *organismos respiratorios* y organismos *fermentativos*.

- **Sintrofía**

En materiales orgánicos en degradación, participan diferentes grupos fisiológicos de microorganismos. Algunos grupos actúan conjuntamente y otros se suceden en el tiempo. Las actividades metabólicas combinadas pueden diferir cuanti-cualitativamente de la suma de los efectos de estos grupos en forma separada. Este fenómeno, es el resultado de interacciones nutricionales y se denomina *efecto sintrófico o sinergético*.

- **Crecimiento**

Para cualquier ser vivo, el *crecimiento* puede definirse como un incremento ordenado de todos los constituyentes químicos del organismo. Es normal que el crecimiento determine la multiplicación celular. En los organismos pluricelulares, la multiplicación celular tiene como consecuencia un aumento en el tamaño del individuo. En los unicelulares conduce a un incremento en el número de individuos. En condiciones favorables, una población de bacterias, se dobla a intervalos regulares de tiempo. Cada célula hija, proveniente de una misma división, tiene el mismo potencial de crecimiento que la célula madre. Si la población se inicia a partir de una única célula, la población se incrementa por cierto tiempo en forma escalonada, no obstante debido a las diferencias individuales de crecimiento, el tiempo de división es asincrónico y el número de células crece en forma continua doblándose la población a intervalos fijos. Este tipo de crecimiento se denomina *crecimiento exponencial o logarítmico*. El crecimiento exponencial raramente se mantiene durante mucho tiempo. Como consecuencia de los cambios ambientales generados por los propios microorganismos el crecimiento se autolimita. Normalmente los factores que limitan el crecimiento son, el *agotamiento de nutrientes* y la *acumulación de productos metabólicos tóxicos*. En un cultivo donde no se aportan nuevos nutrientes, estos factores determinan una curva característica de crecimiento.



Fase de latencia: se produce un retraso en el crecimiento que puede deberse a varios factores. Condiciones desfavorables, humedad, temperatura, falta de nutrientes, sustancias inhibidoras del crecimiento o un inóculo procedente de un cultivo viejo. Esta fase cuando se presenta tiene una duración muy variable.

Fase de crecimiento exponencial: esta fase se inicia cuando la velocidad de crecimiento alcanza su valor máximo y el número de células aumenta. La concentración y naturaleza de los nutrientes, la temperatura y el pH, son algunos de los factores que afectan la velocidad de crecimiento. Por el agotamiento de nutrientes o por la concentración de metabolitos tóxicos la velocidad de crecimiento comienza a decrecer paulatinamente.

Fase estacionaria máxima: por el agotamiento de nutrientes o por la concentración de metabolitos tóxicos la velocidad de crecimiento comienza a decrecer paulatinamente hasta velocidad de crecimiento cero.

Fase de muerte: la población viable disminuye. La cinética de la muerte de las poblaciones bacterianas es exponencial.

- **La concentración de nutrientes en la velocidad de crecimiento**

Para concentraciones de nutrientes bajas la velocidad de crecimiento es proporcional a la concentración. En concentraciones altas, la velocidad de crecimiento alcanza rápidamente su valor máximo que se mantiene hasta que el incremento en la concentración de nutrientes actúa como inhibidor.

- **La Temperatura y la velocidad de crecimiento**

El intervalo de temperatura en que crecen los organismos se presenta entre los –5ºC y +80ºC. Los organismos procariotas (bacterias y algas verdeazuladas) presentan diferencias muy marcadas respecto a la zona de temperatura donde pueden crecer, siendo este un factor limitante para su crecimiento. En función a su relación con la temperatura se clasifican en *termófilos*, *mesófilos* y *psicrófilos*. En la siguiente tabla se muestran los rangos de temperatura para las diferentes clases.

Tabla 3 Principales categorías fisiológicas de las bacterias según su relación con la temperatura.

