



PREMIO A LA INVESTIGACIÓN 2010

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA DE BIODEGRADACIÓN MEDIANTE DIGESTORES CERRADOS DISCONTINUOS, PARA EL TRATAMIENTO DE SUBPRODUCTOS ANIMALES DEL SECTOR DE LA AVICULTURA DE PUESTA

Autores: Luis Manuel Navas García, Mercedes Sánchez Bascones, Jesús Martín Gil, Salvador Hernández Navarro, María Ángeles Díez Gutiérrez, Adriana Correo Guimaraes, Carmen Teresa Bravo Sánchez.

Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia (Universidad de Valladolid - Campus de Palencia)

1. INTRODUCCIÓN

El Reglamento de la Unión Europea (CE) 1069/2009, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano, que deroga al Reglamento CE 1774/2002, establece que “los subproductos animales se generan principalmente durante el sacrificio de animales para el consumo humano, la elaboración de productos de origen animal como los productos lácteos y la eliminación de animales muertos o la aplicación de medidas de control de enfermedades. Independientemente de su procedencia, constituyen un riesgo potencial para la salud pública, la salud animal y el medio ambiente. Este riesgo debe controlarse adecuadamente, bien canalizando esos productos hacia medios de eliminación seguros o utilizándolos para diversos fines, a condición de que se apliquen condiciones estrictas que reduzcan al mínimo los riesgos sanitarios.

Por otra parte, también se indica que “la eliminación de todos los subproductos animales no es una opción realista, puesto que tendría unos costes insostenibles y entrañaría riesgos para el medio ambiente. En cambio, si se reducen al mínimo los riesgos sanitarios, redundaría en interés de todos los ciudadanos el uso seguro y sostenible de una amplia gama de subproductos animales en distintas aplicaciones”.

Asimismo, para el proyecto que aquí se presenta, es de destacar la siguiente información reflejada en el citado reglamento: “El Comité Director Científico, sustituido en 2002 por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), adoptó varios dictámenes relativos a los subproductos animales. Dichos dictámenes demuestran la necesidad de mantener los principios fundamentales del Reglamento (CE) nº 1774/2002, en particular que los subproductos animales derivados de animales considerados no aptos para el consumo humano a raíz de una inspección sanitaria no deben entrar en la cadena alimentaria animal. No obstante, dichos subproductos animales pueden recuperarse y utilizarse para la elaboración de productos técnicos o industriales en condiciones sanitarias especificadas”.

Las normas sobre subproductos animales establecidas en el presente Reglamento deben aplicarse a los productos que no pueden destinarse al consumo humano de acuerdo con la legislación comunitaria, especialmente si no cumplen la legislación sobre higiene alimentaria o cuando no se puedan introducir en el mercado como alimentos porque no son seguros debido a que son nocivos para la salud o no son aptos para el consumo humano (subproductos animales «por ley»). No obstante, esas normas deben aplicarse también a los productos de origen animal que cumplen determinadas normas con vistas a su posible uso para el consumo humano o que son materias primas para la elaboración de productos destinados al consumo humano, aunque luego se destinen a otros usos (subproductos animales «por opción»).

Tal y como el reglamento establece: “es necesario utilizar un sistema de controles propios para garantizar el cumplimiento del presente Reglamento dentro de un establecimiento o una planta. Durante los controles oficiales, las autoridades competentes deben tener en cuenta la correcta realización de los controles propios. En determinados establecimientos o plantas, los controles propios deben efectuarse mediante un sistema basado en los principios del análisis de peligros y puntos de control crítico (APPCC). Los principios APPCC deben

basarse en la experiencia sobre su aplicación conforme a la legislación comunitaria en materia de higiene de los alimentos y los piensos. A este respecto, las guías nacionales de buenas prácticas pueden ser una herramienta útil para facilitar la aplicación práctica de los principios APPCC y de otros aspectos del presente Reglamento”, el grupo de investigación ha elaborado un sistema de APPCC para ser implantado en las explotaciones y cuyo ámbito de aplicación se circunscribe a todo el proceso de manipulación y tratamiento de la totalidad de los residuos utilizados en el proceso de compostaje.

Uno de los aspectos contemplados en el reglamento, que presentan un futuro prometedor están basados en lo siguiente: “teniendo en cuenta el limitado riesgo que suponen estos productos para la salud pública o la salud animal, la autoridad competente debe poder autorizar la elaboración y la aplicación a las tierras de preparados biodinámicos, a base de materiales de la categoría 2 y de la categoría 3, tal como se mencionan en el Reglamento (CE) nº 834/2007 del Consejo, de 28 de junio de 2007, sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios¹. La utilización de los residuos en la preparación de compuestos biodinámicos, así como el gran desarrollo de una nueva agricultura, denominada “Agricultura Biodinámica”, anima a este grupo de investigación a proseguir por el camino iniciado formalmente en el año 2004 y continuado, desde entonces, sin interrupciones.

Nuestras experiencias en el estudio de métodos alternativos para la eliminación de cadáveres, se vieron avaladas por el antiguo reglamento del año 2002, así como por el actual reglamento de octubre de 2009, como puede deducirse de la lectura del siguiente párrafo: “se están desarrollando nuevas tecnologías que ofrecen beneficiosas formas de generar energía a partir de subproductos animales o de eliminar dichos subproductos de manera segura. Puede procederse a una eliminación segura mediante la combinación de métodos de contención segura de subproductos animales in situ con métodos de eliminación consolidados, así como mediante la combinación de parámetros de procesamiento autorizados con nuevos parámetros estandarizados que hayan recibido una evaluación favorable. Para tener en cuenta los avances científicos y tecnológicos en este ámbito, tales tecnologías deben autorizarse como métodos alternativos de eliminación o uso de subproductos animales en toda la Comunidad. Si alguien desarrolla un proceso tecnológico, antes de su autorización, la solicitud, una vez verificada por la autoridad competente, debe ser examinada por la EFSA para garantizar la realización de una evaluación del potencial de reducción del riesgo del proceso y la preservación de los derechos individuales, incluida la confidencialidad de la información empresarial”.

El destino final del producto (compost) obtenido en el proceso de compostaje, es la aplicación al suelo como abono o enmienda orgánica; esta posibilidad también se ve contemplada en el actual reglamento: “para garantizar la protección de la cadena alimentaria humana y animal, procede aclarar los requisitos aplicables a la introducción en el mercado de subproductos animales y productos derivados destinados a la alimentación animal y a los abonos y enmiendas del suelo de origen orgánico. Para la alimentación de animales de granja distintos de animales de peletería sólo debe utilizarse material de la categoría 3. Los abonos producidos a partir de subproductos animales pueden afectar a la seguridad de la cadena alimentaria humana y animal. Si se han elaborado a partir de harina de carne y huesos de la categoría 2 o de proteínas animales procesadas, debe añadirse un

componente, como una sustancia inorgánica o indigerible, para impedir su uso directo en la alimentación animal. No debe exigirse esa mezcla si la composición o el envasado de los productos, en particular de los productos destinados a ser usados por el consumidor final, impide el uso indebido del producto en cuestión con fines de alimentación animal. A la hora de determinar los componentes se deben tener en cuenta diferentes circunstancias relativas al clima y al suelo, así como el objetivo del uso de determinados abonos”.

Algunas circunstancias, contempladas como excepcionales en el nuevo reglamento, se han visto solucionadas en países, como Estados Unidos, mediante el tratamiento de los subproductos por compostaje. Estas circunstancias quedan reflejadas en los siguientes párrafo: “El enterramiento y la incineración de subproductos animales, en particular de animales muertos, pueden justificarse en situaciones específicas, especialmente en zonas remotas, o en situaciones de control de enfermedades que requieran la eliminación urgente de los animales sacrificados como medida para controlar el brote de una enfermedad transmisible grave. En particular, la eliminación in situ debe permitirse en circunstancias especiales, habida cuenta de que la capacidad disponible en una región o en un Estado miembro en cuanto a instalaciones de procesamiento o incineración de subproductos podría influir negativamente en el control de una enfermedad”.

“La actual excepción relativa al enterramiento y la incineración de subproductos animales debe ampliarse a las zonas en las que el acceso sea prácticamente imposible o suponga un riesgo para la salud y la seguridad del personal encargado de la recogida. La experiencia adquirida en la aplicación del Reglamento (CE) nº 1774/2002 y en catástrofes naturales como los incendios forestales y las inundaciones en determinados Estados miembros pone de manifiesto que, en tales circunstancias excepcionales, puede justificarse el enterramiento o la incineración in situ para garantizar la rápida eliminación de animales y evitar la propagación de riesgos de enfermedad. Sobre la base de la experiencia adquirida en la aplicación del Reglamento (CE) nº 999/2001 debe limitarse el tamaño global de las zonas remotas de un Estado miembro para garantizar el cumplimiento de la obligación general de disponer de un sistema adecuado de eliminación de subproductos animales que cumpla las normas establecidas en el presente Reglamento”.

