

*Una visión ecosistémica de los procesos de  
depuración de aguas residuales y compostaje de  
biosólidos como herramienta de divulgación del  
conocimiento.*

*Lic. Ricardo Miguel Gatto  
- 2 0 1 2 -*



*Trabajo final integrador de la carrera  
Especialista en Tratamiento de Efluentes y Residuos Orgánicos  
(U.N.R.N. Resolución N° 34/08)*

*Director: Dra. Graciela Mabel Calabrese  
Co-Director: Dra. María Julia Mazzarino*



## **Agradecimientos**

A Daniela Paz y Vilma Carrasco de la Escuela N° 328 por organizar los horarios de trabajo que me permitieron asistir a las clases de la carrera E.T.E.R.O.

A la Dra. Graciela Mabel Calabrese por el acompañamiento, asesoramiento y estímulo constante durante la realización de este documento.

A la Dra. María Julia Mazzarino por su revisión general y aportes para la mejora de este trabajo.

A los compañeros y compañeras de la especialización que, desde su formación académica, hicieron que el plan de estudios se nutriera a partir de un enfoque multidisciplinario de las temáticas.

A Germán Rey, quien desde un primer momento, estuvo acompañando esta formación académica.

# Índice

Resumen.....	1
Capítulo I Tratamiento de efluentes.....	2
1.1. Marco referencial.....	3
1.1.1. Para empezar el tema.....	3
1.1.2. Aspectos técnicos.....	6
1.1.3. Yo cierro, tú cierras, él cierra... la canilla.....	7
1.1.4. ¿Qué viaja por las cloacas?.....	8
1.1.5. Pequeño o grande, pero siempre ecosistema.....	9
1.2. Proceso de tratamiento de efluentes de una ciudad sin actividad Industrial.....	11
1.2.1. Estación de bombeo.....	11
1.2.2. Desarenado.....	11
1.2.3. Tanque anaerobio.....	12
1.2.4. Reactor biológico.....	12
1.2.5. El Floc va al laboratorio.....	16
1.2.6. Respirar en el reactor.....	16
1.2.7. Tanques decantadores (sedimentadores).....	21
1.2.8. Desinfección.....	22
1.2.9. Controles de proceso.....	24
Capítulo II Tratamiento de residuos orgánicos.....	26
2.1. Marco referencial.....	27
2.1.1. Barro tal vez...(he de fusionar mi resto con el despertar).....	27
2.1.2. De las tortitas de barro en el jardín de casa, al suelo como sistema ecológico.....	28
2.1.3. Suelo ¿ser o no ser?.....	30
2.1.4. Las ex.....	31
2.2. El compostaje.....	34
2.2.1. Se va la primera!.....	34
2.2.2. Una última vuelta por la planta de tratamiento de efluentes.....	35
2.2.3. ¿Qué se necesita para hacer el compost?.....	36
2.2.4. El compostaje como una pila de conocimientos.....	38
2.2.5. Calor de hogar... microscópico.....	40
2.2.6. Temperatura en aumento ¡cuidado con el golpe de calor!.....	41
2.2.7. La experiencia a nivel nacional.....	43
Conclusión.....	46
Bibliografía consultada.....	47

## **Resumen**

La gestión de los efluentes y los residuos orgánicos tiene diferentes formas de abordarse, ya sea por sistemas individuales a nivel doméstico o de forma comunitaria en plantas de tratamiento. Éstas últimas, necesitan una gestión integral que resuelva dos aspectos: el primero, la depuración del agua y el segundo, el tratamiento de los barros (biosólidos) generados como subproducto del proceso.

El desarrollo científico en torno a la depuración de efluentes por medio de cultivos en suspensión y el tratamiento posterior de los biosólidos, es una muestra de la experiencia y conocimiento acumulado en torno al desarrollo de la biotecnología para la protección ambiental. Las técnicas de tratamiento en ambos casos, reproducen ecosistemas microbianos, con parámetros físicos, químicos y biológicos controlados. Ello permite el desarrollo de comunidades de organismos que harán el trabajo sucio y noble de devolver al ambiente recursos escasos como el agua y nutrientes del suelo, de manera inocua para los seres vivos.

Palabras clave: Efluentes, residuos orgánicos, microorganismos, ecosistema

## **Abstract**

The management of effluents and organic waste can be treated in different ways, either by individual systems at home or in community treatment plants. The latter need a comprehensive management to resolve two issues: first, water purification and the second, the treatment of sludge (biosolids) generated as a by-product of the process.

Scientific development around the depuration of effluents through suspension cultures and subsequent treatment of biosolids, is a sign of experience and accumulated knowledge on the development of biotechnology for environmental protection. Treatment techniques in both cases, reproduce microbial ecosystems with physical, chemical and biological controlled parameters. This allows the development of communities of organisms that will do the noble and dirty work of restoring the environment, scarce resources like water and soil nutrients, in a harmless way to living things.

Keywords: Effluent, organic waste, microorganisms, ecosystem

# **CAPÍTULO I**

## **Tratamiento de efluentes**

## **1.1. MARCO REFERENCIAL**

El proceso de depuración de agua suele confundirse conceptualmente con el proceso de potabilización de agua. Este último es abordado como tema habitual durante el proceso escolar. Posiblemente por la falta de plantas de tratamiento de aguas negras (o aguas cloacales) en las ciudades o por ser un tema que produce cierta antipatía dada la materia prima con la cual trabaja, está generalmente ausente en la currícula escolar. Sin embargo, debido a la riqueza del proceso, resulta ser un campo de conocimiento que permite abordar la temática desde distintos enfoques: biológico, ambiental, ecológico, cultural, gestión de recursos naturales, etc.

El proceso de depuración consta de diferentes momentos que en su conjunto forman la gestión integral de las aguas negras que se producen en una ciudad. En términos generales es un proceso donde actúan fuerzas físicas y biológicas para la depuración de aguas. De allí surge lo maravilloso de este tratamiento, que permite convertir el agua cloacal en un agua apta para volcarla al ambiente reduciendo al mínimo el impacto posible.

El objetivo de este trabajo es explicar los conceptos técnicos utilizados en la depuración de aguas de una ciudad, considerando un lenguaje que permita hacer una lectura llevadera al lector que no se halla familiarizado con la temática. No se profundizará en los casos en donde hay ausencia de tratamiento, sin desconocer las consecuencias ambientales que ello implica.

### **1.1.1. Para empezar el tema**

Las ciudades cuentan con una estructura visible en donde se desarrolla la mayoría de las actividades que resultan sencillas de identificar y analizar. Por otro lado, la parte oculta de las urbanizaciones, aquella que se encuentra bajo nuestros pies, suele pasar desapercibida. Dentro de este conjunto de infraestructuras que sirve de soporte a nuestras vidas, se encuentran las redes de desagües pluviales (agua de lluvia y deshielo) y cloacales (aguas negras).

En función de la evolución urbana y de la planificación de las ciudades éstas pueden estar separadas unas de otras. En una escala menor podemos pensar en las viviendas. Por un lado, el agua residual de nuestras casas se conduce por medio de desagües a pozos o cámaras drenantes, o bien a las cloacas si existe la posibilidad de conexión. Por otro lado, el agua de lluvia que cae sobre el techo o patios se conduce al suelo, para que se infiltre. Se emplean dos sistemas diferentes de eliminación de estos tipos de aguas.

Sin embargo, en muchas ciudades las redes están unificadas, mezclando aguas de diferentes orígenes: cloacal y pluvial. Algunas causas pueden ser históricas por la falta de conocimiento sobre el impacto ambiental, o económicas, para lograr el mayor aprovechamiento de materiales y así abaratar los costos de construcción.

El uso de cloacas es conocido desde los antiguos romanos (Figura Nº 1), pasando por los primeros alcantarillados de Londres, hasta las ciudades modernas. Los desechos cloacales generalmente tenían como destino algún curso de agua como ríos, arroyos, lagos,



Figura Nº 1  
Cloaca máxima de Roma. Siglo IV a.C.  
Fuente: <http://www.artehistoria.jcyl.es/>

mar... Actualmente, en muchos lugares esto se sigue realizando, por falta de proyectos o dinero para el tratamiento de efluentes.

Este tipo de proceso de eliminación de líquidos cloacales “en crudo” (sin tratamientos) confía en los procesos naturales de degradación para la eliminación del residuo en un tiempo determinado. Se dice en ese caso que el ambiente tiene capacidad de carga, de absorción, de remediación sin la intervención del hombre. Sin embargo, al crecer la población de las ciudades y eliminar mayor cantidad de líquidos y sustancias más complejas por las cloacas, la situación es muy diferente. La capacidad de carga se supera, es decir, que se elimina más de lo que el ambiente puede absorber, se crean

situaciones de contaminación, focos de enfermedades, alteración de las condiciones naturales del suelo o del agua. Al volcar a los cursos de agua los líquidos cloacales crudos o con tratamientos insuficientes, una de las tantas consecuencias es el incremento de nutrientes, en particular nitrógeno y fósforo. Ello produce un efecto conocido como eutrofización. Con esa palabra se quiere indicar el aumento de nutrientes en el ecosistema acuático. Este ingreso de nutrientes aporta elementos que mejoran el crecimiento vegetal, especialmente algas.

A simple vista, un indicador del proceso de eutrofización es la aparición y posterior aumento de especies de algas filamentosas (como la baba de sapo, verdín, etc.) (Figura N° 2). Con el tiempo, las consecuencias para el agua y especies que viven allí no son



Figura N° 2  
Proceso eutrofización en lago San Roque (Córdoba)  
Fuente: Ing. Nelson Rivero , <http://www.funeat.org.ar/>

muy alentadoras. El escenario más temido es que, poco a poco, el oxígeno del agua se reduzca y ese ambiente se vaya transformando en un ambiente parecido a los pantanos: aguas verdes, olor a podrido, desaparición de peces y aves acuáticas,... Los ambientes acuáticos más perjudicados por el proceso de eutrofización son aquellos donde el agua se encuentra encerrada en lagunas, lagos pequeños y también las riveras de ríos y arroyos de aguas lentas.

Al aplicar tecnología para el tratamiento de las aguas residuales, se espera eliminar el agua residual de las ciudades a la vez que se busca impedir la eutrofización de un cuerpo de agua receptor.



### 1.1.2. Aspectos técnicos

La red cloacal en los asentamientos urbanos está formada por caños de gran diámetro, fabricados antiguamente con cemento o actualmente con materiales de PVC. No los podemos ver, pues se hallan enterrados formando una red de colectores. El armado de la red implica un diseño que contemple la pendiente de los caños, cámaras de inspección para realizar el mantenimiento, y, en algunos casos, utilizar bombas mecánicas para impulsar el líquido. Por este entramado de caños, se transportan los efluentes urbanos y de algunos centros industriales (previamente tratados). En este caso, al hablar de efluentes nos referimos a todo material líquido y sólido (orina, heces, aguas de lavado, etc.) producido en las casas, instituciones, oficinas, aeropuertos, sanitarios, etc., y que son colectadas para darles algún tipo de tratamiento que amortigüe el efecto en el ambiente.

En muchas ciudades, la red cloacal y los desagües pluviales (para agua de lluvia) se unen en el mismo sistema, para terminar en la planta de tratamiento de efluentes. Esta característica puede generar diferentes situaciones que dificultan la capacidad operatoria de la planta. Ello ocurre al tener casi inmediatamente un aumento en el volumen de agua que ingresa. A ello se suman una serie de aportes de aguas subterráneas y vertientes que drenan a los desagües, aumentando el caudal que llega a la planta de tratamiento. Esta situación ocurre en particular cuando la red está formada por caños antiguos de cemento que tienen fisuras o roturas normales por el desgaste de los materiales.