	Temperatura ºC		
GRUPO	**Mínimo**	**Optimo**	**Máximo**
TERMOFILOS	40-45	55-75	60-80
MESOFILOS	10-15	30-45	35-47
PSICROFILOS			
Obligados	(-5)-(+5)	15-18	19-22
Facultativos	(-5)-(+5)	25-30	30-35

TERMOFILOS: Algas **verdeazuladas, Bacterias formadoras de endosporas** (*B.Stearothernophilus*) Actinomicetos (Thermoactinomices). MESOFILOS: Gran mayoría de microorganismos. Euactinomicetos (*Streptomyces, Mcromonospora)* Bacterias Metanogénicas (*Metanobacterium, Methanococus , Metanosarcina*) Bacterias del ácido láctico Esproulantes anaeróbicos (C*lostridium*)

CONCEPTOS SOBRE METABOLISMO MICROBIANO

El metabolismo puede definirse como el conjunto de procesos que posibilitan la vida. Podemos dividirlo en dos tipos de procesos principales. Los que *generan energía o rutas degradativas*, denominados en su conjunto como rutas catabólicas o *catabolismo* y las *rutas biosintéticas o consumidoras de energía,* que en su conjunto se le conoce como rutas anabólicas o *anabolismo*.

De los tres tipos de metabolismos productores de energía, *fotosíntesis*, *respiración* y *fermentación*, nos ocuparemos brevemente y en particular de la descripción de aquellos procesos que por degradación de los compuestos orgánicos o inorgánicos reducidos, los organismos obtienen energía (rutas catabólicas) la *fermentación* y la *respiración*.

LA FERMENTACION

Fue Louis Pasteur (1822-1895), quién definió la naturaleza microbiológica de la fermentación y su significado fisiológico como una ruta generadora de energía. Definió la fermentación *como vida en ausencia de aire,* descubriendo formas de vida que solo pueden vivir en ausencia de oxígeno e introdujo los términos *aerobia* y *anaerobia* para designar la vida en presencia y en ausencia de oxígeno. Muchos microorganismos que obtienen energía por este metabolismo son *anareobios estrictos* no obstante la mayoría de los fermentadores son *anaerobios facultativos*, es decir, cambian su metabolismo productor de energía en presencia de oxígeno. Una excepción a estas regla son las *bacterias del ácido láctico* que aún en presencia de oxígeno obtienen energía por la vía fermentativa.

Desde el punto de vista de su mecánica la fermentación es un proceso simple. Puede definirse *con un proceso productor de energía en que los compuestos orgánicos actúan como donadores y receptores de electrones*. La consecuencia final de la fermentación de un substrato es una mezcla de productos más oxidados que el substrato y otros más reducidos, por lo que, los compuestos orgánicos que pueden ser degradados por esta vía no deben presentarse ni muy oxidados ni muy reducidos. Los carbohidratos (azúcares) son los principales substratos fermentables y son los compuestos orgánicos predominantes en los tejidos vegetales. La lista carbohidratos y derivados fermentables incluye, polisacáridos como el almidón, celulosa y quitina; disacáridos como la lactosa, maltosa y sacarosa; hexosas como la glucosa, fructuosa y galactosa; pentosas como la arabinosa y xilosa; ácidos de azúcares como el glucónico y glucorónico y polialcoholes como el manitol y el glicerol.

Otros compuestos orgánicos, como ácidos orgánicos, aminoácidos, purinas y pirimidinas son fermentables por algunos grupos de bacterias. Un ejemplo es la fermentación de los

aminoácios por el género *Clostridium*. Las rutas fermentativas de los carbohidratos y derivados varían mucho de acuerdo a los grupos microbianos.

Tomando como ejemplo la general la fermentación de la glucosa que es realizada por prácticamente todos lo grupos se pueden distinguir las siguientes fermentaciones bacterianas que se realizan por la ruta de Embden-Meyerhoh: Alcohólica, Homolática, Acida mixta, Butanodiólica, Butírica Butano-acetona y Propiónica.
Los principales productos finales de las fermentaciones son ácidos orgánicos y/o alcoholes,por lo que normalmente se produce una acidificación del medio.