El nuevo reglamento incluye como material de categoría 2, algunos de los subproductos disponibles en la granja donde se han realizado las experiencias, y que se han utilizado en el proceso de compostaje y otros que serían igualmente aptos para el proceso y que no se generaban en esta explotación. Tales subproductos son: el estiércol, los subproductos animales recogidos durante el tratamiento de aguas residuales, los animales y partes de animales que murieron sin que hayan sido sacrificados o matados para el consumo humano, con inclusión de los animales matados para el control de enfermedades, los fetos, los oocitos, los embriones y el esperma no destinados a la reproducción y las aves de corral muertas en el huevo. Asimismo el grupo ha utilizado en el compostaje subproductos derivados del envasado de huevos englobados en categoría 3 (cáscaras y otros subproductos de huevos) y otros no utilizados pero cuya aptitud está ampliamente documentada en la bibliografía consultada por el grupo (subproductos de incubadoras, pollitos de un día sacrificados por razones comerciales, etc.).

Como resumen podemos afirmar que todas nuestras experiencias en este campo se han basado en proyectos aplicados útiles para el sector de la avicultura de puesta, procurando siempre aportar soluciones realistas, a problemas concretos, en momentos clave para el sector. Asimismo, el grupo de investigación ha avanzado con los tiempos y ha adaptado sus investigaciones a las nuevas necesidades de la avicultura y las nuevas disposiciones de la Unión Europea y del Estado Español. Este camino, iniciado formalmente el año 2004, comenzó con el desarrollo de la tecnología necesaria para el tratamiento de compostaje adaptado a las disposiciones del reglamento europeo y del proceso a realizar (biodigestor discontinuo); continuó con la optimización del propio proceso en sí y el desarrollo del sistema de APPCC; se redimensionó el proceso para proceder a la gestión integral de todos los residuos producidos en una explotación avícola de grandes dimensiones y quiere continuar con la producción de preparados biodinámicos a partir de todos los residuos aptos para ello.

Los métodos autorizados en el Reglamento CE 1774/2002 de la Unión Europea derogado posteriormente por indica que basados en la incineración, para la destrucción de los residuos producidos en las explotaciones avícolas (cáscaras de huevos, restos de incubadoras, huevos rotos, excrementos, restos de alimentos de los animales, embalajes, etc) son claramente insuficientes, dado que no existe en España una estructura adecuada de grandes plantas incineradoras y, la posible solución de instalar incineradoras de baja capacidad de las propias explotaciones, plantea muchos problemas de índole técnico y económico.

La incineración, entendida como la acción de quemar residuos en hornos especiales, mediante una combustión controlada para obtener cenizas, plantea múltiples inconvenientes, dado que las combustiones no son perfectas, originándose productos altamente contaminantes y cancerígenos, las inversiones necesarias para las instalaciones incineradoras y el coste energético son muy elevados, y se produce un claro ataque al medio ambiente y molestias a las personas. Todo ello sin contar con la presión social de colectivos y personas, cada vez menos proclives a autorizar la instalación de incineradoras cerca de los núcleos de población. Además, la incineración exige un tratamiento posterior de los restos de la combustión (cenizas) y un sistema de control de los gases desprendidos.

Se hace imprescindible y urgente encontrar un método que permita la eliminación conveniente de los residuos antes mencionados, sin agresiones al medio ambiente, ni generación de efectos desagradables para las personas, sin consecuencias negativas sobre la bioseguridad en las explotaciones ganaderas y, a su vez, sostenibles económicamente por el ganadero y el industrial, sin que se vea directamente penalizado el consumidor final, al que habitualmente se trasladan los costes de la gestión total.

En efecto, la eliminación mediante biodegradación en fase sólida (compostaje) de los restos orgánicos e inorgánicos de las explotaciones en las que son generados, puede ser llevada a cabo en la propia explotación, sin necesidad de transportar estos restos biológicos a otro lugar de procesado. Esta circunstancia evita drásticamente el grave riesgo de difusión de epizootias a otras zonas.

El presente Proyecto tiene por finalidad principal trasladar a los productores e industriales del sector de los ovoproductos y de las incubadoras de la producción avícola de puesta, englobados en la Asociación Española de Productores de Huevos (ASEPRHU), la tecnología y los conocimientos científico-técnicos sobre el diseño, utilización y aplicación del compostaje en sistemas cerrados discontinuos, sistemas que han sido desarrollados por el equipo investigador de la Universidad de Valladolid, y efectuar la optimización de los mismos con los residuos generados por las industrias receptoras de la mencionada tecnología. Además se realizará la valorización del producto resultante de la biodigestión como fertilizante organo-mineral. Adicionalmente se realizarán estudios de bioseguridad de todo el proceso (patógenos, restos de alimentos, metales pesados, biodegradabilidad, etc.).

Además de conseguir la eliminación segura e *in situ* de los residuos, se pretende alcanzar que los productores dispongan de un producto final libre de contaminantes o tóxicos acumulados, y ello se realizará mediante la adaptación de la tecnología de biodigestores disponible por parte del equipo investigador, generando los diseños óptimos más adecuados a las características de las explotaciones y a los residuos a tratar, y desarrollando los sistemas de gestión optimizados de los procesos de tratamiento, mediante la monitorización, el control automático, la optimización y la detección remota de las variables que intervienen en el proceso.

2. ANTECEDENTES DE LOS SOLICITANTES

El presente Proyecto tiene como objetivo fundamental la transferencia de tecnología que permita para la eliminación y valorización de subproductos animales no destinados al consumo humano que constituyen residuos de las industrias de ovoproductos y de las incubadoras del sector de la avicultura de puesta. El interés de este sector productivo, ante la problemática generada por la legislación actual, es muy grande, lo cual viene demostrado por la participación como organismo cofinanciador del Proyecto de la Asociación Española de Productores de Huevos (ASEPRHU). Dicha entidad, consciente de las grandes incertidumbres técnicas y económicas producidas por la legislación vigente, ha confiado en la tecnología generada por la Universidad de Valladolid (UVa), en donde existe un grupo de reconocido prestigio en el estudio de tratamientos biológicos de residuos, para desarrollar este Proyecto, el cual busca aplicar, optimizar, caracterizar, evaluar y viabilizar los dispositivos cerrados discontinuos de biodegradación en fase sólida en su aplicación a los residuos que son de interés en esta actuación.

Las actividades científico-técnicas del Proyecto han sido desarrolladas y dirigidas por el equipo investigador de la UVa, cuyos miembros son profesores e investigadores

pertenecientes a dos Departamentos (Ingeniería Agrícola y Forestal, y Ciencias Agroforestales), que desarrollan sus actividades docentes y de I+D en la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias (ETSIIAA). La experiencia del equipo en el desarrollo de proyectos de I+D y de colaboración técnica sobre el presente tema es muy amplia, como se puede comprobar en la sección correspondiente a la financiación pública y privada de los miembros del equipo en los últimos cinco años, la cual se incluye más adelante en esta Memoria. Su prestigio nacional e internacional queda avalado por las publicaciones, participación en proyectos de I+D y pertenencia a paneles de expertos y de evaluación de I+D, tanto españoles como extranjeros. En este sentido, mencionar que el último reconocimiento científico del equipo se ha producido recientemente al obtener el grupo de I+D TADRUS (Tecnologías Avanzadas aplicadas al Desarrollo Rural Sostenible), en el cual se integran los miembros del grupo solicitante y del que es coordinador el Investigador Principal de este Proyecto, Dr. Luis Manuel Navas Gracia, la calificación de Grupo de Investigación Reconocido por la UVa (este reconocimiento conlleva un riguroso proceso de evaluación externa a la propia Universidad).

Los profesores e investigadores integrantes del grupo investigador de la UVa constituyen un equipo multidisciplinar que, desde diferentes ámbitos de las ciencias y técnicas agroforestales y ambientales, pueden proporcionar las soluciones tecnológicas y científicas que el sector productivo necesita. Dicho grupo lo forman los siguientes miembros:

- Dr. Luis Manuel Navas Gracia. Especialista en diseño, control y automatización de equipos y procesos agroambientales. Coordinador de los miembros del equipo pertenecientes al Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal.
- Dra. Mercedes Sánchez Báscones. Especialista en aprovechamiento agrario de residuos y compostaje. Coordinadora de los miembros del equipo pertenecientes al Departamento de Ciencias Agroforestales.
- Dr. Jesús Martín Gil. Especialista en tecnologías del medio ambiente e ingeniería ambiental. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal.
- Dr. Salvador Hernández Navarro. Especialista en geoestadística e inventariación de recursos naturales. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal.
- Dra. María Ángeles Díez Gutiérrez. Especialista en analítica de residuos. Departamento de Ciencias Agroforestales.
- Dra Adriana Correias Guimaraes especialista en tratamiento de residuos de origen ganadero, especialmente por digestión anaerobia. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal.

- Dña. Carmen Teresa Bravo Sánchez, licenciada en Ciencias Químicas y en Enología, Máster en Investigación en Ingeniería para el desarrollo Agroforestal y especialista en análisis de suelos, planta y residuos y responsable en el laboratorio del manejo de grandes equipos de análisis instrumental utilizados en la investigación.

El grupo Investigador lleva trabajando conjuntamente desde hace 10 años en diversas actuaciones relacionadas con tecnologías medioambientales, destacando su colaboración en el desarrollo de tecnologías innovadoras para los procesos de compostaje, sobre todo en los últimos años con el trabajo con diversos residuos de cadáveres de animales, residuos industriales y chapapote del Prestige.

Además, el equipo investigador ya ha realizado, con muy buenos resultados, experiencias a escala real de compostaje de los animales muertos en explotaciones intensivas de ganado aviar y porcino, así como de otros residuos cárnicos, tales como, 'carnazas' de la industria peletera o residuos de mataderos de conejos. Estos estudios de compostaje de animales muertos han sido publicados recientemente, durante el año 2004, en la revista de impacto *Compos, Science and Utilization*.