Por lo dicho anteriormente, la instalación de una planta de tratamiento necesita de un proyecto que considere los niveles máximos y mínimos de efluentes que ingresan a la planta. Los máximos ingresos se producen en las horas de mayor consumo de agua: horas de la mañana, mediodía y noche. Cada uno de los lectores puede pensar en el consumo de agua que hace en esos momentos del día, y tratar de calcular toda el agua que aporta una población con los mismos hábitos. Contrariamente, los mínimos ingresos se dan fuera de esos momentos: media mañana, hora de la siesta y noche.

Otro aspecto a considerar es el aumento poblacional en una ciudad. Puede estimarse el crecimiento natural a lo largo de los años utilizando métodos estadísticos. De esa manera, se calcula el aumento de la población en el tiempo previsto que puede ser, por ejemplo, a 10, 20 ó 30 años. Para las ciudades turísticas se debe considerar además el aumento temporario de la población.

En resumen, al diseñar una planta de tratamiento es necesario calcular la vida útil de la misma considerando el máximo y mínimo de agua de consumo de la ciudad, el agua que ingresa por lluvia, deshielo de nieve, filtraciones, el crecimiento natural de la población y el aumento temporario de personas si se trata de una ciudad turística, entre otros factores.

### 1.1.3. Yo cierro, tú cierras, él cierra... la canilla

Casi todas las personas de una ciudad están involucradas en los aportes máximos y mínimos de agua cloacal que ingresa a una planta de tratamiento. Esto puede variar por la forma de utilizar y aprovechar el agua. El uso adecuado puede traer algunos beneficios:

- 👉 Cuidar el agua potable, que es un recurso escaso en muchas ciudades, evitando derroches innecesarios;
- 👉 Reducir el volumen de agua que llega a una planta de tratamiento.

¿Cuál puede ser tu aporte en ese sentido? Tratar de reducir el volumen de agua que se usa o el tiempo de apertura de las canillas, por ejemplo, al ducharse, al cepillarse los

Usos	Gasto aproximado
Lavado de manos	5 litros
Ducha	De 20 a 50 litros
Baño inmersión	80 litros
Lavado de platos manual	20 litros
Lavadora automática de ropa	De 50 a 120 litros
Descarga de inodoro	De 10 a 12 litros

Tabla N°1 (Fuente: Adaptado Revista Agua y Salud O.M.S 1999)

dientes, al lavar platos, sólo por nombrar a las acciones más sencillas de poner en práctica. Para reducir el agua que se descarga de los depósitos de agua de los inodoros, hay sistemas que tienen dos tipos de descargas: una larga y una corta. Si los depósitos de agua del inodoro no cuentan con ese sistema, una

acción sencilla es la siguiente: colocar adentro del tanque o mochila de agua una botella de gaseosa grande (de 2 litros por ejemplo), llena de agua para evitar que flote. En cada descarga del depósito de agua, se gastarán 2 litros menos de agua, ya que ese volumen está ocupado por la botella. ¿Cuántos litros de agua se ahorraría en un día en una casa? Seguramente el ahorro va a ser importante.

#### 1.1.4. ¿Qué viaja por las cloacas?

Al pensar en la composición del efluente, el lector puede imaginar los principales componentes que todos evacuamos: agua de lavado, materia fecal, orina, papel higiénico... Sin embargo, el mismo suele traer una serie de elementos que buscan pasar al anonimato de manera inmediata, al apretar el botón del depósito de agua del inodoro. Dentro de estos elementos se pueden citar colillas de cigarrillos, algodón, toallitas femeninas, preservativos, papeles metalizados y plastificados, cabellos, restos humanos, metales como hebillas, etc. (Figura N°3). Ya que las aguas de lavado como las de las cocinas y lavaderos, también se conectan a la red cloacal, éstas aportan elementos como restos de comida, jabones, detergentes, varios tipos de sustancias químicas, aceites y grasas.



Figura N°3  
Residuos separados del efluente cloacal.  
Fuente: imagen propia

Como se mencionó en el apartado 1.1.2. sobre aspectos técnicos, el sistema de red cloacal debería instalarse en forma independiente del sistema pluvial. Uno de los principales motivos se basa en el hecho que los caudales pluviales son variables a lo largo del año y es muy difícil establecer un máximo y un mínimo. Esta situación durante el tratamiento de efluentes puede generar, con el ingreso de agua de lluvia, la dilución del líquido cloacal, afectando a la comunidad de microorganismos; sería algo así como una sopa con mucho caldo y pocos fideos... no alcanzarían para alimentar a todos. Por otro lado, las

plantas de tratamiento tienen un diseño calculado para un volumen determinado de agua. Si se produjera un período excepcional de lluvias, éstas podrían superar la carga de la planta, poniendo en riesgo el funcionamiento, particularmente en cuanto a la vida de los microorganismos. Por el contrario, si se espera una carga de agua de lluvia y no llega por ser una temporada seca, las condiciones de los microorganismos igualmente se verían afectadas. Al reducirse el volumen de agua de ingreso, se debe reducir el volumen de agua que sale para mantener las condiciones mínimas de funcionamiento. Las poblaciones microbianas se mantendrían en un menor volumen de líquido, comenzando a competir por el alimento y el espacio.

#### **1.1.5. Pequeño o grande, pero siempre ecosistema**

La palabra ecosistema, en términos generales, significa “relaciones en una casa”. Este concepto cuenta con la ventaja de poder adecuar la idea de casa a espacios de diversos tamaños, que pueden ir desde nuestro planeta (ecósfera) hasta pequeños lugares como un tronco caído en la plaza (microcosmos). Para poder decir que un lugar es un ecosistema es necesario contar con una casa/ambiente con seres vivos que se relacionan entre ellos y con el entorno. Un elemento clave de este concepto es el dinamismo, en donde los cambios son constantes y obligan a adaptarse para lograr nuevamente el equilibrio. Imaginemos que vamos sobre un skate (¡patineta en mi época!): subimos a la tabla, nos impulsamos con la pierna y acompañamos con el cuerpo para mantener el equilibrio; pisamos una piedrita y nos detiene un poco; esquivamos personas que caminan, perdemos velocidad y debemos volver a impulsarnos. Caemos y nos volvemos a levantar y así continuamos... esa idea de dinamismo la podemos aplicar a un ecosistema. Los impulsos los vemos en el ingreso de energía que modifica constantemente los elementos que lo forman y las relaciones que se establecen. Las caídas son los desequilibrios ambientales que necesitan recuperarse y que algunas veces no lo logran por sí solos. El cansancio corporal es la energía que sale del ecosistema para transformarse.

Cada ecosistema podemos simplificarlo para entender como funciona. Cuando tomamos un espacio/sistema e identificamos las partes, estamos reconociendo

los subsistemas que se relacionan de alguna forma con el resto de las partes del sistema general. En ese espacio siempre existen ingresos y salidas de materia y energía que modifican las relaciones y lo que allí ocurre.

Para entender el funcionamiento del ecosistema “planta de tratamiento de efluentes” hablaremos de diferentes momentos del proceso que serán nuestros subsistemas y estarán relacionados entre sí. En cada uno de ellos, ocurren ingresos de materia y energía (líquido cloacal, aire, calor, etc.) que afectarán a los microorganismos y las relaciones entre ellos, y habrá una salida también de materia y energía, dada por barros, agua tratada, calor al ambiente, etc. Si bien es un sistema complejo, es posible interpretarlo de manera sencilla y a ello apuntaremos.

La carga de líquidos cloacales que llega a la planta de tratamiento como materia y energía entrante, tiene una composición de líquidos y sólidos de diferente origen, que requiere un tratamiento previo a fin de facilitar los procesos posteriores.

Bienvenidos entonces al proceso de tratamiento de efluentes.

## 1.2. PROCESO DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES DE UNA CIUDAD SIN ACTIVIDAD INDUSTRIAL

### 1.2.1. Estación de bombeo

La estación de bombeo es el punto de ingreso de los efluentes a la planta de tratamiento. Representa el ingreso de materia y energía al sistema. En ella se realiza la primera separación de residuos sólidos de gran tamaño (botellas, bolsas plásticas, telas, etc.). Esta separación realizada por medio de rejillas, retira del medio diversos materiales que se vuelcan a un contenedor para ser transportados al vertedero municipal, de la misma manera que otros residuos sólidos urbanos. Son las primeras salidas del sistema, aquello que no es posible incorporar.

### 1.2.2. Desarenador

Luego del paso por el tamiz de sólidos, el líquido llega al desarenador. Éste es un tanque que permite el paso del líquido, pero reduciendo la velocidad del mismo. Esto favorece que las partículas de arena, grava, piedritas y materiales más densos que el agua, precipiten, se hundan y queden depositados en el fondo del tanque. En este lugar, se continúa retirando los residuos de menor tamaño que lograron pasar por el primer tamiz (Figura N° 4)

Ello disminuye la carga de sólidos que pueden dañar el sistema por efecto abrasivo. La abrasión es similar al desgaste que producen las lijas sobre una superficie, en este caso en las aspas de las bombas que mueven el líquido. Retirar el material reduce la cantidad de sólidos que podría depositarse en otros



Figura N° 4  
Tamiz en el desarenador.  
Fuente. Imagen propia

lugares, como el reactor biológico - que veremos más adelante - y afectar el funcionamiento del mismo. Si esto ocurre, la acumulación en el reactor, quita espacio útil para los líquidos, reduciendo el volumen de agua a tratar. En este

sector del sistema, se produce una nueva salida de materia y energía, dada por los materiales sólidos.

### 1.2.3. Tanque anaerobio

Luego del paso por el desarenador, el agua ingresa al tanque anaerobio, en donde el líquido se mezcla sin bombeo de aire (Figura N° 5). Esto tiene como objetivo favorecer la utilización de nutrientes, como el fósforo, por parte de los microorganismos para llevar adelante diversas funciones del metabolismo además del almacenamiento en la

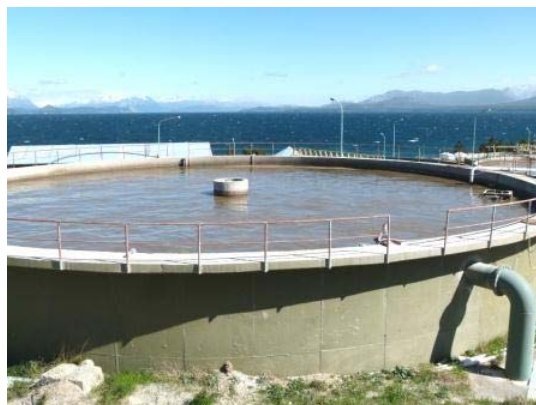


Figura N° 5  
Tanque anaerobio.  
Fuente: imagen propia

célula. Dentro de todo ecosistema hay organismos que cumplen una función específica y, en este caso, son las bacterias *Acinetobacter*. Dentro del tanque anaerobio, las bacterias liberan el fósforo que tienen almacenado debido a las condiciones creadas por la falta de oxígeno. Es una reacción a las condiciones ambientales. El objetivo es poner a las bacterias en una especie de dieta de fósforo para que más adelante, en condiciones favorables dentro del reactor biológico, vuelvan a incorporar el fósforo en el interior de la célula.