LA RESPIRACION

La respiración se puede definir como un proceso productor de energía en que los donadores de electrones son compuestos orgánicos o inorgánicos reducidos. Si el aceptor final de electrones o agente oxidante es el oxígeno se denomina *respiración aeróbica* y si el aceptor final de electrones es un compuesto inorgánico diferente del oxígeno se denomina *respiración anaeróbica*.

RESPIRACION AEROBICA

Este metabolismo se cumple en presencia de oxígeno. Los microorganismos pueden obtener energía por la vía de la respiración aeróbica tanto a partir de *compuestos orgánicos* como de compuestos *inorgánicos reducidos*.

Oxidación de compuestos orgánicos

Gran parte del carbono de los *compuestos orgánicos* son por lo general oxidados completamente a CO_2 , otra fracción de este elemento es asimilado en la síntesis de los materiales celulares. No existe ningún compuesto orgánico que no pueda ser utilizado como substrato para la respiración de algún microorganismo.

Ante limitaciones de oxígeno, altas concentraciones del substrato, pH desfavorables, la oxidación de los compuestos orgánicos puede ser incompleta. Hay grupos de bacterias, bacterias de ácido acético (g. *Acetobacter*) que oxidan parcialmente el etanol. En una primera etapa los transforman en ácido acético, cuando agotan este alcohol lo oxidan a CO_2. Las oxidaciones incompletas de los compuestos orgánicos, son frecuentes en parvas o pilas de materiales en compostación donde no se realiza una manejo adecuado, y tiene como consecuencia más destacable un significativo retraso en el proceso. Las bacterias del ácido acético oxidan otros substratos además del etanol, alcoholes primarios, secundarios y carbohidratos.

Oxidación de compuestos inorgánicos

La propiedad de oxidar compuestos inorgánicos reducidos es exclusiva de las bacterias y de gran importancia en el ciclo de la materia. Los grupos fisiológicos que realizan este tipo de respiración se les denomina *quimioautotrofos*. Entre los compuestos inorgánicos reducidos que pueden ser oxidados citamos: NH_3 , NO_2-, CO, H_2 , Fe^{2+}, SH_2, $S_2O_3^{2-}$, S.

RESPIRACION ANAEROBICA

En ausencia de oxígeno, muchas bacterias son capaces de realizar el metabolismo respiratorio, que es denominado respiración anaeróbica. Los oxidantes en lugar del oxígeno son nitrato, sulfato o carbonato. La oxidación de nitrato a nitrito, es un proceso que no favorece un crecimiento normal en condiciones de anerobiosis ya que se requiere una gran cantidad de nitrato y los productos de la reducción del nitrito es muy tóxico.
La oxidación anaeróbica del nitrato a nitrógeno molecular (N_2), es el proceso conocido como *denitrificación*.

Entre los microorganismos que intervienen en este proceso se destacan las especies de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus.* En presencia de oxígeno aunque el nitrato este presente en cantidades importantes no se da el proceso de denitrificación ya que la denitrificación es una ruta alternativa. La utilización del sulfato como agente oxidante, es propia de un pequeño grupo de microorganismos (g. *Desulfovibrio* y algunos *Clostridium*). A diferencia de la denitrificación, la reducción de sulfatos no es una ruta alternativa y se da en condiciones de anaerobiosis. Las bacterias productoras de metano o metanogénicas utilizan el carbonato como agente oxidante. Son estrictamente anaerobias y además del carbonato para la producción de metano, pueden utilizar compuestos orgánicos como el metano y el ácido acético.

Las respiraciones aneróbicas, son metabolismos frecuentes en procesos de compostaje inadecuados o en acopios de compost por períodos muy prolongados. El resultado final es la pérdida de importantes cantidades de nutrientes de interés para los productores primarios (autotrofos). Por lo que es necesario controlar o evitar este tipo de metablismos.