La experiencia de los integrantes del grupo en el desarrollo de iniciativas de I+D y de colaboración técnica relacionadas con la temática de esta propuesta es muy amplia, habiendo participado, entre otras, en las actuaciones de investigación enunciadas a continuación.

3. RESULTADOS PREVIOS DE PARTIDA

El equipo investigador de la Universidad de Valladolid lleva trabajando desde hace años en el estudio y caracterización de los procesos de biodegradación en fase sólida para la eliminación de residuos orgánicos e inorgánicos y su valorización como fertilizante organo-mineral. Fruto de estos trabajos, soportados por los correspondientes proyectos de I+D públicos y privados, se ha desarrollado y se encuentra disponible una tecnología de compostaje mediante sistemas cerrados discontinuos, la cual es el objeto principal del presente Proyecto, con su adaptación y optimización en la eliminación de los residuos de las

industrias de ovoproductos e incubadoras del sector de la avicultura de puesta. Esta tecnología se encuentra en proceso de registro y protección por parte de la Universidad de Valladolid.

Los compostadores cerrados discontinuos se componen de dos partes fundamentales:

- Módulo BOX-COMPOST, envoltorio contenedora de los compostadores.
- Dispositivo COMPOSTRONIC, encargado del acondicionamiento de temperatura y humedad del material tratado y el control automático de todo el proceso de biodigestión.

En las Fotografías 1 y 2 se muestran el compostador cerrado discontinuo piloto y el banco de pruebas experimental que emplea el equipo investigador para el desarrollo, estudio y optimización de la tecnología generada.



Fotografías 1 y 2. Vista frontal y lateral del biodigestor de experimentación y del banco de pruebas para el desarrollo y optimización de la tecnología.

4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

4.1. FINALIDAD DEL PROYECTO

El presente Proyecto tiene por finalidad principal trasladar a los productores e industriales del sector de los ovoproductos y de las incubadoras de la producción avícola de puesta, englobados en la Asociación Española de Productores de Huevos (ASEPRHU), la tecnología y los conocimientos científico-técnicos sobre el diseño, utilización y aplicación del compostaje en sistemas cerrados discontinuos, sistemas que han sido desarrollados por el equipo investigador de la Universidad de Valladolid, y efectuar la optimización de los mismos con los residuos generados por las industrias receptoras de la mencionada tecnología. Además se ha realizado la valorización del producto resultante de la biodigestión como fertilizante organo-mineral. por último, se han realizado estudios de bioseguridad de todo el proceso (patógenos, restos de alimentos, metales pesados, biodegradabilidad, etc.).

Además de conseguir la eliminación segura e *in situ* de los residuos, se pretendía conseguir que los productores dispongan de un producto final libre de contaminantes o tóxicos acumulados, y ello se realizará mediante la adaptación de la tecnología de biodigestores disponible por parte del equipo investigador, generando los diseños óptimos más adecuados a las características de las explotaciones y a los residuos a tratar, y desarrollando los sistemas de gestión optimizados de los procesos de tratamiento, mediante la monitorización, el control automático, la optimización y la detección remota de las variables que intervienen en el proceso.

Finalmente, es de destacar que la eliminación mediante biodegradación en fase sólida (compostaje) de los restos orgánicos e inorgánicos de las explotaciones en las que son generados, puede ser llevada a cabo en la propia explotación, sin necesidad de transportar estos restos biológicos a otro lugar de procesado. Esta circunstancia evita drásticamente el grave riesgo de difusión de epizootias a otras zonas.

4.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos generales prioritarios del presente Proyecto son los siguientes:

- Posibilitar la aplicación del Reglamento CE 1069/2009 en materia de eliminación de subproductos de origen animal no destinados a consumo humano del sector productivo de la avicultura de puesta (ovoindustrias e incubadoras), mediante la técnica de biodegradación en fase sólida, adecuada a las necesidades, condiciones productivas y situación socio-económica de dicho sector productivo.
- Transferir la tecnología de la biodegradación en fase sólida mediante digestores cerrados discontinuos, para la eliminación de subproductos de origen animal no destinados a consumo humano del sector productivo de la avicultura de puesta (ovoindustrias e incubadoras).
- Garantizar la destrucción *in situ* de residuos inorgánicos y subproductos de origen animal no destinados a consumo humano del sector productivo de la avicultura de puesta

(ovoindustrias e incubadoras), mediante el método alternativo a la incineración que es el compostaje, con lo cual se evitará el riesgo de propagación de enfermedades (objetivo de bioseguridad).

- Generar el conocimiento, los protocolos técnicos y las tecnologías necesarias para hacer viable técnicamente e interesante económicamente para el sector productivo de la avicultura de puesta (ovoindustrias e incubadoras) la eliminación de residuos en sus instalaciones mediante la técnica del compostaje.
- Revalorizar los residuos y subproductos de origen animal no destinados a consumo humano del sector productivo de la avicultura de puesta (ovoindustrias e incubadoras) como fertilizante organo-mineral.

Partiendo de los anteriores objetivos generales, se concretaron los siguientes objetivos específicos:

1. Caracterización completa (tipo, propiedades, volúmenes y ciclos de generación) de los residuos orgánicos e inorgánicos producidos por las instalaciones de ovoproductos e incubadoras.
2. Adaptación de la tecnología del compostaje mediante digestores cerrados discontinuos (tecnologías de diseño, mecanización, acondicionamiento térmico-másico y control automático) según las características de los residuos orgánicos e inorgánicos producidos por las instalaciones de ovoproductos e incubadoras.
3. Optimización del proceso de tratamiento por biodegradación aerobia en fase sólida mediante digestores cerrados discontinuos, definiendo la composición de las mezclas, el acondicionamiento térmico y acuoso de las mismas, el estudio de la evolución monitorizada del proceso, la toma de decisiones automática para el control del mismo y el tiempo necesario para su correcta conclusión, a fin de obtener un producto final degradado en el menor tiempo posible y con la mayor capacidad de aprovechamiento agrícola.
4. Planteamiento de experiencias piloto en condiciones reales de una ovoindustria, para el tratamiento y eliminación de los residuos generados, mediante el compostaje de los mismos en digestores cerrados discontinuos.
5. Estudio de la evolución de los parámetros físico-químicos durante el desarrollo de los distintos procesos de compostaje a realizar.
6. Identificación y seguimiento de la evolución de las poblaciones de agentes patógenos a lo largo de todos los procesos de compostaje estudiados y en los productos finales obtenidos.
7. Evaluación de la producción de gases en los diferentes tratamientos de compostaje, durante todo el desarrollo de los mismos, con objeto de caracterizar la posible afección medioambiental.
8. Valorización de la calidad del producto obtenido para su reutilización en el suelo como enmienda orgánica o abono orgánico u organo-mineral, mediante ensayos de germinación y de evolución en el suelo: Recuperación de los elementos fertilizantes y/o materia orgánica contenida en el residuo, con lo que se conseguirá cerrar ciclos naturales y controlar los metales y las sustancias orgánicas peligrosas.

4.3. JUSTIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS

El Proyecto aquí expuesto tiene por objeto transferir la tecnología de la biodegradación en fase sólida mediante digestores cerrados discontinuos, para la eliminación de residuos y subproductos animales no destinados al consumo humano procedentes del sector de la avicultura de puesta (ovoindustrias e incubadoras), con el fin de disponer de un método alternativo a la incineración, para poder ser realizado en las propias instalaciones (bioseguridad de las instalaciones, al evitar la entrada de vehículos de los actuales gestores de residuos) y poder valorizar el producto resultante como fertilizante organo-mineral. Para la evaluación de la viabilidad del proceso se pretendía conocer los aspectos e impactos ambientales que puedan aparecer a lo largo de todo el ciclo de vida, y efectuar el seguimiento utilizando diversos tipos de metodologías: Aplicación de ensayos e indicadores de bioseguridad, utilización de herramientas de gestión para evaluar los efectos ambientales y realización de los mejores diseños de ingeniería, para conseguir las tecnologías óptimas para los procesos estudiados y verificar con posterioridad los logros alcanzados.

El aspecto más relevante del Proyecto fue la adaptación de la tecnología actualmente disponible por parte del equipo investigador a las condiciones reales de generación y tipología de residuos por parte de las ovoindustrias, lo cual requirió de la realización de diseño alternativos, optimización de los procesos de acondicionamiento del proceso de compostaje y validación de los dispositivos obtenidos, mediante ensayos a escala industrial en la explotación avícola, además de desarrollar sistemas de gestión de los procesos de tratamiento mediante la monitorización y detección remota de las variables que intervienen en los mismos. Se desarrollarán técnicas de control automático avanzado que mejoren los procesos de tratamiento de estos residuos y se diseñarán aplicaciones modulares para la monitorización y control integral de los procesos de tratamiento.

Todos los objetivos se desarrollaron mediante tareas que se fueron realizando de forma coordinada mediante el diseño de un plan de trabajo adecuado.