### 1.2.4. Reactor biológico

El reactor biológico en términos simples es una gran pileta con canales de circulación por donde se mueve el líquido a tratar (Figuras N° 6 y 7). Antes de recibir el líquido cloacal se hacen diferentes ensayos con agua (pruebas hidráulicas) para evaluar el funcionamiento técnico general. Superadas estas pruebas, puede comenzar a recibir el líquido cloacal. Al principio será una mezcla diluida por el agua que tenía la pileta, con el tiempo se formará la mezcla final llamada "Licor mezcla".

En el reactor ocurren una serie de reacciones biológicas que favorecen la disminución de nutrientes por acción comunitaria de microorganismos.



Figura N° 6



Figura N° 7  
Vista Reactor biológico  
Fuente: imagen propia

Desde el punto de vista sistémico, el reactor es el espacio en donde se desarrolla un ecosistema con características particulares: poblaciones de organismos, nutrientes, oxígeno, temperatura y pH entre otras variables, condicionado por los ingresos de materia y energía. Los técnicos a cargo de una planta de tratamiento controlan este ecosistema para mantener el equilibrio. Si ello ocurre de la manera esperada, se logra un desarrollo óptimo de la función de depuración.

El tratamiento de efluentes por este sistema, tiene su inspiración en la naturaleza. En los cursos de agua naturales, los microorganismos nativos se encargan de descomponer los restos orgánicos. En el reactor, el cultivo de organismos en condiciones controladas, permite el desarrollo de las mismas reacciones biológicas para grandes volúmenes de líquidos en un tiempo mínimo.

Como se mencionaba, en el reactor biológico se crea un ecosistema con comunidades de microorganismos. Esta comunidad, es decir, diferentes poblaciones en un mismo espacio y mismo período de tiempo, es el resultado de una sucesión natural. Ello quiere decir que al ponerse en funcionamiento la planta por primera vez, el líquido cloacal en su ingreso hace el aporte de bacterias y otros microorganismos que llegan como carga biológica. Con el aumento de la población bacteriana, comienzan a desarrollarse poblaciones de otros organismos que van a encontrar en las bacterias su fuente de alimento. Ello determina una serie de cadenas alimenticias que mantendrán el equilibrio entre las poblaciones. Como en el resto de los ecosistemas, la abundancia o



escasez de alimento regula el tamaño y composición de las poblaciones que integran estas redes tróficas.

La composición del efluente afecta a las poblaciones de microorganismos, especialmente si son poco tolerantes a los cambios. Si las afectadas son las bacterias, esto influirá al resto ya que están en el primer eslabón de la cadena alimenticia. Será necesario entonces intentar retomar el equilibrio.

En términos generales, el poblamiento de un reactor biológico responde a la capacidad de adaptación de los organismos y de la eficiencia de reproducción. Las bacterias son las que tienen mayor adaptación y es por ello, que son la primera

población en desarrollarse en esta sucesión ecológica. Pero no son las únicas. Tomando como referencia el esquema

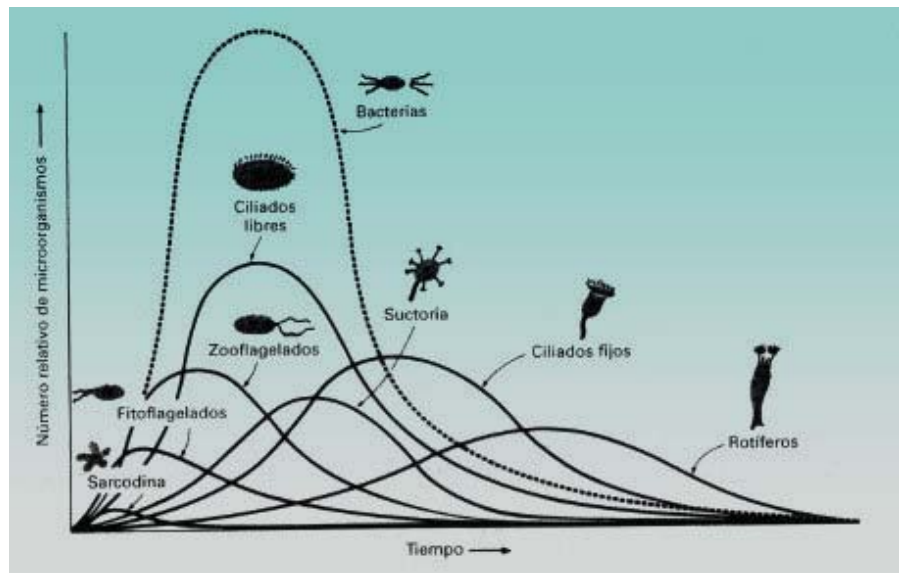


Figura N°8  
Crecimiento relativo de los microorganismos en el curso de estabilización de un residuo orgánico en medio líquido.  
Fuente: Adaptado de Metcalf & Eddy – 1994-

propuesto por Metcalf & Eddy (Figura N°8), se observa que los grupos poblacionales generalmente presentes en un reactor biológico son: 1) bacterias; 2) protistas del grupo Sarcodina, Fitoflagelados y Zooflagelados, Ciliados libres y fijos (Figura N° 9), Suctoria y Rotíferos.

Para el desarrollo de las comunidades durante el proceso es fundamental la formación de un agrupamiento de pequeñísimas partículas que van a servir de soporte a los microorganismos. Este



Figura N° 9  
La vorticella, es una hermosa representante de los ciliados fijos, presentes en el licor mezcla

Fuente: <http://www.pmbio.icbm.de/mikrobiologischer Garten/eng/englo01.htm>

agrupamiento recibe el nombre de Flóculo o simplemente Floc. Al tener movilidad dentro del licor mezcla, a este sistema de tratamiento de efluentes se lo conoce con el nombre de cultivo en suspensión. En la correcta formación del Floc, está la clave para retirar del agua los sólidos y nutrientes que tiene el licor mezcla y reducir las poblaciones de microorganismos que en él habitan. Eso se logra al recolectarlos más adelante al purgar el reactor. Al resultado de esa purga, un líquido cargado de sólidos, se lo conoce como fangos (lodos o barros) activados, haciendo referencia a que contiene actividad biológica en su formación. Esa actividad es principalmente de bacterias que se alimentan de los nutrientes, incorporándolos en su estructura celular. Por lo tanto, al formarse el Floc y poblarse con bacterias que se alimentaron del licor mezcla, se reduce la carga de nutrientes. Sin embargo, no todas las bacterias flocculan y algunas quedan dispersas en el licor mezcla. Los diferentes protozoos que viven allí, intervienen en esta cadena trófica, consumiendo bacterias y encontrando en ellas su fuente de energía. Otros habitantes del reactor, como los rotíferos se alimentan de otros seres más pequeños que no forman parte del Floc.

Al purgar el sistema, se retiran los lodos que contienen las bacterias nutridas, reduciendo la carga del licor mezcla. Este procedimiento es una forma de controlar el equilibrio dentro del reactor para mantener las relaciones entre cantidad de alimento disponible y bacterias para alimentar.

El Floc debe tener ciertas características particulares, que permitan su decantación (Figura N°10). De acuerdo a lo expresado por Arundel (2000), los Flocs “deberían ser compactos, adoptar formas regulares, poseer pocas bacterias filamentosas y escasa vida animal de movimiento autónomo”. Si el sistema ecológico del reactor está en equilibrio, el Floc se formará de acuerdo a lo esperado. Por lo tanto, la forma del Floc es un indicador de las condiciones ambientales del reactor. Si el Floc

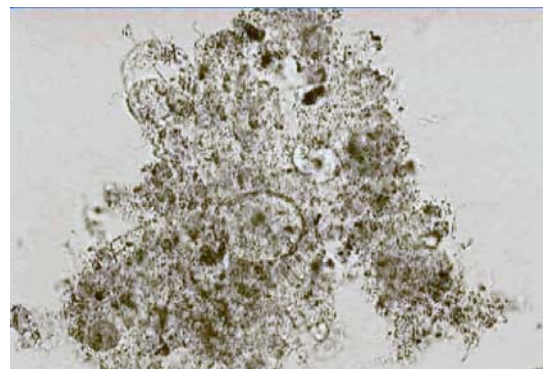


Figura N°10  
Floc, con muy buena conformación  
Fuente: [http://www.environmentalleverage.com/Slude\\_Dewatering.htm](http://www.environmentalleverage.com/Slude_Dewatering.htm)

se presenta muy disperso, como inflado o abultado, es signo de que hay exceso de un tipo de microorganismos no deseado: cianobacterias filamentosas. A esta característica del Floc se la conoce con el nombre de Bulking filamentoso (Figura N°11).

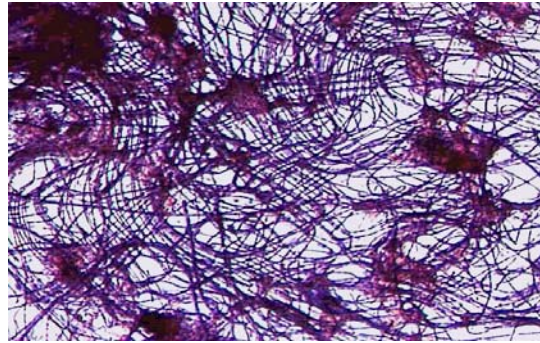


Figura N°11  
Floc, con presencia de bacterias filamentosas, causantes del bulking.  
Fuente: [http://www.environmentalleverage.com/Sludge\\_Dewatering.htm](http://www.environmentalleverage.com/Sludge_Dewatering.htm)

### 1.2.5. El Floc va al laboratorio

Para realizar los controles en el reactor biológico, durante el proceso de formación del Floc se toman muestras del licor mezcla. En el laboratorio se colocan en recipientes graduados de un litro (Figura N° 12) donde la mezcla, al estar en reposo comienza a precipitar (Figura N° 13). El volumen decantado durante 30 minutos permite calcular el Índice Volumétrico de Lodos (IVL), que es un indicador de las características del Floc y de las condiciones del reactor.

La observación del Floc a través del microscopio (Figura N° 14) es otro recurso para establecer las poblaciones de microorganismos presentes. De los resultados de la observación, junto con el IVL resultante, se realizan los

trabajos

correctivos en el ecosistema del reactor, por

ejemplo una purga para retirar microorganismos o ingresar lodo para aumentar las poblaciones.



Figura N° 14  
Foto: Fernando Martín



Figura N° 12  
Foto: Fernando Martín



Figura N° 13  
Foto: Fernando Martín

### 1.2.6. Respirar en el reactor

Los microorganismos, al igual que todos los seres vivos, necesitan respirar para obtener energía. Cada grupo de microorganismos tiene adaptaciones para

realizar la respiración. Algunas bacterias necesitan oxígeno para vivir y se llaman aerobias. Otros grupos menos exigentes en sus necesidades utilizan oxígeno cuando está disponible, pero si hay poco o está ausente tienen la capacidad o facultad de utilizar otro elemento. A estas bacterias se las llama aerobias facultativas. Nombramos a este grupo ya que juega un papel importante durante el proceso de depuración.



Figura N° 15  
Difusor.  
Fuente: imagen propia

El licor mezcla, durante su recorrido por el reactor, atraviesa zonas de aireación. Ello se realiza por medio de bombas que toman aire del ambiente y lo liberan a presión, utilizando un sistema de aireadores difusores (Figura N° 15), con pequeños orificios, colocados en el fondo del reactor. El aire liberado en el licor mezcla forma una columna oxigenándolo. Esta columna de aire a su vez, agita el licor, favoreciendo el movimiento del Floc y disminuyendo la posibilidad de sedimentación de los sólidos.