RESUMEN

En términos de energía, la vida en nuestro planeta bajo las condiciones actuales, depende de la transformación de la energía solar en energía química. Los seres vivos que llevan a cabo esta transformación son los autótrofos (productores primarios) mediante la fotosíntesis. Para que esta transformación se realice es necesario una fuente constante de energía lumínica y la disponibilidad de elementos químicos bajo las formas químicas adecuadas para ser asimilados por los autótrofos, que son los únicos capaces de biosintetizar compuestos o materia orgánicos a partir de los elementos mencionados. La energía química contenida en estos compuestos orgánicos será la fuente de energía para el resto de los seres vivos que no tienen esta capacidad metabólica, es decir para los heterotrofos (consumidores).

En términos químicos, los elementos esenciales para la vida, en formas químicas sencillas, generalmente en estado oxidado, son utilizados por los autótrofos como nutrientes, siendo reducidos y pasando a formar parte de compuestos orgánicos. Los elementos químicos de estos compuestos orgánicos son resintetizados por los consumidores pasando en su mayoría a formar parte de nuevas sustancias orgánicas. Desde el punto de vista químico y

con un enfoque muy general, la vida se caracteriza por un estado reducido de los elementos y la ausencia de vida por un estado oxidado de los mismos.

Los elementos esenciales para la vida están en nuestro planeta en un número constante, por lo que la continuidad de la vida en la Tierra solo es posible en la medida que los elementos químicos contenidos en la materia viva, retornen nuevamente a las formas químicas asequibles como nutrientes para los productores primarios.

La Naturaleza *recicla* permanentemente los elementos de interés biológico y en el transcurso de la evolución ha creado los mecanismos necesarios. El grupo de organismos que lleva a cabo este reciclaje de la materia orgánica son los Descomponedores y sin ellos sería imposible la vida.

Como hemos visto en este capitulo, dentro de los descomponedores, las bacterias son sin duda por su ubicuidad y por su diversidad fisiológica colectiva, las responsables de las transformaciones finales de la materia orgánica. No hay, compuesto orgánico alguno que tarde o temprano no sea degradado por alguna bacteria, sólo es una cuestión de tiempo.

La transformación de los compuestos orgánicos a moléculas sencillas, siempre es consecuencia del crecimiento y metabolismo de los microorganismos, que utilizan estos compuestos y sus intermediarios como fuente de energía o de carbono.

Cuando nos proponemos procesar desechos orgánicos a través de biotécnicas como el compostaje o biodigestión anaerobia, no estamos más que tratando de reproducir a escala, y parcialmente lo que sucede en la naturaleza.

Los conocimientos sobre nutrición, crecimiento y metabolismo de los microorganismos nos permitirá comprender los fundamentos de las técnicas de compostaje que desarrollaremos en este manual.

ANEXO 2

MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA
DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
DIVISIÓN SUELOS Y AGUAS

INTENDENCIA MUNICIPAL DE MALDONADO
UNIDAD DE DIVULGACIÓN AMBIENTAL
DIRECCIÓN DE HIGIENE AMBIENTAL

Síntesis de los Estudios de las Enmiendas Orgánicas

ING.AGR. HORACIO RIVERO
ING.AGR. SUSANA KAUSAS
Tec.Lab. Yolanda González
Téc.Agrop. Enrique Nieves

I. CONVENIO MGAP – IMM

I. a INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

La División de Suelos y Aguas, perteneciente a la Dirección General de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca del Uruguay, dispone de un Departamento de Laboratorio de Análisis de Suelos y Aguas que presta servicios a los productores agropecuarios. A su vez dentro de la misma División se ha elaborado la Ley Nº 15.239 y su reglamentación con referencia al " MARCO LEGAL PARA EL USO, MANEJO Y CONSERVACION DE SUELOS Y AGUAS CON FINES AGROPECUARIOS".