5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO PRESENTADO

5.1 PLAN DE TRABAJO Y METODOLOGÍA

Las experiencias se han realizado, a escala real, en una explotación avícola de puesta situada en la provincia de Valladolid. Los residuos producidos en la granja mencionada consisten en gallinas muertas y gallinaza procedentes de las naves de producción, cascarilla de huevo producida zona de envasado y torta procedente de la depuración de las aguas residuales; asimismo se ha utilizado paja de cereal como agente esponjante y como acondicionador químico dado su elevado contenido en carbono y bajo en nitrógeno corrige, en parte, la relación carbono/nitrógeno de partida.

Se ha procedido a la caracterización de los materiales de partida (ver tabla 1) y a la determinación de las proporciones de mezcla (gallinas/gallinaza/paja/cáscara/torta, en peso, 1/0,9/0,1/0,4/0,3) así como su disposición en el compostador en capas para facilitar su biodegradación. Los materiales se introducen en el compostador en dos tandas, con una semana de diferencia, para favorecer el arranque y la optimización del reactor ya que de la primera a la segunda carga se produce una disminución importante del volumen de la masa. Los cadáveres se añaden enteros sin triturar para evitar salpicados y escurridos de líquidos que originarían graves problemas de bioseguridad (ver fotografías 3 y 4).

Tabla 1 . Caracterización de los residuos producidos en la granja

| | Gallina | Gallinaza | Paja | Huevo | Torta |
|--------------|---------|-----------|-------|-------|-------|
| C total (%) | 42,03 | 30,73 | 42,70 | 11,93 | 20,47 |
| N total (%) | 11,42 | 3,00 | 1,65 | 0,93 | 3,11 |
| Relación C/N | 3,68 | 10,25 | 25,93 | 16,27 | 6,58 |

Se han utilizado distintos caudales de aireación medidos en minutos de aire aplicado cada cierto intervalo de tiempo en horas (5/12, 5/24 y 5/48). el tiempo de duración del proceso se ha mantenido entre 110 y 115 días en las cuatro experiencias (ver tabla 2).



Fotografías 3 y 4. Proceso de llenado del compostador en capas

Tabla 2. Resumen de las experiencias realizadas

| Experiencia (días) | FECHA | Aireación min/horas | Gallinas (kg) | Gallinaza (kg) | Paja (kg) | Huevo (kg) | Torta (kg) | Relación gallinas/gallinaza/paja/huevos/torta |
|--------------------|------------------------|---------------------|---------------|----------------|-----------|------------|------------|---|
| 1 (114) | 23/9/2008 15/1/2009 | 5/48 | 471,3 | 406,8 | 48,3 | 205,3 | 169,9 | 1/0,9/0,1/0,4/0,4 |
| 2 (114) | 23/9/2008 15/1/2009 | 5/12 | 469,5 | 384,3 | 40,3 | 184,3 | 156,6 | 1/0,8/0,1/0,4/0,3 |
| 3 (111) | 3/4/2009 23/7/2009 | 5/24 | 389,9 | 384,1 | 47,2 | 146,3 | 122,7 | 1/1/0,1/0,4/0,3 |
| 4 (111) | 3/4/2009 23/7/2009 | 5/12 | 396 | 374,5 | 38,7 | 144,9 | 120,2 | 1/0,9/0,1/0,4/0,3 |

Para el seguimiento del proceso se ha utilizado un control continuo de temperatura a través de un dispositivo data logger dotado de registradores de datos de la familia U12 de 12-bit para Exterior: HOBO U12 de 4 Canales Externos con caja para intemperie. Capacidad 64K-43000 medias de 12 bit. Comunicación USB directa con el PC y sensores externos de temperatura para la familia de registradores U12 y Software para la familia HOBO. Asimismo se miden los gases desprendidos, utilizando un dispositivo de medida de gases múltiples, de la marca VIA-DRAGER, modelo Multiwarn II, consistente en 1 dispositivo de alarma para 4 gases MOD X-AM 7000 con bomba de aspiración interna MOD 8317400. Dispone de sensores de CO₂ infrarrojo mod. 6810590, sensor de NH₃ mod. 6809145, sensor para H₂S 100 ppm mod. 6809110 y sensor de NO₂ mod. 6809155. La medida se efectúa en el exterior (a una distancia de 50 cm del biodigestor) y en el interior (introduciendo la sonda de medida a través de uno de los orificios de ventilación).

Finalmente, se efectúa un seguimiento, en muestras tomadas con periodicidad semanal, de la evolución de la DBO medida con un respirómetro a volumen constante construido siguiendo las indicaciones de Willson y Dalmat (1986), la DQO analizada según el procedimiento descrito en la norma UNE 77-004-89, y la relación C/N obtenida a partir de los datos de C y N analizados mediante un analizador LECO CHN 2000. Una vez vaciado el digester se ha procedido al cálculo de la pérdida de peso en el proceso y a la caracterización físico-química del producto final así como el índice de germinación, siguiendo la metodología de Zucconi y col. (1984), para determinar el grado de estabilización de la materia orgánica.

5.2 RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

5.2.1 Evolución de la temperatura durante las experiencias

Las figuras 1, 2, 3 y 4 muestran la evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje de las mezclas, en las 4 experiencias.

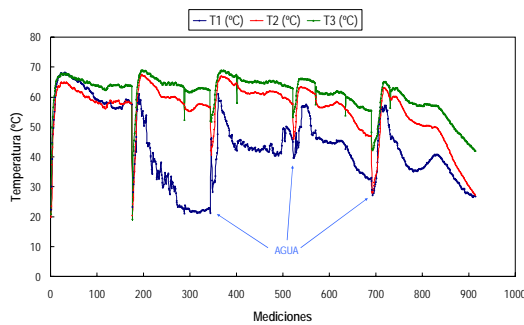


Fig. 1. Evolución de las temperaturas (1ª experiencia)

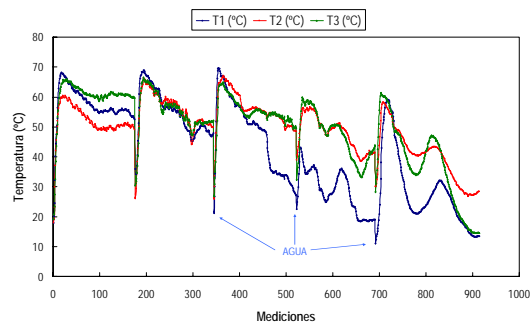


Fig. 2. Evolución de las temperaturas (2ª experiencia)

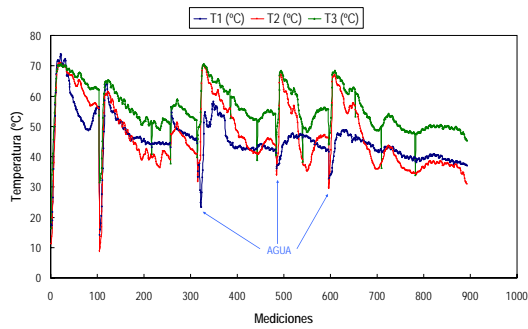


Fig. 3. Evolución de las temperaturas (3ª experiencia)

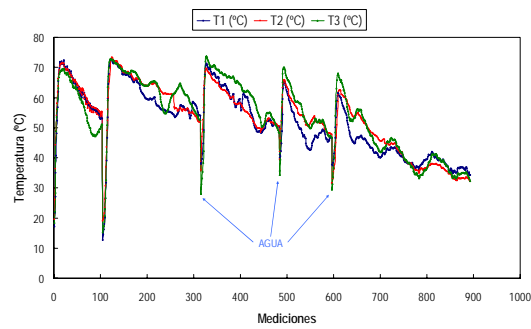


Fig. 4. Evolución de las temperaturas (4ª experiencia)

En todas las experiencias se observan los típicos repuntes debidos a las cargas iniciales del material efectuadas y a los tres riegos realizados durante la experiencia para compensar la pérdida de humedad producida por las altas temperaturas alcanzadas. Lo destacable de las gráficas es la estabilidad de las temperaturas hasta el vaciado, que como se puede observar, prácticamente todo el proceso se ha desarrollado entre 60 °C y 70 °C (valor máx 68 °C) en la 1ª experiencia, 50 °C y 70 °C (valor máx. 69 °C) en la 2ª experiencia, 50 °C y 60 °C (valor máx 73 °C) y 50 °C y 70 °C (valor máx 73 °C). En las experiencias 2 y 4 se observa que las temperaturas disminuyen más rápido que la 1 y 3 y las temperaturas difícilmente se mantienen por encima de los 50 °C en el último tercio de la experiencia.

5.2.2 Evolución del desprendimiento de gases

La media de los gases en el exterior muestra valores similares en todas las experiencias, no se aprecia ningún desprendimiento de metano y la concentración de CO₂ es de 0,03 % vol en todos los casos y a lo largo de todo el ciclo de compostaje.

Por el contrario, las medidas efectuadas en el interior del biodigestor muestran una evolución como la que puede verse en las figuras 5, 6, 7 y 8.