En el reactor biológico hay zonas con aireación y otras donde el aire está ausente. El objetivo es lograr una de las funciones del proceso de depuración que es la de reducir la carga de nutrientes. Los principales elementos que contienen los líquidos cloacales son el fósforo y el nitrógeno. El fósforo implica mayor esfuerzo de depuración, dado que el uso por parte de los microorganismos es menor en cuanto a necesidades metabólicas, principalmente energéticas. El nitrógeno, en cambio, tiene mayor requerimiento al ser necesario para la formación de proteínas, ácidos nucleicos y estructura celular. Las bacterias facultativas, aquellas que pueden reemplazar el oxígeno en la respiración por otros compuestos como los nitrogenados, son estimuladas por la falta de aireación y reducen el nivel de nitrógeno en el licor mezcla.

Antes de seguir recordemos brevemente el ciclo de nitrógeno (Figura N° 16). El nitrógeno está presente en la atmósfera en forma gaseosa ( $N_2$ ) y se incorpora al suelo por medio de microorganismos capaces de tomarlo del aire. Las plantas y los animales consumidores no son capaces de captar y transformar el

$N_2$  del aire en formas útiles. A partir de la asociación con ciertas plantas, como las leguminosas, los microorganismos del género *Rhizobium* principalmente, toman el  $N_2$  y lo entregan a las plantas en formas asimilables a través de un proceso llamado fijación del nitrógeno. Por otro lado, a partir de reacciones químicas atmosféricas en donde interviene la luz solar, el oxígeno y el agua, el nitrógeno puede llegar al suelo como ácido nítrico ( $HNO_3$ ) disuelto en la precipitación y como partículas sólidas de nitratos.

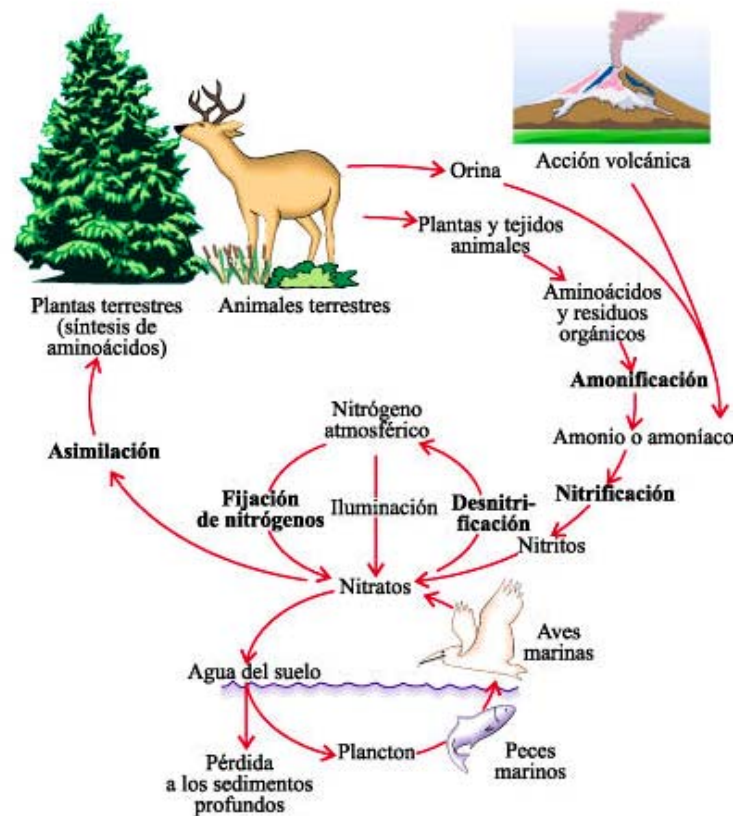


Figura N° 16: Ciclo del nitrógeno  
Fuente: Curtis & Barnes (1993)

Por medio de la acción bacteriana, las formas nitrogenadas del suelo son transformadas en formas útiles para las plantas, como los nitratos ( $NO_3^-$ ) en un proceso conocido

como nitrificación. Los nitratos, disueltos en el agua son incorporados por las plantas para formar parte de la estructura vegetal. De esta forma se produce el ingreso del nitrógeno a la cadena alimenticia para llegar hasta los organismos que no producen sus propios alimentos a partir de compuestos inorgánicos (heterótrofos).

Dentro del organismo, las formas nitrogenadas son utilizadas para el funcionamiento corporal. El exceso es eliminado por medio de la orina y los excrementos. Al morir el organismo, el nitrógeno contenido en su cuerpo llega al suelo a partir de la acción de los descomponedores de materia orgánica.

Otro grupo de bacterias como las *Pseudomonas*, utilizan el nitrógeno del suelo (el fijado y el que regresa por descomposición orgánica) en un proceso inverso

al anterior hasta lograr una molécula de nitrógeno gaseoso ( $N_2$ ) que retorna a la atmósfera. De esta manera el ciclo comienza nuevamente.

En el reactor biológico, al contener restos orgánicos, hay abundancia de nitrógeno. Para forzar a las bacterias a utilizar nitrógeno se las somete a zonas sin aireación (zonas anóxicas) con bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua. Como ocurre en condiciones naturales, el nitrógeno que se encuentra en formas orgánicas, es transformado en amoníaco por acción de diferentes microorganismos (amonificación). El amoníaco se transforma en nitritos y nitratos a través de un proceso llamado nitrificación en el que interviene un grupo muy específico de bacterias. Otro grupo de bacterias actúan sobre nitritos y nitratos produciendo nitrógeno gaseoso que se libera en la atmósfera mediante el proceso de desnitrificación.

En el reactor, el canal de desnitrificación suele estar al ingreso del líquido cloacal, donde se dan las condiciones de anoxia (sin aire) y nutrientes. El proceso de desnitrificación en este lugar se evidencia por la formación de burbujas (de  $N_2$ ) que rompen en la superficie. La desnitrificación es muy importante para la conversión de las formas nitrogenadas del licor mezcla y para la formación del Floc; si este proceso es deficiente en el reactor biológico, se completa en el decantador/ sedimentador donde no hay aireación. Se retomará más adelante esta situación dada la importancia para la clarificación del agua.

Hasta aquí el proceso muestra un ecosistema en equilibrio porque los microorganismos están en condiciones ideales para su desarrollo. Sin embargo, en la realidad se deben realizar constantemente ajustes en el proceso para acercarse a las condiciones ideales mencionadas. Solo por nombrar a modo de ejemplo:

- El efluente llega diluido a la planta al mezclarse el líquido cloacal con agua de las precipitaciones. Esto produce menos nutrientes (alimento para bacterias) en el reactor. Debido a la carencia de alimento, las bacterias comienzan a agotar sus reservas internas (respiración endógena) llegando a la muerte. Como son el primer eslabón de la cadena alimenticia, el resto de los organismos

también son afectados. Si la condición se profundiza, es necesario derivar el líquido entrante para no aumentar la dilución en el reactor.

- El licor mezcla tiene sustancias llamadas tensoactivas, provenientes de detergentes y jabones, que afectan la zona superficial. A esto se suma la presencia de aceites y grasas en la superficie. Estas situaciones, comunes en muchas plantas de tratamiento, junto con abundancia de oxígeno disuelto en el licor mezcla, temperatura elevada y desequilibrio en la composición de los microorganismos favorecen la presencia de bacterias filamentosas. Estas bacterias, prefieren vivir en la superficie, lo que es visible porque forman espuma en el reactor. La presencia de estas espumas indica que hay que ajustar el equilibrio del ecosistema del reactor. El mayor problema surge si estas bacterias se transfieren al siguiente paso del proceso, por ello es conveniente contenerlas para que no avancen.

**¿Qué podemos hacer con el aceite de cocina?**

*Si no es mucho el aceite o la grasa a eliminar, retirarlo con un papel absorbente y tirarlo a la basura; si la cantidad es mayor, se puede almacenar en botellas de gaseosas y entregarlas a personas que recolectan en la ciudad para reciclarlo y hacer combustible biodiesel.*

- Otro inconveniente puede suceder si se produce un vuelco al sistema cloacal de sustancias tóxicas. Los microorganismos tienen cierta tolerancia a las sustancias tóxicas ya que ingresan al sistema muy diluidas. Sin embargo, en grandes cantidades pueden producir desequilibrios importantes y afectar el sistema, por ejemplo, matando las comunidades microbianas.

De estos problemas, los usuarios podemos contribuir de manera activa, evitando tirar al desagüe de la pileta de la cocina, aceites y grasas de frituras, usar pocos detergentes en general, optimizar el proceso de lavado de ropa, entre otras medidas.

A modo de cierre para este apartado podemos decir que el reactor biológico inicialmente era un ecosistema en formación en donde no existían poblaciones microbianas. El ingreso de líquido cloacal comienza a aportar nutrientes y microorganismos como parte de la carga biológica. Con el paso del tiempo, las bacterias encuentran condiciones favorables de alimento, oxígeno, temperatura, etc. para desarrollarse y aumentar su población. El proceso de sucesión ecológica, iniciado con las bacterias, continúa y se desarrollan otras poblaciones microbianas para establecer cadenas y redes tróficas. Los flujos de energía y materia que ingresan a este ecosistema se mantienen constantes manteniendo en equilibrio el ecosistema. Las salidas están dadas por los barros purgados; eventualmente éstos pueden reingresar para ajustar las condiciones de nutrientes y vida microbiana del reactor (Figura N° 17).

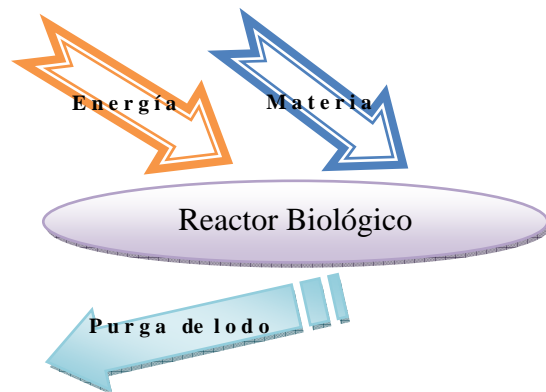


Figura 17: Esquema simplificado del ecosistema del Reactor Biológico

### 1.2.7. Tanques decantadores (sedimentadores)

El agua que ha pasado por el reactor biológico ha disminuido su carga de nutrientes por la acción de los microorganismos. El Floc, formado durante el proceso, debe retirarse para permitir que el agua recupere parte de su cristalinidad. Para ello, desde el reactor, el licor mezcla es conducido a los tanques decantadores.

Estos tanques tienen la particularidad de ser de forma cónica en su base (como un embudo). El agua que ingresa por la parte inferior, se aquieta permitiendo que el Floc, se deposite por gravedad, en el fondo del tanque. El agua sale del tanque por rebalse, más cristalina, levemente turbia. El material depositado (antes llamado Floc, ahora llamado lodo, barro o fango) es una mezcla acuosa de sólidos orgánicos. El retiro de este lodo del tanque se realiza por medio de un sistema de bombas y cañerías. Un raspador en el fondo del tanque, ayuda a



que el lodo fluya y se quite del decantador. Si el proceso ha sido satisfactorio, el agua sale del tanque con alto grado de cristalinidad (Figura N°18).

Pero pueden arrastrarse algunos problemas desde el reactor biológico. El más común es que el proceso de desnitrificación haya sido insuficiente. En ese caso, el proceso ocurre en el decantador donde no hay aireación. Parte del nitrógeno gaseoso que se genera provoca el movimiento del lodo, haciendo que éste



Figura N° 18  
Foto: imagen propia

suba (recordar que debía depositarse en el fondo) y de esa manera escape junto con el agua de rebalse. Ello produce turbidez en el agua, además de la pérdida de microorganismos. Es fundamental que el proceso de desnitrificación se lleve a cabo en el reactor en los canales sin aireación (canal anóxico). Se suma a este problema las bacterias filamentosas, que forman un Floc con una forma inflada, abultada (ver Figura 11), disminuyendo la capacidad de sedimentación. Si no sedimenta, se irá junto al agua.