La misma es el resultado de años de relevamientos edafológicos, verificándose el deterioro de suelos, erosión, degradación de áreas importantes del País debido a su uso intensivo sin medidas adecuadas de conservación y restitución de la fertilidad natural, predominando el uso extractivo. Uno de los elementos fundamentales que importa preservar y/o recuperar es la materia orgánica y por tanto la fertilidad y productividad de los mismos. A tales afectos se inician diversos contactos para canalizar experiencias de reincorporación de materia orgánica, tratándose de identificar residuos diversos (vegetales, animales) cuya disposición final es compleja, cómo en el caso de la cáscara de arroz, lodos, etc. En primera instancia y por previo conocimiento se inicia a partir del año 1994, un pequeño proyecto a nivel de laboratorio en conjunción con la Ecole Nationale Superieure Agronomique de Toulouse – Francia , por medio del Dr. Michel Kammerer, especialista en el tema; financiado y apoyado por el Consejo Nacional de Investigación, Ciencia y Tecnología (CONICYT) del Uruguay. El mismo consistió en evaluar el compostaje de materiales cómo cáscara de arroz y aserrines diversos a nivel de microfermentadores en el laboratorio. Posteriormente y dados éstos antecedentes se inician contactos con la Unidad de Divulgación Ambiental de la Intendencia Municipal del Departamento de Maldonado, cuyas autoridades se interesaron por la resolución de situaciones ambientales adversas generadas por la acumulación de residuos diversos urbanos y rurales, por lo cual se concreta un convenio de trabajo a partir del año 1996.

I. b OBJETIVOS DEL CONVENIO MGAP/DSA – IMM/UDA

1. Resolver la disposición de restos orgánicos que generan inconvenientes ambientales a nivel del Departamento de Maldonado; caso de podas de parques y jardines, estiércoles de tambos, gallineros y lodos sanitarios.
2. Reciclar los restos orgánicos mediante su conversión en productos útiles a los suelos y plantas a nivel del ámbito productivo (intensivo) así cómo de parques y jardines.
3. Realizar el seguimiento a nivel analítico de los productos obtenidos, su efecto en los suelos y su impacto en la producción con cierto énfasis en la producción orgánica (horticultura).
4. Al mismo tiempo de obtener la información necesaria que se adecue a la región es fundamental incorporar al ámbito productivo las prácticas necesarias para elaboración de compost; ajustando su factibilidad de acuerdo a la realidad local existente, teniendo en cuenta la disposición de materiales, maquinaria, personal, etc. conjuntamente con los costos que justifiquen su ejecución.

I. c ACTIVIDADES REALIZADAS

En primer lugar se evaluaron los residuos existentes, donde cabe aclarar que no se incluyeron los residuos domiciliarios (basura) ya que existía en el Departamento de Maldonado una empresa que disponía de los mismos en forma adecuada, elaborando fertilizantes orgánicos. Se realizaron experiencias con cáscara de arroz, con resultados mediocres, posteriormente se dejó de usar ya que no es un residuo local y su acarreo implicaba costos importantes, sobretodo de fletes.
La actividad se concentró en el Sur del departamento donde se concluyó que los residuos a tener en cuenta por orden de importancia eran las podas de parques y jardines, los lodos sanitarios y los estiércoles animales (vacunos y aves).

Se iniciaron actividades de compostaje de estiércoles vacunos (tambos) y gallinas junto con las podas de parques y jardines. También experiencias en cantidades importantes con estiércoles vacunos y podas, ya que se dispone en forma parcial la maquinaria de la Intendencia; camiones de 6 m^3 de capacidad para acarreo de los materiales y tractores con pala delantera para remoción de las pilas. A menor escala, en predios de pequeños productores hortícolas, se realizaron experiencias de compostaje y vermicompostaje, utilizándose restos vegetales, estiércoles de gallinas y vacunos.

Los composts elaborados por éstos productores generan el problema de disponibilidad de maquinaria para la remoción periódica de las pilas o de mano de obra, las cuales son limitantes. En el caso del vermicompost, no ocurre lo mismo ya que la propia acción de la lombriz sustituye las remociones, hecho a tener muy en cuenta en condiciones similares, obteniéndose un excelente material. En el caso de los lodos sanitarios se realizaron experiencias pequeñas en función de los riesgos y cuidados que involucra su manejo, no obstante se está iniciando un programa de trabajo a mayor escala, con apoyo de evaluación microbiológica, hecho que hasta el momento no se había realizado por no estar consustanciados en esa disciplina y no disponer de las tecnologías correspondientes, que a su vez no son temas de la División de Suelos y Aguas.