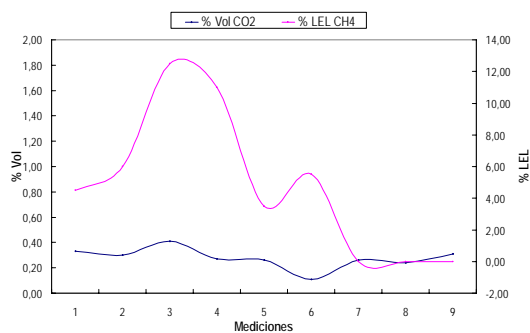
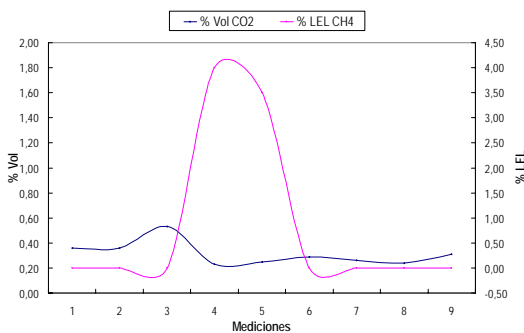


Fig. 5. Evolución de los gases en el interior (1ª exper)
 en el interior (2ª exper)

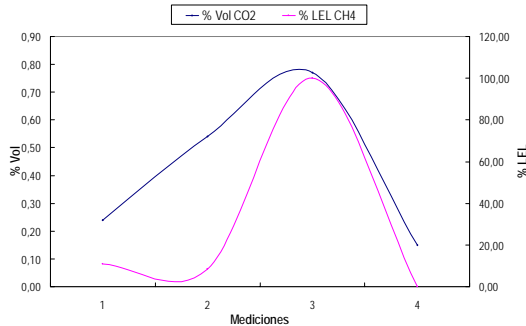


Fig. 6. Evolución de los gases

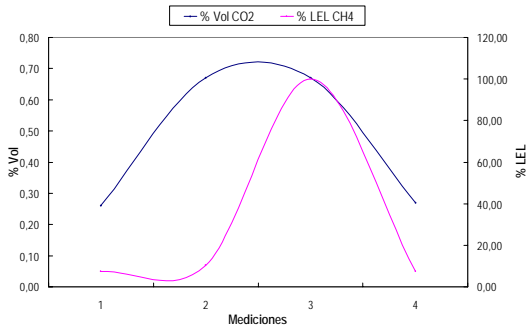


Fig. 7. Evolución de los gases en el interior (3ª exper)
 en el interior (4ª exper)

Fig. 8. Evolución de los gases

La producción de metano en el proceso de compostaje está relacionada con la creación de zonas anaerobias debidas a la deficiente aireación. En el caso de los cadáveres es muy habitual que estas zonas se produzcan en los inicios del proceso de degradación al compactarse la masa formada por el cadáver; la primera etapa del proceso se caracteriza, por tanto, por elevados desprendimientos de CH₄ (compactación del material inicial) y CO₂ (degradación rápida del carbono orgánico más lábil). Posteriormente la aireación suministrada por el equipo a toda la masa, junto con la presencia de compuestos orgánicos más resistentes a la biodegradación, hace que el desprendimiento de ambos gases a medida que se acerca el final del proceso. Por otra parte, las altas temperaturas alcanzadas durante las experiencias 3 y 4, respecto a las 1 y 2, favorecen también el mayor desprendimiento de CO₂ observado.

5.2.3 Evolución de la DQO y DBO

La evaluación de la DBO obtenida mediante ensayos de respirometría, midiendo la diferencia de presión, en el manómetro, a medida que se consume oxígeno por la degradación de la materia orgánica contenida en el residuo, y la consiguiente producción de CO₂ (ver figuras 9 a 12). Teniendo en cuenta las dificultades para obtener una muestra homogénea significativa del momento de descomposición de la mezcla a compostar, en líneas generales a medida que avanzan las semanas el contenido de sólidos biodegradables en el residuo disminuye y la pendiente de la curva es menos pronunciada.

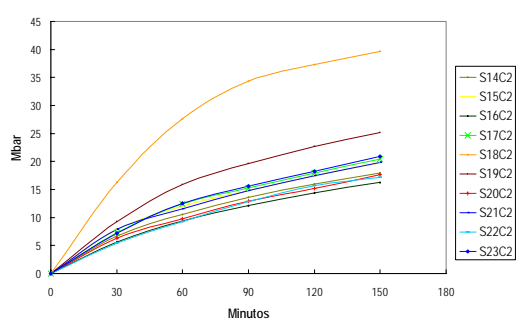
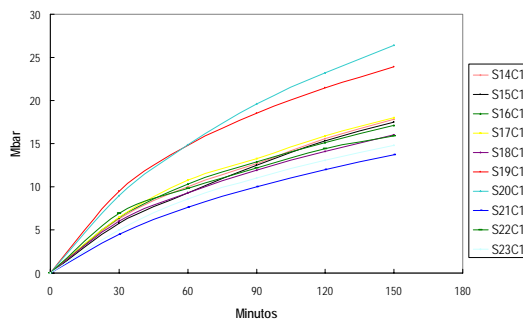


Fig. 9. Evolución de la DBO (1ª exper)

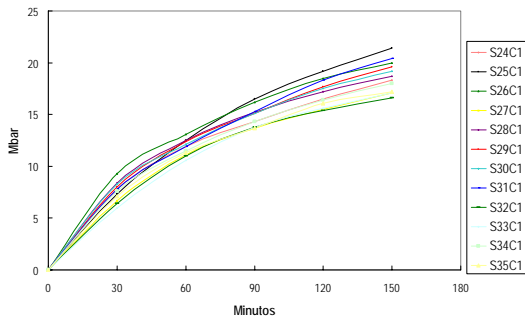


Fig. 10. Evolución de la DBO (2ª exper)

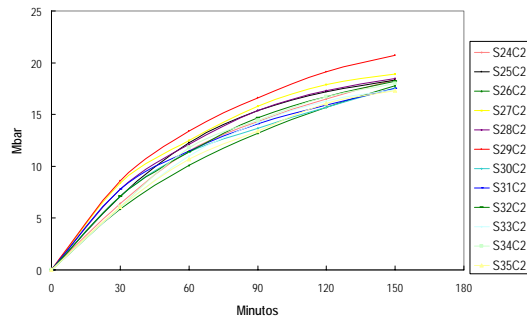


Fig. 11. Evolución de la DBO (3ª exper)

Fig. 12. Evolución de la DBO (4ª exper)

Estos datos concuerdan con los obtenidos para la DQO en las mismas muestras (ver figuras 13 a 16), tomadas a intervalos, durante las experiencias de compostaje. Es evidente que las curvas deberían poseer una pendiente negativa a medida que el material degradable se consume en el proceso. Este parámetro tan útil, en otras ocasiones, para el seguimiento del compostaje, en este caso no se muestra efectivo por la disposición de los residuos en capas y la imposibilidad de tomar una muestra en el mismo lugar que la vez anterior, a pesar de que las muestras se tomaban en varios lugares para conseguir la mayor representatividad posible.

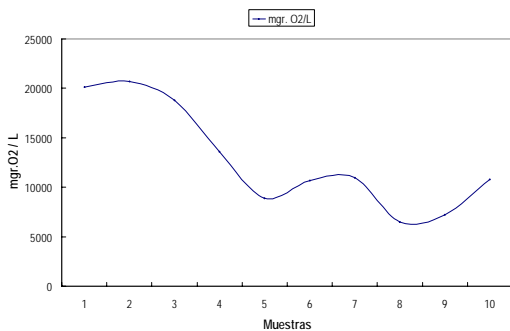


Fig. 13. Evolución de la DQO (1ª exper)

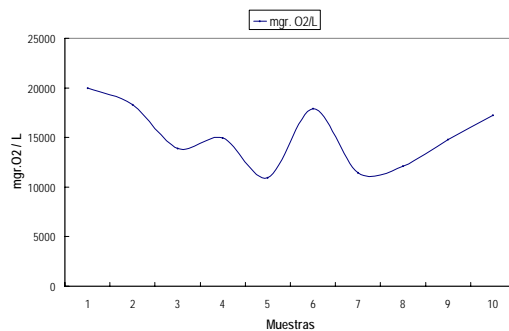


Fig. 14. Evolución de la DQO (2ª exper)

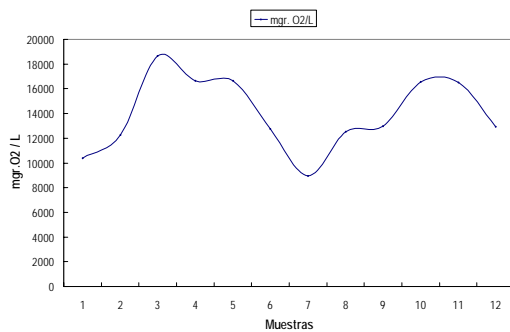


Fig. 15. Evolución de la DQO (3^a exper)
exper)

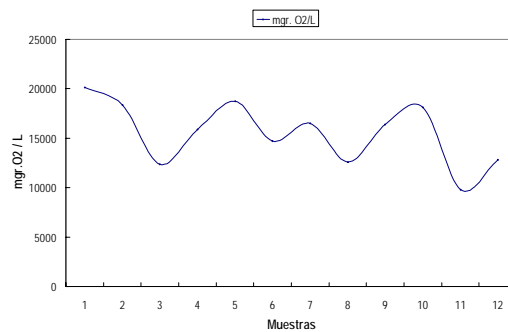


Fig. 16. Evolución de la DQO (4^a exper)

5.2.4 Relación C/N

En todas las experiencias se observan relaciones C/N relativamente bajas debido al elevado contenido en nitrógeno de las mezclas. La relación C/N media durante toda la experiencia es de 10,71 (1^a exp), 9,24 (2^a exp), 9,09 (3^a exp) y 8,30 (4^a exper). Es evidente que un aumento de la relación C/N durante el proceso acercándola a la óptima (20-35), mejoraría el desarrollo del compostaje. Sin embargo, en estas experiencias con cadáveres de animales donde el biodigestor tiene un volumen limitado, el material carbonado necesario para ese equilibrio ocuparía la mayor parte del espacio y se olvidaría el objetivo fundamental del proceso de eliminar los cadáveres.