Para controlar los niveles de lodo en el decantador, los técnicos miden las 24 horas del día y en función del nivel alcanzado, se va retirando el material acumulado para evitar el escape junto con el agua.

### 1.2.8. Desinfección

El tratamiento de aguas residuales por medio del sistema de lodos activados, es un proceso altamente eficiente al eliminar de la mezcla compuestos orgánicos como el nitrógeno y el fósforo. Luego de la clarificación, el agua ha cumplido uno de los requisitos para su vuelco a un río, arroyo, lago, etc. El otro requisito fundamental es la reducción casi total de microorganismos que están

en el agua, algunos de los cuales son patógenos. La disminución de un gran porcentaje de microorganismos, con efectos perjudiciales para la salud, se produce durante el proceso de depuración. Por mencionar algunos ejemplos: *Escherichia coli*, causante de gastroenteritis, la *Giardia lamblia* causante de diarreas o el *Vibrio cholerae* conocido por la enfermedad del cólera que ha generado epidemias y mortandad a lo largo de la historia. Todos ellos son reducidos por el mismo sistema de depuración.

Sin embargo, para asegurar una desinfección más eficiente se utiliza el hipoclorito de sodio (en las casas lo conocemos con el nombre de lavandina) para asegurar la eliminación de organismos sobrevivientes. Existen otros sistemas como la exposición del agua al gas ozono o a luz ultravioleta pero con costos mayores en equipos e instalaciones.

La desinfección del agua en una planta de tratamientos de efluentes, se realiza en tanques que tienen tabiques internos que forman un recorrido en zigzag (Figura N° 19). Al ingresar el agua, se agrega el hipoclorito de sodio para que se mezcle con ella. El agua debe realizar un movimiento zigzagueante en el



Figura N°19  
Cámara de desinfección.  
Fuente: imagen propia.

tanque, que aumenta el tiempo de permanencia en su interior. Este tiempo es de aproximadamente 30 minutos y es suficiente para lograr la desinfección esperada. Luego de ese tiempo la carga de microorganismos del agua clarificada se reduce a niveles que se encuentran dentro de los valores que fijan las normas nacionales e internacionales para controlar seguridad del ambiente.

El agua desinfectada es entonces vertida a un curso de agua. Allí el agua se oxigenará naturalmente, por medio del movimiento u oleaje, para permitir el desarrollo de vida acuática, sin afectar el ecosistema natural.

### 1.2.9. Controles del proceso

Cada Estado, municipal, provincial o nacional, dispone de organismos que realizan controles en todo el proceso. Los análisis de calidad del agua que se realizan como rutina dependen del origen del agua. Es decir, habrá que saber si en la zona donde está instalada la planta existen sólo viviendas y comercios, o si también hay sectores industriales. Si hay industrias, la composición del agua puede contener sustancias más complejas de eliminar.

Los controles realizados comúnmente son: demanda de oxígeno, turbiedad, recuento de microorganismos, presencia de metales pesados, sustancias disueltas (nitrógeno y fósforo principalmente), entre otros. Para estos controles se toman muestras de líquidos, antes del ingreso al reactor biológico y a la salida del proceso de desinfección para ser analizados y comparados.

La demanda de oxígeno es un proceso de oxidación en donde la materia orgánica rica en carbono se transforma básicamente en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua. El objetivo de esta medición es establecer la cantidad de oxígeno que se necesita para la transformación de la materia orgánica por medio de la acción de los microorganismos. Esta información ayuda a establecer los niveles óptimos de oxígeno en el proceso para lograr la asimilación de los nutrientes por parte de los microorganismos. Para conocer la demanda de oxígeno hay dos métodos. Uno de ellos es la Demanda Biológica de Oxígeno, realizada en cultivo de 5 días ( $\text{DBO}_5$ ) y la otra es la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Para la  $\text{DBO}_5$  es necesario tomar una muestra del líquido que contiene microorganismos. El procedimiento básicamente requiere la preparación de la muestra y condiciones controladas de temperatura y oscuridad para realizar la incubación. Incubar, en este sentido, significa permitir que los microorganismos puedan alimentarse y reproducirse dentro de condiciones óptimas que nosotros establecemos. Al finalizar los 5 días, se realizan mediciones en laboratorio para establecer la medida de oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica. La desventaja de este sistema es el tiempo de demora para obtener

los resultados y la posibilidad de que las condiciones del cultivo se alteren y tenga que repetirse todo el ensayo.

La DQO es un método indirecto para establecer la cantidad de oxígeno necesaria para degradar la materia orgánica. En este caso, no se utilizan microorganismos. Se emplean sustancias químicas como oxidante (mezcla sulfocrómica). La mezcla entre el líquido y el oxidante se mantiene a temperatura constante (150° C) por un lapso de 2 horas. Luego de ese tiempo, empleando instrumentos analíticos y realizando algunos cálculos se obtienen resultados de la demanda de oxígeno. Este procedimiento es sencillo de realizar en los laboratorios y por ello se utiliza ampliamente para determinar la demanda de oxígeno en las plantas de tratamientos. En relación a la DBO<sub>5</sub>, el valor final de este análisis es casi el doble. Ello se debe a que el oxidante químico actúa sobre toda la materia orgánica, mientras que en la DBO<sub>5</sub> los microorganismos actúan sobre lo que es fácilmente degradable. La DQO permite en muy poco tiempo (máximo de 3 horas), tener datos para realizar correcciones en la planta de tratamiento. La DBO<sub>5</sub> permite mayor exactitud, pero en tiempos mayores. La desventaja es que genera desechos tóxicos en base a cromo que necesitan tratamiento posterior.

# **CAPÍTULO II**

## **Tratamiento de residuos orgánicos**

## 2.1 MARCO REFERENCIAL

### 2.1.1. Barro tal vez... (he de fusionar mi resto con el desertar<sup>1</sup>)



Es difícil pensar en poner poesía en un proceso que puede resultar desagradable para muchos ojos (y narices). Pero el poeta (que no es quien escribe este texto), tiene la capacidad de hacer relucir la maravilla del mundo usando palabras. En este caso, usando palabras del “flaco Spinetta”, he tratado de simplificar la idea del proceso de compostaje desde el título de esta sección. Creo que ello es posible porque del barro (o lodo) de la planta de tratamiento de efluentes, luego del compostaje, “despertará” un material que, aplicado al suelo como enmienda orgánica, permite mejorar las condiciones del mismo.

Recordemos previamente el proceso de tratamiento de efluentes. Luego de una serie de tratamientos para retirar sólidos, el líquido cloacal llega a la gran pileta llamada reactor biológico. Una comunidad de microorganismos específicos conviven allí bajo condiciones controladas por los operarios de la planta. En ese medio, los microorganismos van formando un soporte para su desarrollo conocido con el nombre de flóculos o Floc, alimentándose de elementos presentes en el licor mezcla (antes líquido cloacal) como carbono, nitrógeno y fósforo, para nombrar sólo algunos de los más apetitosos. Los flóculos formados, posteriormente, se separan del líquido en el tanque decantador (sedimentador). Allí se forma el lodo o barro, que es una mezcla de agua y flóculos depositados por gravedad en el fondo del tanque. Esta mezcla acuosa se retira constantemente para disminuir posibles efectos de turbiedad en el agua que sale por rebalse desde el tanque.

El lodo contiene una parte de los microorganismos que vivían en el reactor biológico y que salen del sistema junto con el Floc. Como todos los seres vivos, los microorganismos incorporaron al tejido celular nutrientes mediante el proceso de alimentación. Por ello, el lodo, esa mezcla de sólidos, microorganismos y agua, tiene abundancia de nitrógeno y fósforo. Este lodo crudo no se puede desechar sin tratamiento previo por varios motivos:

---

<sup>1</sup> Verso de la canción, “Barro, tal vez” de Luis Alberto Spinetta

-  Cuenta con una carga biológica capaz de causar graves problemas sanitarios;
-  Tiene abundancia de líquido que al escurrir puede contaminar el suelo, alcanzar los cursos de aguas superficiales o subterráneas contaminándolos con microorganismos, nitrógeno, fósforo, etc.

¿Qué hacemos entonces? Para responder a la pregunta diremos que en la Ley Nacional N° 24051 sobre residuos peligrosos están establecidas las condiciones de gestión de este tipo de materiales. La primera opción es la de realizar en un relleno sanitario (basurero), un depósito sellado impermeable que impida que el agua se derrame, se mezcle con los otros residuos y se filtre al suelo. Por otro lado, tiene que ser un sistema que impida que los microorganismos contaminen el sector y a los animales oportunistas que viven allí – aves, roedores, perros, etc.- y que pueden ser vectores de enfermedades. Esto tiene un costo económico y ambiental significativo.

Otra opción que brinda la misma Ley, es la de usar los lodos con fines agrícolas, pero no reglamenta (no especifica) cómo hacerlo y por lo tanto, no tenemos una ley clara al respecto. Una de las formas más recomendadas (y reglamentadas) a nivel mundial para tratar al lodo de depuradoras de líquidos cloacales es el compostaje. Este tema será presentado a continuación como eje de esta parte del trabajo.

### **2.1.2. De las tortitas de barro en el jardín de casa, al suelo como sistema ecológico**

Al hablar del suelo y de sus características cada lector puede tener una representación diferente de lo que puede ser. Ello se debe a que el suelo, no responde al esquema típico que se presenta en los libros de textos o manuales escolares. La realidad indica que hay muchos tipos de suelos. El suelo es el resultado de un proceso de formación geológico dinámico que dura miles de años. Al decir dinámico nos referimos a un proceso en donde se producen cambios continuamente, incluso en este mismo instante.

En condiciones donde el hombre no interviene, fuerzas naturales como el viento, la lluvia, los glaciares, el fuego, derrumbes, etc., van cambiando el paisaje a un ritmo del que pocas veces nos damos cuenta. Eso se debe a que el tiempo que mide esos cambios, el tiempo geológico, es muy largo en comparación con la duración de la vida de las personas. Estos cambios determinan que la superficie de la corteza terrestre se modifique constantemente. Y esos cambios incluyen al suelo.

Cuando de chicos hacíamos tortitas de barro e intentábamos comerla, ya descubrimos que ese barro es de color oscuro, tiene piedritas, algunos palitos y raíces, humedad, olor particular, y un sabor... bueno, eso depende del paladar de cada comensal.

Con el juego comenzamos a explorar y aprender sobre el suelo. El suelo es una mezcla de muchos elementos: partículas minerales de diferentes tamaños, agua, aire, seres vivos, restos orgánicos, diferentes sustancias como el humus, entre otras. Es en sí mismo un ecosistema: tiene diferentes componentes que se interrelacionan, existe ingreso y egreso de energía y materia. En ese ecosistema, los diferentes componentes abióticos (sin vida) sirven de soporte para que las diferentes comunidades animales y vegetales se relacionen y encuentren resguardo para desarrollar su vida (Figura N° 20).