En todos los casos mencionados se obtuvieron materiales finales por compostaje o vermicompostaje, los que fueron evaluados a nivel químico, siendo la primera etapa de obtención de datos, se presentan los datos en la parte II.

I. d ACTIVIDADES FUTURAS

Habiendo caducado el período de convenio con la Intendencia Municipal de Maldonado, se está en las instancias de su renovación, lo cual permitirá la continuación de los trabajos para obtención de los objetivos trazados. A nivel operativo de campo se tratará de obtener maquinaria para picado de los materiales vegetales gruesos, el no disponer de la misma ha sido un importante obstáculo para continuar con el proyecto impidiendo aumentar los volúmenes de productos a manejar.

A nivel de laboratorio se ampliarán los análisis Químicos y Físicos cómo; ácidos húmicos, aminoácidos, retención de agua, porosidad, densidad etc. Se están realizando las experiencias de campo de evaluación de compost agregado al suelo en cultivos bajo invernáculo, lo que está directamente vinculado con otro proyecto en inicio que involucra al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Facultad de Agronomía, apoyado por el Consejo Nacional de Investigación, Ciencia y Tecnología (CONICYT) y la División Suelos y Aguas del MGAP. El mismo dará continuidad al iniciado en 1994, donde también se seguirán evaluando materiales en microfermentadores en el Laboratorio de Suelos y Aguas.

El incremento de elaboración de compost a distintas escalas para su uso directo o venta amerita su evaluación de calidad así cómo su clasificación. Esto se realiza a través de normas o leyes que establecen padrones de calidad. En Uruguay no se tiene por ahora este tipo de normativa pero la División Suelos y Aguas por medio de su equipo técnico idóneo en el tema ha iniciado un anteproyecto a tal fin.

A. DATOS DE ANALISIS DE MATERIALES COMPOSTABLES PUROS

PARAMETROS	LODO SANITARIO	EST. GALLINA	EST.GALLINA/CAMA*	EST.VACUNO
PH	5,7	7,9	7,9	**8,4**
M.O%	44	**75**	75	52
C.orgánico	32	41	**44**	36
N total - %	1,94	**5,09**	2,84	1,97
Relación C/N	16,5	8	15,5	18
P total - %	0,62	**3,97**	1,68	0,85
K total - %	0,07	**1,67**	**1,67**	1,11
Ca total - %	1,94	**5,6**	2,29	1,6
Mg total - %	0,28	0,07	0,64	**0,72**
Na total - %	0,04	**0,46**	0,36	0,25
Fe total - ppm	**6322**	514	834	2682
Mn total - ppm	244	166	**336**	255
Zn total - ppm	**984**	170	142	84
Cu total - ppm	**131**	33	19	21
Pb total - ppm	403	_	_	_
Cd total - ppm	2	_	_	_

B. DATOS DE ANALISIS DE MATERIALES COMPOSTADOS

PARAMETROS	COMP.LODO+ARROZ	TIPIFICACION*	COMP.EST.GALL.	TIPIFICACION*	COMP.EST.VACUNO	TIPIFICACION*
PH	6,1	*DEB. ACIDO*	6,2	*DEB. ACIDO*	7,8	*ALCALINO*
M.O. %	10	*BAJA*	27,3	*BAJA*	20,5	*BAJA*
C.orgánico %	6		13,3		12,4	
N total %	0,3	*MUY BAJO*	1,7	*ADECUADO*	0,78	*BAJO*
Relación C/N	18	*ADECUADA*	7,8	*MUY BAJA*	17,1	*ADECUADA*
P total %	0,14	*BAJO*	3,7	*ALTO*	0,36	*BAJO*
K total %	0,033	*MUY BAJO*	0,7	*BAJO*	0,97	*BAJO*
Ca total %	0,4	*MUY BAJO*	8,8	*ALTO*	1,09	*BAJO*
Mg total %	0,08	*MUY BAJO*	0,69	*BAJO*	0,24	*MUY BAJO*
Na total %	0,02	*S/T*	0,34	*S/T*	0,13	*S/T*
Fe total ppm	1570	*BAJO*	2272	*ADECUADO*	2164	*ADECUADO*
Mn total ppm	83	*BAJO*	349	*ALTO*	249	*BAJO*
Zn total ppm	177	*BAJO*	276	*BAJO*	31,3	*MUY BAJO*
Cu total ppm	24	*BAJO*	24	*BAJO*	4,7	*MUY BAJO*