5.2.5 Pérdida de peso

El peso del producto final obtenido solo pudo determinarse en dos últimas experiencias. En la experiencia 3 se añadieron al compostador 1090,2 kg de material y el peso final fue de 610 kg, lo que arroja unas pérdidas del 44,05% en peso, valores similares a los encontrados en la experiencia 4 con unos pesos inicial y final de 1074,3 y 550 kg respectivamente y una pérdida del 48,8%. Por tanto prácticamente la mitad del producto añadido se degrada en el proceso de compostaje.

5.2.6 Ensayos de germinación

El producto final obtenido en las experiencias se sometió a ensayos de germinación para determinar su calidad. En la experiencia 1, se observa que el Índice de Germinación (IND) es superado por el extracto de 1 g con un 118,45% y el de 5 g con un 87,30%; algo similar ocurre en la experiencia 2 obteniendo valores de 130,59% y 92,02% para los extractos de 1 y 5 gramos respectivamente; en estas experiencias el tiempo de estancia de la mezcla en el compostador ha sido bastante extensa y el proceso satisfactorio, obteniendo un índice próximo al 90%. Por el contrario, en la experiencia 3 se obtienen valores, para

ambos extractos, de 95,64 % y 0,24 %, además se observó que, con el extracto de 5 g apenas germinaron 7 semillas de las 80 utilizadas en el ensayo y con una longitud máxima de raíz de 1,7 cm, síntoma de un compost muy inmaduro o de la presencia de algún agente fitotóxico. Por último, la experiencia 4 tampoco arrojó resultados satisfactorios (82,42 y 17,04 % en los extractos de 1 y 5 g respectivamente) donde germinaron muy pocas semillas y, las que lo hicieron, apenas se desarrollaron.

5.2.7 Conclusiones

De los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Se ha conseguido adaptar la tecnología actualmente disponible por parte del equipo investigador a las condiciones reales de generación y tipología de residuos por parte de las ovoindustrias, el funcionamiento del equipo fue óptimo, tras las modificaciones y ajustes oportunos, realizados en el transcurso de experiencias previas (no presentadas en este proyecto puesto que no se realizó ninguna medición del proceso sino únicamente de funcionamiento del biodigestor).

Las elevadas temperaturas alcanzadas en el proceso y su mantenimiento en el tiempo permiten asegurar la completa higienización de los materiales, corroborado por los análisis microbiológicos periódicos que han mostrado ausencia de: *Clostridium perfringens*, *Shyella*, *E. coli*, *Coliformes*, *Streptococcus* y *Salmonella*.

El desprendimiento de NH₃ es muy elevado durante toda la experiencia debido a la baja relación C/N del material, por el contrario las emisiones de CO₂ y CH₄ son mas elevadas durante las primeras semanas de la experiencia y tienden a disminuir a medida que avanza el proceso. No obstante, los valores de la concentración de gases en el exterior del compostador son muy bajos y no existe afección medioambiental.

Por último, el material de partida reduce su peso aproximadamente un 45% y para que el producto final posea buenas características agronómicas, requeriría un proceso de maduración adicional que mejorarían los valores obtenidos para el índice de germinación.

5.2.8 Diseño de un Sistema de APPCC

1. INTRODUCCIÓN

El Sistema de Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos (APPCC), antes denominado Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos (ARCPC, ARICPC o HACCP), es un sistema preventivo de control sanitario que tiene como objetivo garantizar la inocuidad de los productos objeto del estudio.

Su objetivo es la identificación de los Peligros y, en su caso, Puntos de Control Críticos, la toma de medidas preventivas y la puesta en funcionamiento de un sistema de monitorización para la vigilancia del proceso.

Este sistema estudia no solamente los peligros de contaminación microbiológica sino que tiene en cuenta también todo tipo de peligros químicos y físicos que puedan estar presentes durante el proceso.

El método se fundamenta sobre todo en la adopción de medidas preventivas, no dependiendo totalmente del análisis del producto final, que es el método tradicional de control, e involucrando en gran medida a la propia empresa ya que es la que debe realizar los controles.

2. MANUAL DE APLICACIÓN

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Fase 1. Estructura y localización de la planta de compostaje

1.1 Edificio

Aunque en algunos casos, está permitida la instalación de compostadores temporales al aire libre, habitualmente se indica la necesidad de instalación en un recinto provisto de techado y suelo impermeable, en la mayor parte de los casos construidos siguiendo detalladas indicaciones de la Administración.

La bibliografía consultada hace ciertas consideraciones para asegurar que el proceso de compostaje se desarrolla bien y es compatible con las normas medioambientales y acústicas.

- **Techado.** Es necesario para prevenir que el agua de lluvia cree situaciones que dificulten el proceso. También debe de prevenirse que escorrentías procedentes del material que está compostando alcance a las aguas subterráneas y superficiales. Se recomienda una cubierta o tejado que sobresalga unos 0,6 metros, para evitar que los compostadores o material almacenado pueda mojarse con agua de lluvia, (Ouart *et al*, 1992).
- **Cimientos.** Se aconseja un suelo hormigonado, fácil de limpiar y capaz de hacer frente a escorrentías durante los días de lluvia. El área hormigonada debe extenderse fuera de la edificación propiamente dicha para que el movimiento del equipo necesario siempre tenga lugar sobre ella.
- **Materiales de construcción.** Es interesante la madera tratada, capaz de resistir las condiciones que se implantan durante el proceso.

Para determinar el tamaño que debe tener el edificio, deben seguirse las siguientes etapas:

1. Determinar el peso medio de animales que se van a compostar
2. Determinar el tiempo de cada ciclo de compostaje para el peso de animales indicado
3. Determinar el volumen de compostador o compostadores
4. Determinar las dimensiones del edificio incluyendo las dimensiones de los compostadores, número y área necesaria
5. Determinar las necesidades anuales de agente estructurante: virutas, paja, etc.

En muchos lugares se conceden al ganadero subvenciones para la construcción del edificio necesario para llevar al cabo el compostaje en buenas condiciones, o para habilitar a tal efecto un edificio ya existente, (Kashmanian, 1994).

Además, las plantas para el compostaje estarán situados en el interior de la finca, alejados de la zona de actividad ganadera, aislada de ésta por medio de una separación física (valla, tabique...) y, en el caso de que se necesite una recogida de los productos finales por medio de un camión, cercanos a una puerta de acceso (específica para dicho vehículo o, cuando no sea posible, cercanos la entrada común a otros vehículos). Se dispondrá de rodoluvios para la desinfección de las ruedas y chasis de los camiones.

1.2 Compostadores

1.2.1 Número y tamaño de los compostadores

Los compostadores que parecen en la bibliografía (De Bertoldi, M.1982; Murphy, D. W. 1993), tienen forma de prisma con base cuadrada o rectangular, su altura no debe ser

superior a 1,5-1,8 m, su anchura debe estar adaptada a la maquinaria que se emplee para mover del material de un compostador a otro, o de un compostador secundario al almacenamiento, (De Bertoldi, 1982; Murphy, 1993).

Se ha observado que funcionan mejor los compostadores pequeños, particularmente para los animales muertos durante el primer ciclo de producción, siempre y cuando su tamaño no sea inferior a 1,2 x 1,2 x 1,2 metros.

Además del tamaño de la granja, y por tanto, de la cantidad de cadáveres a tratar, el número de compostadores dependerá de la frecuencia con que se producen los cadáveres. Así, por ejemplo en las experiencias realizadas, por este equipo, con pollos de engorde, el ciclo productivo aconseja congelar los cadáveres y acumularlos en cantidad suficiente para que, al menos permitan completar la mitad del tamaño de la pila o compostador, con objeto de que se disponga de un volumen de material suficiente para conseguir una elevación de temperatura rápida y un proceso más corto; conviene recordar que se habla de producción de cadáveres media, pero que en los primeros momentos el peso es muy bajo y en los momentos finales es elevado. Por el contrario, en muchas de las granjas de gallinas ponedoras, los cadáveres se producen con una frecuencia y cantidad más uniforme, permitiendo la incorporación diaria de los cadáveres a la pila o compostador sin necesidad de un almacenamiento previo.

En el caso de ser necesarios los congeladores o refrigeradores, los cadáveres deben ser guardados en bolsas de plástico biodegradables, para evitar ensuciar estos aparatos. No obstante se debe proceder a una limpieza y desinfección periódica del mismo

1.2.2 Localización de los compostadores

Un detalle a tener en cuenta es la disposición de los compostadores dentro de la edificación: debe buscarse una disposición que haga mínima la superficie de pared exterior, con el objeto de, en determinados climas, evitar un excesivo enfriamiento del material que está compostando. Además permitirán el manejo de los materiales que integran el compostador mediante la utilización de medios mecánicos como la pala del tractor.

Por último se adoptarán medidas de desinsectación y desratización en los alrededores del dispositivo, especialmente cuando se produzcan las labores de descarga de cadáveres.