Figura N° 20  
Suelo como sistema ecológico (Adaptado)  
Seymour, J.(1998)

El sistema ecológico suelo, no siempre recibe el lugar de importancia que merece pero sin dudas a él se deben muchas de las formas de vida sobre el planeta. El aire y el agua son fundamentales, pero en el suelo se almacena todo lo necesario para la vida fuera del océano. Veamos:

- Es la reserva de minerales y sales necesarias para la nutrición vegetal. Las plantas al ser productores autónomos de alimentos a partir del proceso de fotosíntesis elaboran diferentes compuestos



orgánicos, por esta razón son considerados la base de la cadena trófica. Ello significa que los seres vivos heterótrofos dependemos de las plantas directa o indirectamente para completar nuestra nutrición.

- Permite que el agua se filtre a su interior, almacenándose. Como una gran esponja absorbe el agua y lentamente la libera en arroyos y ríos. Cuando queda almacenada en su interior, pasa a ser una fuente de agua subterránea. En muchos lugares ésta es la única forma de obtener agua para las poblaciones.
- Contiene sustancias que amortiguan los cambios que se producen en la superficie, incluso aquellos originados por la contaminación humana.
- Es el lugar donde se desarrolla la vida de millones de organismos que se encargan de mantener la superficie “limpia”, por medio de la degradación de la materia orgánica. De este modo, se devuelven elementos que las plantas vuelven a tomar (reciclaje de nutrientes) y disminuye la presencia de focos de infección y la proliferación de vectores de enfermedades.

### 2.1.3. Suelo, ¿ser o no ser?

Algunas veces pensamos que todo lo que pisamos es suelo y no siempre es así. Si tomamos una de nuestras tortitas de barro (o muestra de suelo para ser más técnicos) y la mezclamos con agua en un recipiente, veremos que al cabo de un tiempo se van formando capas en el fondo. Las partículas más pesadas sedimentarán primero y luego las más livianas y así sucesivamente hasta que sólo quedará una leve coloración en el líquido. Cada una de esas capas corresponderá a la fracción mineral del suelo: la arena, el limo y la arcilla.

Estos minerales tienen un diámetro menor a los 2 milímetros y esta es una de las primeras condiciones para empezar a hablar de suelo: el tamaño de las partículas. Las otras condiciones son que esos minerales hayan estado influenciados por el clima (temperatura, viento y humedad), la acción de microorganismos, hongos, plantas y fauna (y sus restos) y por reacciones químicas a lo largo de un período de tiempo muy largo. El suelo es el resultado

de un proceso de formación geológico constante, que no es posible medir en una escala de tiempo humano. Hablamos de miles de años... Dado que la acción del hombre ya modificó gran parte del suelo del planeta, es que se habla de suelos antrópicos o humanos. Volvamos a la afirmación inicial, no todo lo que pisamos es suelo. Entonces corresponde hablar de un relleno, de un pedrero en una montaña, de una playa de arena o médano en la zonas costeras... son sustratos, pero no son suelos.

Aquellos que son considerados suelos resultan de un largo proceso de formación y los encontramos en los bosques, en la estepa, en los humedales, en las llanuras, en las selvas, en la puna, etc... Son todos diferentes, pero tienen en común que para producirse requieren la existencia de un material mineral original (rocas o sedimentos como las cenizas que caen de los volcanes), y la acción del clima, y los seres vivos en un determinado paisaje (topografía y fisonomía de la vegetación) durante un lapso de tiempo. Esta simplificación acerca del suelo, deja de lado una serie de cuestiones técnicas que son tema de estudio de diferentes áreas de la ciencia como por ejemplo la edafología que estudia los suelos con funciones agrícolas.

Nuestro aporte hacia la concientización del valor del recurso suelo es simple: un suelo que se pierde es muy difícil de recuperar y con pequeñas acciones podemos contribuir a conservarlo. Por ejemplo, conservar la cobertura vegetal, evitar volcar sustancias contaminantes, no hacer movimientos de suelos innecesarios, permitir que la materia orgánica que cae de los árboles se degrade aunque el jardín en otoño “se vea sucio”, agregar materia orgánica compostada, etc.

#### 2.1.4. Las ex...

En un ecosistema natural toda la vegetación que se marchita y muere vuelve al suelo en forma de materia orgánica para nutrirlo nuevamente. Es un ciclo de aporte y **ex**tracción en equilibrio (Figura N° 21).

En los suelos productivos, aquellos en donde se realizan actividades agropecuarias, se pierden los nutrientes absorbidos por las plantas al realizarse las cosechas. A diferencia de un ecosistema natural, en los sistemas en donde el hombre ha tenido intervención, los nutrientes del suelo agrícola se van a diferentes lugares sin regresar a ellos. En esos casos se habla de **exportación** de nutrientes, donde el balance final genera muchas más pérdidas que ganancias. Para mantener la fertilidad de un suelo para la producción agrícola es necesario agregar abonos químicos que implican un mayor gasto económico, además de un costo ambiental que no suele tenerse en cuenta.

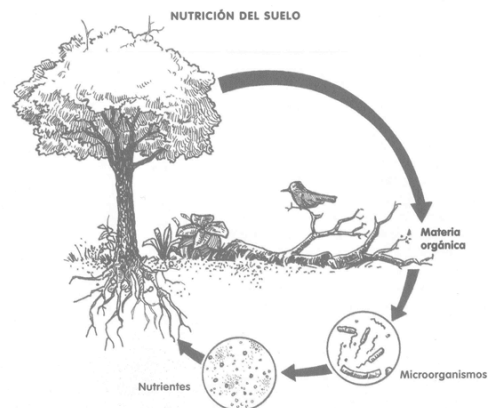


Figura N° 21  
Ciclo de nutrientes en un ambiente natural.  
Fuente: FAO

El sistema económico actual tiende a no considerar en los costos de producción, la pérdida de las condiciones ambientales. Sin embargo, distintas ramas de las ciencias, incluyendo las económicas orientadas a la conservación del ambiente, están proponiendo nuevas ideas que incorporen el deterioro ambiental y la valoración de factores naturales como base de la economía. Seguramente recuerden el cuento de la gallina de los huevos de oro. En este caso la gallina es el ambiente y los huevos todo aquello que proviene de la naturaleza. Las preguntas son: ¿Esperamos a que la gallina ponga los huevos para obtener ganancias (esperamos que el ambiente disponga del tiempo natural para producir) o matamos la gallina para sacar antes los huevos? (¿deterioramos el ambiente para obtener ganancias inmediatamente sin pensar en el futuro?). En este nuevo enfoque, la economía ambiental y ecológica intentan que el deterioro ambiental, que no es considerado en el valor del producto, conocido con el nombre de **externalidades**, sea incluido en el precio de mercado. Cuidamos todo aquello que nos cuesta dinero ¿no?

En el caso del suelo, algunas de las externalidades (el deterioro ambiental no considerado) son la pérdida de nutrientes y fertilidad, la compactación e

impermeabilización, la aparición de resquebrajamiento superficial (diaclasas), la erosión, entre otras.

En cuanto a la erosión, es interesante mencionar que la etimología (el origen) de esa palabra se refiere a la acción mecánica de roer, que es lo que hacen los animales roedores como los conejos, ratones o castores. La acción de roer, llevada a las fuerzas naturales está dada por:

- el viento, que hace volar todo el material liviano del suelo (materia orgánica, arena, limo y arcilla) (Figura N° 22)
- y el agua que lava, arrastra en suelos con cierta pendiente, todo el material que no resista su fuerza.

La mejor forma de proteger los suelos y mantenerlos productivos o aptos para que cumplan su función ecosistémica es evitar que pierdan materia orgánica, cuya importancia se explica a continuación.



Figura N° 22  
Voladura de suelo en campo agrícola  
Fuente: <http://www.infogranja.com.ar/>

De las formas posibles de realizar aportes de materia orgánica al suelo, abordaremos el compostaje de residuos orgánicos por ser una tecnología aplicable a diferentes escalas y con costos económicos aceptables y ambientales excelentes. Comencemos con el tema.

## **2.2. EL COMPOSTAJE**

### **2.2.1. Se va la primera!...**

Posiblemente los lectores tengan en sus casas un sector de su terreno, jardín, patio o balcón (¡si, si, balcón como leen!) destinado al compostaje doméstico. En términos muy simples hacer un compost significa armar una pila o formar diferentes capas con restos orgánicos, como con el césped cortado el fin de semana, las podas de plantas cuando éstas nos invaden, hojas de árboles en otoño, las cenizas del asadito del domingo, un poco de estiércol de caballo, restos de hortalizas que desechamos desde nuestras cocinas, yerba, café, etc. Quien tenga un compost en su casa, sabe que es importante mantener la humedad de la pila de residuos orgánicos más o menos constante y esperar un par de meses aproximadamente antes de usarlo. Hasta acá la receta es simple y faltaría decir en palabras de un buen cocinero, “revolver para que no se formen grumos” o en términos agronómicos mezclar para favorecer la circulación de aire en el interior del compost.

Con el compostaje se busca crear un ambiente donde haya alimento, humedad, oscuridad, aire y una temperatura adecuada para que vivan ciertos grupos de organismos como bacterias, hongos actinomicetos, lombrices, gusanos, etc. Estos seres tienen la capacidad de hacer que los restos orgánicos se vayan descomponiendo en partes más pequeñas y transformando en nuevas sustancias. Este proceso, en la naturaleza es continuo y permite que toda la “basura” orgánica se degrade o descomponga hasta mineralizarse. El concepto de mineralización se refiere a la simplificación de diferentes moléculas orgánicas a formas inorgánicas de forma tal que quedan en el suelo disponibles para el aprovechamiento de las plantas.

El compost en el suelo actúa como una barrera evitando que se erosione, favorece el desarrollo de las plantas que van a servir de protección superficial, permite que la micro fauna como lombrices, gusanos, escarabajos, etc. se instalen creando condiciones que mejoran la circulación del agua y el intercambio de gases. La descomposición de la materia orgánica incorpora al

sistema suelo, sustancias conocidas con el nombre de ácidos fúlvicos y húmicos que mantienen unidas, cementadas, las partículas del suelo formando “agregados” (o “terroncitos”) y dándole estructura. La estructura permite que el suelo mantenga su forma. De manera simple, si al hacer una pequeña presión sobre una muestra de suelo ésta mantiene su forma, es un indicador de buena estructura. Por el contrario, si ante una pequeña fuerza se desarma es indicador de poca estructura, con escaso contenido de humus y por lo tanto, será un suelo fácilmente erosionable.

Ahora, ¿es posible extender la producción de compost a una escala mayor, para reciclar residuos orgánicos que sirvan como enmiendas para el suelo? La respuesta es afirmativa. Sin embargo, previamente hay que considerar la materia prima que se va a utilizar y los procesos que requieren. De los residuos que generan mayor impacto ambiental y que son candidatos al compostaje podemos nombrar: estiércol de ganado y de aves, purines (mezcla de paja, orina y estiércol animal), residuos domésticos, residuos de industrias alimenticias, residuos de aserraderos, restos de podas urbanas, lodos de las planta de tratamiento de efluentes cloacales, entre otros. Tomaremos tres de ellos, para hablar del proceso de compostaje a gran escala: residuos de aserraderos, podas urbanas y lodos de plantas de tratamiento de efluentes.

### 2.2.2. Una última vuelta por la planta de tratamiento de efluentes.

En la planta de tratamiento de efluentes o líquidos cloacales, los barros generados en el proceso de decantación son deshidratados para reducir el porcentaje de agua de forma tal que permita su manejo (Figuras N°23 y 24)

Luego de ese proceso, son retirados de la planta

para su tratamiento posterior. El lodo aún contiene una carga biológica



Figura N°23  
Filtros de banda: Proceso de deshidratación de lodos.  
Fuente: imagen propia



Figura N°24  
Lodo deshidratado  
Fuente: imagen propia

(microorganismos patógenos) con capacidad para generar problemas sanitarios (enfermedades) y concentración de sustancias que pueden contaminar especialmente el agua. Por ello requieren un tratamiento previo antes de ser utilizados en la producción de plantas y como mejoradores del suelo.