- tipificacion ajustada a las Normas de la CEE y EEUU
- S/T = sin tipificar MGAP-DSA/IMM-UDA-DHA

C. COMPARACION DE DATOS ENTRE MATERIALES PUROS Y COMPOSTADOS
1. LODOS SANITARIOS

PARAMETROS	LODO PURO	COMP. LODO+CASC. ARROZ
PH	5,7	6,1
M.O. %	44	10
C orgánico %	32	6
N total %	1,94	0,3
Relación C/N	16,5	18
P total %	0,62	0,14
K total %	0,07	0,033
Ca total %	1,94	0,4
Mg total %	0,28	0,08
Na total %	0,04	0,02
Fe total ppm	6322	1570
Mn total ppm	244	83
Zn total ppm	984	177
Cu total ppm	131	24

MGAP - DSA / **IMM -** UDA - DHA

2.- ESTIERCOL DE GALLINA

PARAMETROS	EST. PURO	EST. + CAMA	COMPOST
PH	7,9	7,9	6,2
M.O. %	75	75	27,3
C orgánico	41	44	13,3
N total - %	5,09	2,84	1,7
Relación C/N	8	15,5	7,8
P total - %	3,97	1,68	3,7
K total - %	1,67	1,67	0,7
Ca total - %	5,6	2,29	8,8
Mg total - %	0,07	0,64	0,69
Na total - %	0,46	0,36	0,34
Fe total - %	514	834	2272
Mn total - %	166	336	349
Zn total - %	170	142	276
Cu total - %	33	19	24

MGAP - DSA / **IMM -** UDA – DHA

3.- ESTIÉRCOL VACUNO

PARAMETROS	ESTIERCOL	COMPOST
PH	8,4	7,8
M.O.%	52	20,5
C orgánico	36	12,4
N total - %	1,97	0,78
Relación C/N	18	17,1
P total - %	0,85	0,36
K total - %	1,11	0,97
Ca total - %	1,6	1,09
Mg total - %	0,72	0,24
Na total - %	0,25	0,13
Fe total - %	2682	2164
Mn total - %	255	249
Zn total - %	84	31,3
Cu total - %	21	4,7

MGAP - DSA / **IMM -** UDA - DHA

D.- CUADRO COMPARATIVO COMPOST/VERMICOMPOST

MATERIALES EVALUADOS

A.- Compost de estiércol de gallina y restos vegetales; mezcla inicial mitad y mitad
B.- Compost de estiércol vacuno y restos vegetales; mezcla inicial mitad y mitad
C,.- Compost de residuos orgánicos domiciliarios (basura)
D.- Vermnicompost: estiércol de gallina y restos vegetales; mezcla inicial mitad y mitad
E.- Vermicompost: estiércol de gallina y restos vegetales; mezcla inicial mitad y mitad.