Fase 2. Traslado de los animales a la planta de compostaje

En el caso de las granjas que no precisen un método de refrigeración la recogida y traslado de cadáveres a la planta se realizará diariamente y éstos se acumularán en un contenedor o en la pala del tractor para su traslado a la planta donde se encuentra el compostador cerrado o la pila de compostaje, evitando en todo momento el contacto directo entre las personas, los cadáveres y las instalaciones.

Cuando la producción de cadáveres en peso es baja, las granjas precisan de una congelación hasta conseguir el volumen necesario (pueden ser varios días o semanas, dependiendo del momento del ciclo productivo). El refrigerador estará situado lo más cerca posible de la planta de tratamiento para evitar largos traslados. Asimismo, no será preciso descongelar los cadáveres antes de su introducción en la pila o compostador, pues el proceso arrancará igualmente aunque tarde un poco más y, de esta forma, se evita que escurran fluidos procedentes de la descongelación y la producción de malos olores.

Todos los dispositivos utilizados para el traslado (contenedor o pala) deben ser lavados y desinfectados después de cada utilización.

Por último, se adoptará medidas de protección personal, mediante el uso de monos de trabajo desechables, botas, guantes y mascarilla adecuada para la protección frente agentes infecciosos y gases perniciosos.

Fase 3. Operación de llenado de los compostadores

A los animales muertos hay que añadir una serie de materiales que hagan que el conjunto tenga una relación C/N comprendida entre 20:1 y 35:1, una humedad de 40-55 % y una porosidad que permita la existencia dentro del material de espacios vacíos para la circulación del aire, sobre todo, si como se ha indicado, se emplea un sistema de compostaje pasivo, es decir, cuya aireación está sustentada por el 'efecto chimenea'.

Se empieza llenando un compostador primario colocando en capas los distintos materiales: animales muertos, gallinaza y paja.

La proporción de cada uno de los ingredientes de la mezcla depende de los contenidos en carbono y nitrógeno de cada uno de ellos, de aquí que en la bibliografía se encuentren distintas proporciones. La mezcla con más frecuencia mencionada en la literatura es 1 kilo de animales, 1,5-2,0 kilos de gallinaza y 0,1 kilos de paja. Para estiércoles con una elevada relación C/N se aconseja utilizar 2 kilos de cama por cada kilo de animales, (Blake, 1996). En el presente trabajo se han probado varias proporciones, con los resultados comentados anteriormente.

Por último, a partir del contenido de humedad de cada uno de los materiales usados se calcula el peso de agua necesaria. Aunque la humedad es un factor crítico en el proceso de compostaje, la experiencia ha demostrado que no es necesario añadir agua a una gallinaza con niveles de humedad normales. Sin embargo, para camas muy secas o muy húmedas, debe ajustarse la humedad. Debe de tenerse en cuenta que en la descomposición de los animales se forma agua.

Los tres ingredientes se van introduciendo diariamente en capas hasta que el compostador esté lleno. Se pueden introducir en el siguiente orden: paja, animales, cama. Sobre el suelo hormigonado del compostador o la pila se deben colocar unos 30 cm de cama antes de empezar a colocar las capas de paja, animales y cama. Los animales deben estar separados unos 15 cm de las paredes del compostador, para facilitar su descomposición. El compostador puede estar llenándose durante varios días, siempre que los animales se cubran bien con la apropiada capa de cama, (Carter *et al*, 1996; Morse, 2001).

Para el ganadero debe ser una labor diaria la recogida de animales muertos y su colocación en el compostador, su peso determinará la cantidad que se debe añadir de los otros materiales, cama y fuente de carbono; pronto la experiencia le permitirá trabajar con volúmenes, utilizando, por ejemplo, la pala del tractor.

Los compostadores secundarios se llenan con el material existente en el compostador primario, una vez que la temperatura ha descendido lo suficiente. El traslado del material de uno a otro compostador debe hacerse de forma que se facilite la mezcla y aireación de los distintos materiales. Conviene cuidar que ninguna parte del material queda sin cubrir con una capa de la mezcla estructurante de unos 15 cm de espesor.

A lo largo de toda la experiencia se rellenarán las correspondientes hojas de campo cada vez que se introduzcan en los dispositivos nuevos cadáveres para su eliminación. En dichas hojas se recogerá la siguiente información: identificación de la granja, especie, fecha, número de cadáveres introducidos y peso estimado individual. Asimismo, se reflejarán las

medidas de LDD efectuadas y aquellas operaciones realizadas en el dispositivo, por ejemplo adición de agua o traslado a otro compostador o pila.

Fase 4. Descomposición del material a compostar

La temperatura en el compostador primario se elevará, de forma natural, hasta alcanzar valores comprendidos entre 60 y 70 °C. Para un buen control del proceso, es necesario disponer de un termómetro y medir diariamente la temperatura en el interior de la masa que está comportando. Para la degradación de los animales se necesitan de 7 a 15 días, dependiendo del agente estructurante empleado, temperatura, humedad y manejo.

En el compostaje en pilas o si se composta en dos etapas, cuando la temperatura desciende unos 25 °C, el conjunto de materiales se traslada al compostador secundario, donde la temperatura vuelve a elevarse. Durante el paso de un compostador a otro el material se mezcla y airea. Esto se consigue mejor dejando caer desde una cierta altura el material. Esta segunda etapa tiene una duración de 4-6 semanas.

Cada vez que se efectúe una toma de muestras, se rellenará la correspondiente hoja de toma de muestras que constará al menos de la siguiente información: identificación de la granja, especie, fecha, tipo de muestra, número de muestras, destino y análisis que se piensan efectuar.

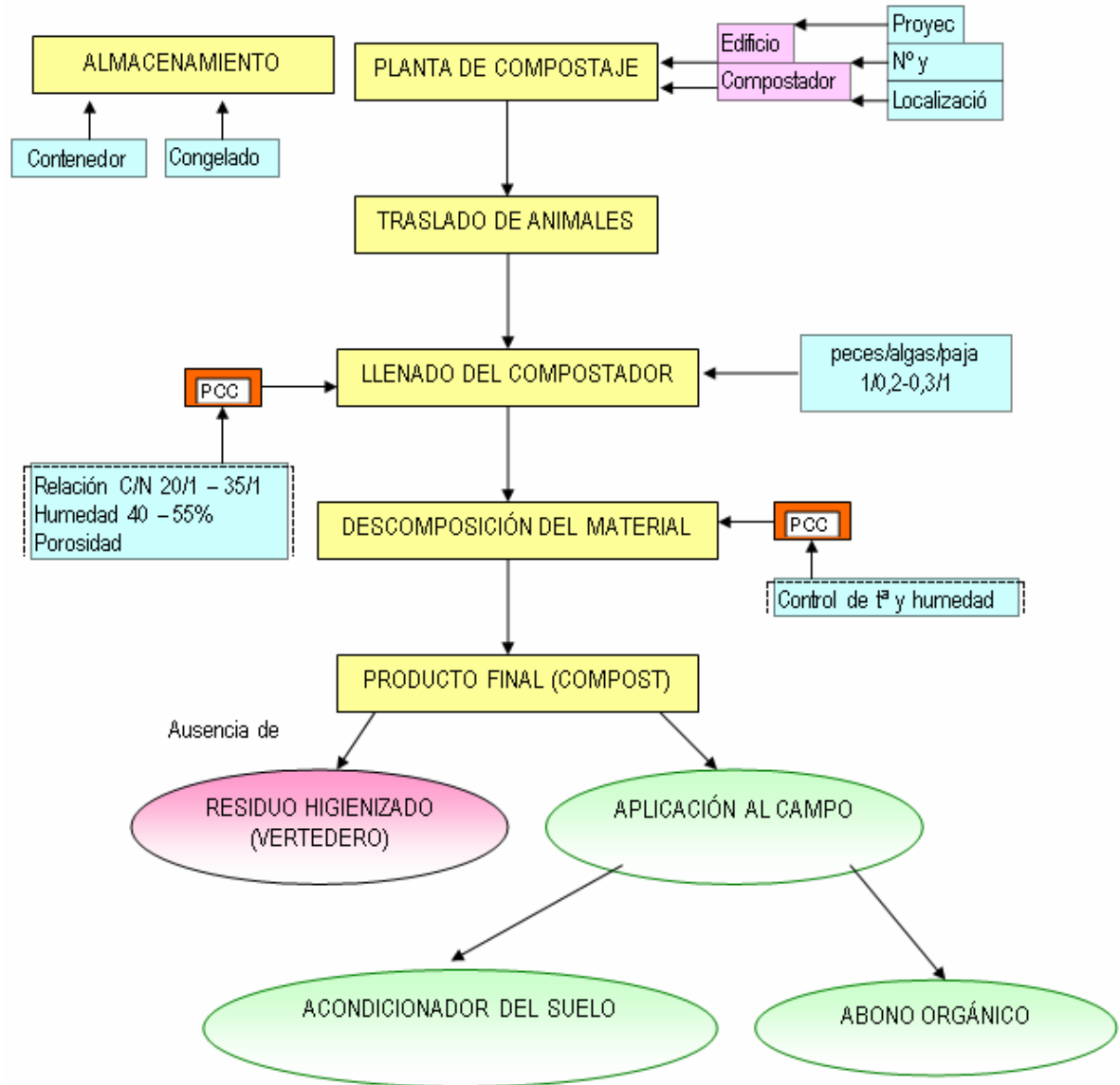
Fase 5. Producto final

Cuando el proceso se ha completado, el material es uniforme y menos activo, desde el punto de vista biológico. Habrá disminuido su tamaño de partícula, y su peso y volumen será menor que el inicial, debido a la pérdida de dióxido de carbono y agua. Este material se puede aplicar al campo, por ejemplo, en zona de pastos, como acondicionador del suelo. No obstante, en algunas partes, se prevé una tercera etapa que tiene lugar en el lugar donde se almacena el material. Puede actuar de almacén una pila, colocada en el exterior, y tapada con un plástico. Esta pila debe diseñarse de forma que no sea origen de contaminación de las aguas. De esta forma se asegura un buen grado de madurez que, después de su tamizado por malla de 1,5 cm., puede venderse como abono orgánico.