A esos barros se los traslada a la planta de compostaje. Este lugar es un espacio muy sencillo: terreno con una superficie acorde al volumen de materiales a tratar (se necesita bastante espacio), es necesario contar con plataformas impermeables para evitar infiltraciones, desagües para recolectar los lixiviados, que son los líquidos en exceso que se escapan y que necesitan un tratamiento extra. Dado que el proceso genera olor en su etapa inicial y atrae insectos, es recomendable que las plantas de compostaje estén alejados de un centro poblacional para no generar molestias a los vecinos. En cuanto a las herramientas y mecanismos para trabajar se requieren palas mecánicas, instrumental para la medición de temperatura, tamices giratorios, todo ello manejado por técnicos y operarios entrenados.

### 2.2.3. ¿Qué se necesita para hacer el compost?

Componentes:

1 parte de lodos de planta depuradora fresquito, recién recolectados.

1 a 2 partes de restos de poda urbana (ramas de árboles) hechas chip de madera (astilla de madera) o viruta de aserraderos (Figura N° 25).



Figura N°25  
Proceso de mezcla de componentes del compost. Planta de compostaje de San Carlos de Bariloche.  
Fuente: imagen propia

El chip o viruta de madera es necesario para el compost por varios motivos:

- Absorbe agua del lodo, evitando que se escurran manteniendo la humedad de la mezcla.

- Las astillas de madera, dejan en la mezcla pequeños espacios que permite la circulación de aire, vapor y calor.
- La madera tiene gran cantidad de sustancias ricas en carbono (que sirve como fuente de energía para los microorganismos), mientras que el lodo es rico en nitrógeno y fósforo además de otros micronutrientes.
- La astilla de madera permite que el lodo se adhiera a la superficie favoreciendo la retención de nutrientes y brindando espacio para el desarrollo de la vida microbiana.

Los dos componentes se mezclan y se trasladan a las plateas impermeables para iniciar el proceso. Aquí comienza lo interesante del compostaje. La mezcla rápidamente se transformará en un ecosistema. Veamos qué sucede...

La mezcla pasa a ser el ambiente físico y químico con condiciones de humedad, oscuridad, aire, temperatura, nutrientes, etc. apropiado para el desarrollo de la vida microbiana. Los microorganismos principalmente bacterias y hongos actinomicetos, llegan con el lodo como carga biológica desde la planta de tratamiento. El chip por su parte, trae consigo diferentes microorganismos como bacterias y hongos que viven en el ambiente en estado libre. En este punto es bueno recordar que hay una infinidad de organismos a nuestro alrededor, en condiciones ambientales variables. Cuando logran un ambiente ideal para su desarrollo, pueden hacerse visibles, por ejemplo cuando una fruta en nuestra casa comienza a descomponerse. Ese microorganismo ya existía y al tener condiciones favorables pudo crecer y desarrollarse.

Los microorganismos encuentran en el compost condiciones propicias para la vida y comienzan a multiplicarse iniciando una sucesión ecológica. La sucesión ecológica es el proceso por el cual diferentes seres vivos comienzan a poblar, colonizar un espacio de acuerdo a la capacidad y velocidad de reproducción en función de las condiciones ambientales. Las plantas suelen ser las primeras en aparecer y darán las condiciones para que otros seres vivos convivan junto a ellas.



#### 2.2.4. El compostaje como pila de conocimientos

En una pila de compost, las condiciones ambientales están controladas por los operadores de la planta para que la sucesión ecológica tenga lugar. En base a conocimientos sobre requisitos nutricionales de los microorganismos y a las variables físicas y químicas, se arma la mezcla para controlar las condiciones de poblamiento de la pila de compost.

Antes del inicio del compostaje, se busca que en la mezcla exista una relación adecuada de nutrientes como el carbono y nitrógeno ¿Por qué? Porque si existe exceso de nitrógeno, las bacterias contarán con nutrientes para la síntesis de proteínas, pero si hay poco carbono no tendrán la energía suficiente para llevar adelante diferentes procesos de funcionamiento orgánico. Es decir, en este caso, el carbono puede llegar a limitar el aumento poblacional de microorganismos y parte del nitrógeno de la pila, al no ser utilizado, se puede perder como lixiviado (líquido que escurre) o por transformación en gases como el amoníaco. Por el contrario, si existe abundancia de carbono y escasez de nitrógeno, la reproducción de bacterias puede ser muy lenta ya que no contarán con nutrientes formadores de proteínas, necesarias para la reproducción celular.

Otros de los controles necesarios se orientan a la cantidad de humedad que tiene la mezcla. Si la mezcla contiene altos porcentajes de humedad, el líquido que no se retiene en la pila de materiales, se pierde por escurrimiento, arrastrando nutrientes, como el nitrógeno, que dejarán de estar en la mezcla empobreciendo el compost. Por otro lado, la abundancia de humedad implica que los espacios donde podría circular aire, están ocupados por agua. Ello hace que se formen poblaciones microbianas bajo condiciones anaerobias (sin oxígeno). La primera manifestación de esta situación es la producción de olores (muy desagradables), generados por compuestos orgánicos e inorgánicos volátiles, especialmente en los primeros días de inicio del compostaje. Para evitar esto, además del control de humedad, es necesario airear la pila de compost. Existen diversos métodos de aireación, que se aplican de acuerdo al tipo de compost y a la tecnología y a los recursos económicos con que se

cuenta. En el caso de las pilas de compost como las que se describen en este trabajo, se suelen utilizar tres tipos de aireación. Veamos:

- a) La aireación en pilas estáticas: durante el proceso no se remueven los materiales y la aireación se realiza por medio de la instalación de tubos perforados en la base del compost (Figura N° 26).

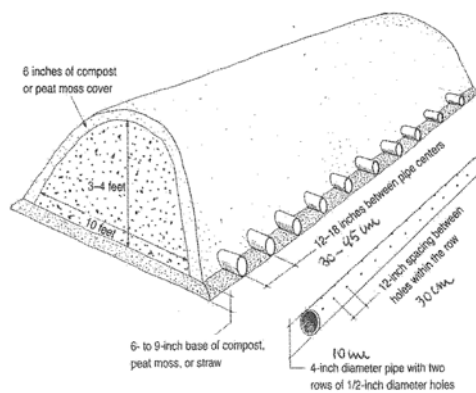


Figura N°26  
Pila estática, aireación pasiva.  
Fuente: On Farm Composting Handbook (1992)

Este sistema es muy simple. El aire llega a los

tubos perforados e ingresa a la pila de manera pasiva, circulando por los poros de la mezcla desde la base. La temperatura elevada del compost, favorece la circulación de aire por medio de la convección del calor.

- b) En otros casos es posible inyectar aire por medio de bombas, que fuerza la circulación de gases en el interior. En este ejemplo, los costos de producción aumentan a causa de la tecnología empleada, y por el consumo de energía que mueve las bombas.

- c) El tercer caso de aireación es por medio del volteo de la pila. Es un sistema de aireación simple por el cual la mezcla se remueve de abajo hacia arriba de manera periódica durante los primeros días de compostaje. Para la tarea de volteo suelen usarse palas mecánicas convencionales (Figura N° 27) o maquinarias diseñadas especialmente para la tarea, pero con el mismo principio mecánico.

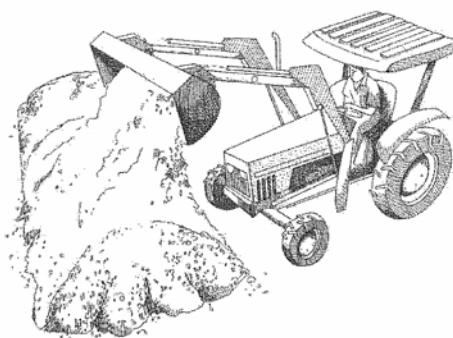


Figura N°27  
Trabajo de volteo con pala mecánica.  
Fuente: On Farm Composting Handbook (1992)

## 2.2.5. Calor de hogar...microscópico

Luego de la formación de la pila de compost comienza la labor de los microorganismos que son los verdaderos protagonistas de la transformación y desinfección de los residuos orgánicos.

Recordemos que el compostaje de lodos o barros de una planta de tratamientos de líquidos cloacales se caracteriza por contar con materia prima rica en nutrientes y con una carga biológica importante. Esta carga biológica patógena, aportada por el lodo de depuradoras, está formada por: bacterias como *Salmonella*, *Escherichia*, *Clostridium*, etc.; virus como *Enterovirus* y bacteriófagos; nematodos y parásitos como *Giardia*, *Toxocara*, *Ascaris* que deben ser eliminados de la mezcla debido a los riesgos sanitarios que presentan. El saneamiento de la mezcla se dará de manera natural por medio del proceso de compostaje: ¡los microorganismos nos van a sorprender!

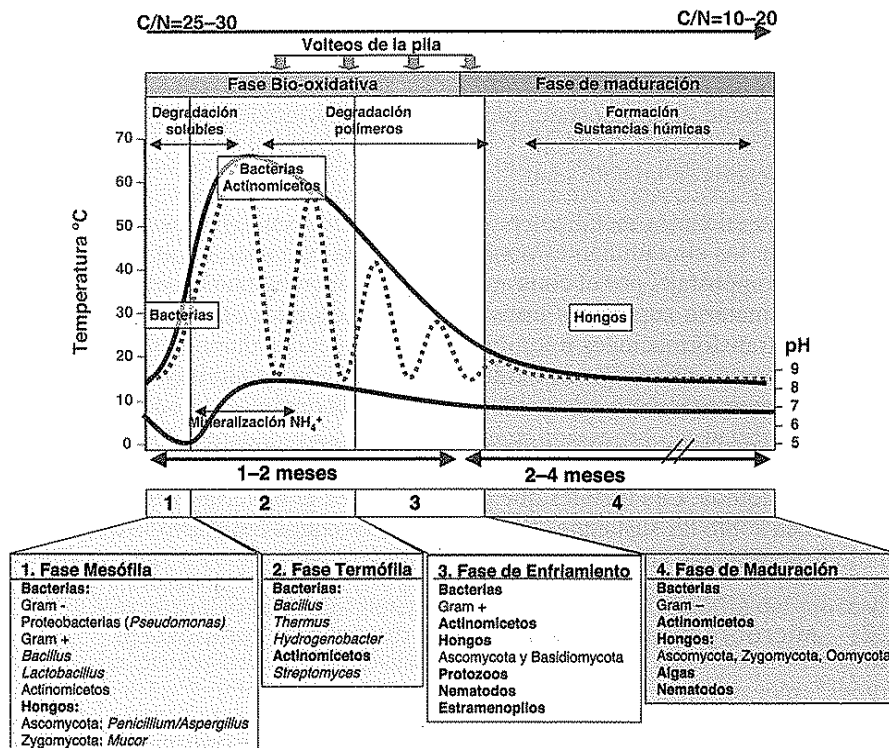


Figura N°28  
Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje  
Fuente: Moreno C. & Moral H. (2008)

Al hablar de sucesión ecológica anteriormente, se hacía referencia a las diferentes etapas de poblamiento en un ambiente o ecosistema. La pila de

compost, desde el momento de su formación iniciará un proceso de sucesión que pasará por diferentes etapas que a continuación vamos a comentar (Figura N° 28)

### 2.2.6. Temperatura en aumento ¡cuidado con el golpe de calor!

El indicador principal de las etapas de sucesión ecológica será la temperatura de la pila, que dará cuenta de la actividad microbiana, principalmente durante los primeros días. La temperatura es la variable que permitirá la desinfección general de la pila de compost. En esa desinfección, los microorganismos patógenos (organismos, huevos o esporas) con poca tolerancia a temperaturas elevadas, mueren perdiendo la capacidad de infección.