PARAMETROS	A	B	C	D	E	F
PH	6,5	7,3	8	7,4	7,2	7,5
M.O. %	35	23	15,2	27,3	31,4	23
C orgánico %	17,3	12,3	7,2	15,5	19,2	12
N total - %	2	0,74	0,61	1,3	1,4	1,1
Relación C/N	9	19	12	12	14	11
P total - %	3,8	0,34	0,19	2,8	0,45	0,29
K total - %	0,94	0,41	0,33	0,29	0,33	0,57
Ca total - %	19,8	1,5	3,1	9	1,9	2,8
Mg total - %	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Na total - %	0,44	0,17	0,16	0,17	0,16	0,12
Fe total - %	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Mn total - %	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Zn total - %	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
Cu total - %	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d

II. CONCLUSIONES PRELIMINARES

1.- Información de campo

Cada unidad geográfica o política (cuenca, poblado, departamento, zona, etc.) determina cual o cuales son los residuos que generan problemas ambientales, a los que se debe aplicar un estudio de factibilidad de reciclaje en función de costos y beneficios ambientales y productivos. El procesamiento y uso de materiales orgánicos compostados es una alternativa a estudiar según las circunstancias, lo que no invalida el uso de algunos materiales puros directamente en el campo, con el seguimiento y evaluaciones adecuadas al caso. La disponibilidad de infraestructura adecuada , tractor con pala, camión, agua, etc. determina el éxito de un emprendimiento de reconversión de residuos

2.- Información de laboratorio

Dada la alta variabilidad de las características químicas, físicas y biológicas de los productos orgánicos procesados, no se deben tomar los datos expuestos cómo generalizables. El apoyo de una unidad de análisis de evaluación química, física y biológica continua es imprescindible para lograr el mejor producto final posible. En ésta primera etapa se han valorado macro y microelementos determinantes de la nutrición vegetal, así cómo también niveles de toxicidad en los materiales estudiados que involucra a algunos elementos pesados cómo Cadmio y Plomo en especial en lodos sanitarios. Se aspira a evaluar el total de esos elementos a los que se agregarán determinaciones de: nitratos y conductividad eléctrica para determinar concentración de sales. Se está en total conocimiento de que los efectos beneficiosos de los compost dependen de un conjunto de compuestos en acciones sinérgicas que incluyen a los ácidos húmicos, fauna microbiana y propiedades físico-químicas intrínsecas. Es objetivo de éste grupo de trabajo avanzar también en la evaluación de éstos, así cómo sus efectos en los suelos y cultivos.

De los datos de análisis se infiere que el estiércol de gallina es quien aporta mayores nutrientes tanto puro como compostado. En éstos se incluye el sodio (Na) lo que constituye un serio problema por su acumulación en los suelos y su efecto tóxico para las plantas, mas que nada en aquellos con drenaje pobre, muy arcillosos. Queda por evaluar cuáles son los niveles de éste elemento que inciden negativamente, lo que por supuesto está asociado al tipo de suelo y cultivo. El compostaje demuestra que disminuye el tenor en sodio con respecto al producto inicial y en tanto el vermicompostaje (por acción de lombrices) es más eficiente aún en la disminución de éste elemento, hecho a tener muy en cuenta para el manejo de los materiales con altos niveles del mismo.

Los materiales evaluados tienen interesantes posibilidades, más aún teniendo en cuenta los problemas ambientales que generan asociado a los altos volúmenes que se producen. De acuerdo a lo valorado, el proceso de compostaje lleva a una disminución de los nutrientes disponibles en comparación con los productos orgánicos puros (estiércoles).

Esto se explica por la mezcla con materiales celulósicos, mas pobres y por lavado de las pilas de compostaje. Dicha pérdida se compensa por la formación de ácidos húmicos y complejos orgánicos estables y sus efectos en las propiedades físico-químicas y biológicas de los suelos y por tanto en su conservación y en el desarrollo vegetal.

Los valores de nutrientes en los compost analizados, en general están por debajo de los pautados cómo adecuados, según las normativas de la Comunidad Económica Europea y Estados Unidos de América, lo que indica la necesidad de mejorar la eficiencia del proceso. No obstante ésta tipificación varía de acuerdo a la clasificación del producto final obtenido, si se toma al compost cómo material mejorador de los niveles de nutrientes, entonces se acepta que se está por debajo de los niveles establecidos. Por el contrario si se le toma cómo una enmienda orgánica, dónde su efecto principal en el suelo es solamente físico, la categorización mencionada no da a lugar.