En el inicio del proceso, la temperatura de la pila de compost es variable en función de la temperatura ambiental y los componentes. Con las condiciones necesarias de humedad, pH, temperatura y nutrientes, las bacterias con gran capacidad de reproducción en corto tiempo, comienzan a poblar el compost alimentándose del material lábil, es decir fácilmente degradable. El proceso metabólico (alimentación y respiración) produce calor que se transfiere a la mezcla aumentando la temperatura. El aumento de la temperatura inicial, mejora las condiciones ambientales internas del compost, estimulando aún más la actividad bacteriana y la de otros microorganismos. Este proceso, que es realmente asombroso, permite alcanzar temperaturas que rondan los 55° C y los 70° C . Si, leyeron bien... no es un error de escritura. La mayoría de los organismos patógenos mueren a estas temperaturas tan elevadas (Figura N° 29). Sin embargo, para asegurar la eliminación de organismos patógenos no deseados, es necesario que ese rango de temperaturas se mantenga en el tiempo. Basadas en investigaciones científicas, las leyes y normas ambientales de otros países establecen parámetros y directivas para el compostaje de este tipo de materiales.



Figura N° 29  
Medición de temperatura en la pila de compost .  
Fuente: imagen propia.

De manera sencilla, indican que en una pila estática (con aireación pasiva o forzada) se debe mantener la temperatura a 55°C o más, durante tres días seguidos como mínimo. Si la pila lleva volteos periódicos, esa temperatura se debe mantener durante 15 días. Si ello no ocurre, la pila de compost debe retirarse para volver a mezclarse con material nuevo. El cumplimiento a rajatabla de esta condición, es gran parte de la seguridad del proceso. Técnicamente, el inicio del compostaje se conoce como etapa mesófila o de temperatura media y la siguiente, en donde se alcanza el máximo de temperatura, se conoce como etapa termófila. La etapa termófila que inicia a los 45°C es, por lo tanto, la etapa clave para la eliminación de organismos patógenos en el compost.

Al disminuir la cantidad de materia disponible para la alimentación de las bacterias, su población comienza a disminuir y con ello la temperatura de la pila de compost (Figura N° 30). En este momento, se da una nueva etapa mesófila pero de enfriamiento. El trabajo de otros organismos, además de bacterias, comienza a tomar



Figura N°30  
Pilas de compostaje  
Fuente: imagen propia.

protagonismo, entre ellos los hongos y actinomicetos. Al no existir en la pila de compost material fácilmente degradable, los hongos y actinomicetos comienzan a degradar los materiales más resistentes, como la celulosa y la lignina, con la ayuda de algunas sustancias que ellos mismos producen, y que vierten en el medio. Esas sustancias tienen un efecto antibiótico que ayuda a combatir a los microorganismos no deseados.

Cuando la temperatura desciende en el compost, se estabiliza a nivel biológico y comienza el proceso de maduración. Durante este proceso, que tiene una duración aproximada entre 2 a 4 meses, la mezcla comienza a tomar características visiblemente similares a la del humus, en tanto color, textura y olor. Al final del período de maduración, el compost de lodos de planta de tratamientos de efluentes cloacales, será una mezcla que ha logrado eliminar organismos patógenos, desarrollar microorganismos similares a los que habitan

en el suelo, reducir el volumen inicial del material compostado y conservar nutrientes que dan fertilidad al suelo.

Dado que es un recurso con un valor agronómico de gran importancia, el compost es utilizado para diferentes fines, tendientes a mejorar la calidad del suelo. Por ello se suele hablar del valor del compost, como enmienda, es decir, como mejorador del suelo.

Previo al uso del compost como enmienda, es necesario realizar diferentes análisis de laboratorio para descartar la presencia de microorganismos patógenos, sus huevos o esporas, determinar las proporciones de nutrientes y evaluar la presencia de elementos peligrosos como metales pesados. En base a los resultados se realiza una clasificación del material que determina los usos, restricciones o destino final.

El lodo de depuradora de una ciudad sin actividad industrial, suele contener niveles de metales pesados muy escasos, por debajo de los límites que indican las leyes como niveles máximos aceptables. La presencia de metales pesados en estas ciudades, suelen relacionarse con las actividades domésticas y la gestión de materiales de desecho (pilas y baterías, termómetros de mercurio que se rompen, vertido de pinturas y químicos a las cloacas, etc.). Sin embargo, es necesario hacer un estudio de los lodos para verificar los niveles exigidos.

### **2.2.7 La experiencia a nivel nacional**

La pregunta sobre qué hacer con los residuos muchas veces tiene respuestas que generan discusiones y no conducen a una solución que satisfaga a la comunidad. Nadie quiere la basura en el patio de su casa... pero los residuos son de quien los genera. Como este problema es de largo tiempo, existen estudios, pruebas, evaluaciones, correcciones, etc. que han permitido tener una biblioteca de conocimientos a disposición de muchos problemas.

En la ciudad de San Carlos de Bariloche existe un ejemplo reconocido a nivel nacional, que hace una gestión integral de efluentes y residuos orgánicos que resultan de los residuos cloacales.

La ciudad, rodeada por el Parque y Reserva Nacional Nahuel Huapi, tiene como actividad económica principal el turismo. Ello hace que en las temporadas vacacionales, la población aumente significativamente y con ello, el volumen de agua residual. Al estar gran parte de la ciudad conectada a la red cloacal, ésta recolecta el efluente urbano (aportado por las casas de los vecinos, los hoteles, cabañas, hostels, etc.) y lo trata en la planta de depuración de líquidos cloacales. El agua, luego del proceso de depuración, es volcada al lago Nahuel Huapi. El lago es fuente de abastecimiento de agua de la ciudad y de las comunidades que se encuentran aguas abajo en el río Limay, es un recurso turístico, paisajístico y se busca con este proceso preservarlo. La tecnología empleada es la depuración por medio de lodos activados, que es un proceso biotecnológico.

Este proceso produce a su vez un residuo orgánico, los lodos o barros de depuradora. Los lodos obtenidos son un residuo con capacidad contaminante. Para tratarlo, se composta el barro junto con chip de poda o viruta de madera, obteniendo un producto descontaminado de alta calidad para uso agronómico. La utilización de este material está orientada a la restauración de suelos que han sufrido alguna degradación (movimiento de suelos, construcción de caminos, etc.), para proyectos paisajísticos y en algunos casos para agricultura.

Este tipo de compost, es una alternativa a la compra de tierra negra. Esto es importante ya que en algunos lugares la tierra negra suele obtenerse de manera ilegal (robo de tierra) de áreas de importancia ecológica.

Con el compostaje de lodos se cierra el circuito de la gestión de efluentes de la ciudad. El agua regresa al lago sin carga contaminante y a los lodos se los destina para el mejoramiento de suelos. Ya no representa un riesgo para el

ambiente sino que además pasó de ser un residuo a ser un material que se vende como enmienda para el suelo.

Si logramos entender que los residuos son recursos que pueden ser aprovechados como nuevos materiales, podremos empezar a cambiar la forma de ver a todo eso que llamamos “basura” y que desechamos porque pensamos que ya no sirve más.

Todos podemos hacer un pequeño cambio en ese sentido. Si disponés de un rincón en tu jardín y nunca separaste los residuos orgánicos, este es un buen momento para comenzar ...¿Estás preparado para armar tu propio compost en tu casa?



## Conclusión

En este trabajo se partió de la idea que el público en general, al tener un material accesible e interesante, es capaz de asimilar la información y generar un pensamiento crítico formando opinión propia, modificando sus hábitos y adoptando una actitud proactiva frente al medio ambiente.

El desafío fue trasladar al lector el conocimiento científico sobre un proceso biotecnológico de tratamiento de efluentes y residuos orgánicos de manera sencilla sin perder el rigor científico.

Las personas a lo largo de su educación, tanto formal como no formal, van adquiriendo diferentes conceptos relacionados con el ecosistema tales como condiciones ambientales, interrelaciones entre seres vivos y el ambiente, ciclos de la materia, flujo de energía, cadenas y redes tróficas, sucesión ecológica, etc. Para el desarrollo de este trabajo se asumió la idea de un conocimiento acumulado que permite pensar a la gestión integral de efluentes y residuos orgánicos en términos ecosistémicos.

Se espera que este trabajo sea un aporte para el conocimiento de docentes, estudiantes y público interesado en el tema, que favorezca el debate en torno a la problemática relacionada a los efluentes y residuos orgánicos y que pueda ser utilizado como documento para el abordaje de contenidos en el área de educación ambiental.

## Bibliografía consultada

**Arundel, J. (2000)** *Tratamientos de aguas negras y efluentes industriales*. Ed. ACRIBIA S.A. España.

**Cooperband, L. (2002)** *Building Soil Organic Matter with Organic Amendments. A resource for urban and rural gardeners, small farmers, turfgrass managers and large-scale producers*. Madison, Wisconsin. EUA.

**Curtis, H. & Barnes, N. (1993)** *Biología*. Editorial Médica Panamericana. Argentina.

**Grupo Z. (1992)** *50 cosas sencillas que tú puedes hacer para salvar la Tierra*. Ed. Ediciones Mensuales, S. A. Madrid.

**Laos, F., Mazzarino, M.J., Satti, P., Roselli, L., Moyano, M. & Moller Poulsen, L. (2000)** Planta de compostaje de biosólidos: investigación y desarrollo en Bariloche, Argentina. *Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental* 50: 86-89.

**Mazzarino, M.J. (1998)** Ventajas y limitaciones del uso agrícola de residuos orgánicos con énfasis en biosólidos. Actas del XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo: 403 – 411. Carlos Paz, Argentina.

**Metcalf & Eddy Inc. (1994)** *Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*. Ed. Labor. S.A.

**Moreno Casco, J. & Moral Herrero, R. (2008)** *Compostaje*. Ediciones Mundi Prensa España

**Organización Mundial de la Salud (OMS) (1999)** Revista Agua y Salud OPS/HEP/99/33

**Rynk, R. (1992)** *On Farm Composting Handbook*. Natural Resource, Agriculture and Engineering Service (NRAES) Ithaca, NY, EUA.

**Seymour, J. (1998)** *El horticultor autosuficiente*. Blume. España.

**Tyller Miller, G, Jr.(1994)** *Ecología y medio ambiente*. Grupo Editorial Iberoamérica.

## Fuentes de Internet

<http://www.artehistoria.jcyl.es/civilizaciones/obras/8323.htm> Consulta 03/04/12

<http://www.funeat.org.ar/noticias/CARLOS%20PROSPERI%20LAGO%20SAN%20ROQUE.html> Consulta 06/04/12

<http://www.pmbio.icbm.de/mikrobiologischer-garten/eng/englo01.htm>

Consulta 24/10/11

[http://www.environmentallevantage.com/Sludge\\_Dewatering.htm](http://www.environmentallevantage.com/Sludge_Dewatering.htm)

Consulta 25/10/11

<http://www.fao.org/DOCREP/006/W1309S/w1309s04.htm> Consulta 25/10/11

[http://www.infogranja.com.ar/proteccion\\_de\\_la\\_huerta.htm](http://www.infogranja.com.ar/proteccion_de_la_huerta.htm) Consulta 20/02/12