Además del termómetro dotado de una sonda de, al menos, 1 m. y que, en algunos lugares, es suministrado por la Administración, conviene llevar un libro de registro donde se indique el nombre de la explotación, la ubicación de la planta y, en su caso, de almacenamiento intermedio, la fecha, número y peso de los cadáveres colocados en el compostador, temperaturas, cantidad de agente estructurante, fecha en la que el material pasa del compostador primario al secundario y cantidades del producto final obtenido así como su destino.

4.2 DIAGRAMA DE FLUJO

Para la descripción del proceso se utiliza un diagrama de flujo por fases:



4.2 ANÁLISIS DE PELIGROS Y MEDIDAS PREVENTIVAS

Fase 1. Estructura y localización de la planta de compostaje

Peligro 1.1. La localización de la planta no es adecuada

En esta fase, el peligro principal consiste en instalar la planta en un lugar inadecuado porque no se encuentra a la distancia apropiada de la nave.

Medidas preventivas:

“Los dispositivos estarán situados en el interior de la finca, alejados de la zona de actividad ganadera, aislada de ésta por medio de una separación física (valla, tabique...) y, en el caso de que los dispositivos necesiten una recogida de los productos finales por medio de un camión, cercanos a una puerta de acceso (específica para dicho vehículo o, cuando no sea posible, cercanos la entrada común a otros vehículos). Se dispondrá de roduluvios para la desinfección de las ruedas y chasis de los camiones”.

Peligro 1.2. Diseño y construcción inadecuado

Un peligro fundamental de esta fase es que el diseño de la planta no posea el tamaño adecuado y no disponga de espacio para contener con comodidad el número de compostadores necesario, o bien que cree dificultades en la adición posterior de cadáveres. Por otra parte, una deficiente construcción puede ocasionar filtraciones al suelo que la rodea y a las aguas subterráneas.

Medidas preventivas:

Disponer de un proyecto de construcción realizado por personal cualificado.

Peligro 1.3 El número, tamaño y localización de los compostadores no es apropiado.

Cuando el número y tamaño de los compostadores no es adecuado puede ocurrir que no se disponga de la capacidad necesaria para eliminar la totalidad de los cadáveres que se producen en la granja.

Medidas preventivas:

Seguir las recomendaciones efectuadas en el apartado 4.1, punto 1.2 del presente anejo, sobre los aspectos tratados.

Fase 2. Traslado de los animales a la planta de compostaje

Peligro 2.1. Utilización de un vehículo de transporte de los cadáveres inadecuado.

La utilización de un medio de transporte inadecuado para el traslado de cadáveres puede ocasionar contaminación ambiental, si por tamaño insuficiente o por estar construido de materiales no apropiados permite la emisión de lixiviados.

Medidas preventivas:

Cuando los cadáveres se retiran diariamente e inmediatamente se añaden al proceso, no es necesario disponer de un almacenamiento previo, simplemente disponer de un medio de transporte propio para el traslado desde la nave hasta la fosa, que puede ser un contenedor provisto de ruedas o un volquete de un tractor, de forma que no permitan la emisión de lixiviados al exterior y que tengan la capacidad adecuada a los cadáveres a transportar, de forma que todos ellos se encuentren en el interior. No obstante, si accidentalmente se produjeran lixiviados, se recogerán utilizando un material absorbente como serrín y serán depositados en el interior de la pila o compostador, anotando convenientemente su entrada.

Peligro 2.2 Deficientes condiciones de higiene.

La falta de higiene de los vehículos de transporte puede originar la contaminación microbiológica de los cadáveres, como consecuencia de una contaminación cruzada con otras partidas de cadáveres. Además si el transporte se utiliza para otros menesteres en la

granja puede propagar la contaminación a otras zonas (personas, animales y medio ambiente).

Medidas preventivas:

1. Proceder a la limpieza del vehículo, después de cada uso, mediante la utilización de abundante agua acompañada de desinfectante. Ésta limpieza se realizará, a su vez, sobre una superficie de fácil limpieza y desinfección, como por ejemplo hormigón, y contará con un desagüe para la evacuación de los líquidos generados en el proceso.

2. Utilizar el vehículo únicamente para transportar cadáveres, nunca para otras necesidades de la granja, especialmente si los productos a transportar son destinados a la alimentación humana (carne o huevos) o animal (pienso).

Fase 3. Operación de llenado de los compostadores

Una vez trasladados los cadáveres al lugar donde se encuentra la planta de compostaje, el operario, convenientemente protegido, procederá al pesaje de los cadáveres y a su introducción en la pila o compostador, junto con el resto de materiales necesarios (gallinaza, paja, viruta de madera, serrín o cama). La disposición de los materiales en capas y su proporción se han indicado en el apartado 4.1. Se comprobará la humedad de la mezcla.

Peligro 3.1 Deficiente dosificación de la cantidad de materiales

Si no se utilizan las proporciones de materiales adecuadas, el proceso puede tardar más tiempo en arrancar (relación C/N elevada), o pueden producirse elevados desprendimientos de amoníaco (relación C/N anormalmente baja).

Medidas preventivas:

Pesado de los cadáveres y dosificación correcta de la cantidad de gallinaza y paja (relación cadáveres/gallinaza/paja comprendida entre 20:1 y 35:1). Estos datos se anotarán convenientemente.

Peligro 3.2 Incorrecta disposición de los materiales

Si la disposición de los materiales en capas no es adecuada puede ocurrir que su descomposición sea mucho más lenta o que en algunos lugares ésta no se produzca correctamente. Además puede producirse una deficiente aireación y crear bolsas poco oxigenadas, que provoquen una descomposición anaerobia en lugar de aerobia.

Medidas preventivas:

Seguir las indicaciones señaladas tanto en el informe técnico (apartado 2.3.3) y en el presente anejo (apartado 4.1, descripción del proceso).

Peligro 3.3 Contaminación biológica por la manipulación de los cadáveres

Existe la posibilidad de peligro biológico por la manipulación de los cadáveres sin la protección adecuada o por la incorrecta manipulación.

Medidas preventivas:

Se adoptarán medidas de protección personal, mediante el uso de monos de trabajo desechables, botas, guantes y mascarilla adecuada para la protección frente a agentes infecciosos.

Fase 4. Descomposición del material a compostar

Peligro 4.1 La temperatura alcanzada no es la adecuada.

Cuando la temperatura alcanzada no es suficientemente elevada, es indicio de que la descomposición no se está realizando correctamente.

Una descomposición del cadáver deficiente puede originar la emisión de gases y olores extraños al proceso que proporcionan un entorno desagradable en las proximidades, tanto para las personas como los animales. La presencia de malos olores es aviso de que el

sistema no funciona correctamente. Pueden ser causa de malos olores una carga excesiva, humedad demasiado baja o demasiado elevada o falta de una capa que cubra completamente los animales por encima o por los laterales. Los olores pueden proceder del exterior si los animales muertos no se incorporan de forma adecuada y en un corto período de tiempo. Para evitar olores es aconsejable llevar un control de la temperatura en el interior de la masa. Temperaturas demasiado bajas o que no aumentan rápidamente después de la carga indican la existencia de algún problema y permiten poner remedio.

Asimismo cuando el proceso no alcanza una temperatura adecuada, pueden aparecer insectos, ya que el calor producido en el proceso impide el desarrollo de larvas. La presencia de moscas y escarabajos es un indicador útil para evaluar el desarrollo del proceso. La aparición de grandes cantidades de insectos es señal de que el proceso no se está desarrollando de forma correcta, debido a una excesiva humedad, o una inadecuada relación C/N. Una vez que el problema haya sido corregido, los insectos no encontrarán atractivo el lugar.

Por último, si la temperatura alcanzada no ha sido elevada el producto final no estará libre de semillas de malas hierbas conveniente para su aplicación al suelo.

Medidas preventivas:

1. Comprobación, en las hojas de registro, de que las adiciones se efectuaron correctamente y la disposición de las capas ha sido la adecuada.

2. Inspección diaria del estado de la pila o compostador durante la introducción de cadáveres. Comprobar la temperatura de la masa y la humedad; este extremo se puede apreciar, de forma empírica, apretando con la mano un puñado de mezcla y observando si la palma se moja sin que caigan gotas de agua.

3. La colocación en la parte superior de material compostado y seco reduce el establecimiento de las condiciones de humedad requeridas para la puesta de los huevos de insectos

4. Los compostadores deben ser diseñados y construidos para hacer mínimos los problemas relacionados con la humedad.

5. El compostador debe estar situado lejos de filas de árboles, acequias, vertederos y áreas con mucha basura, para evitar el fácil acceso de vertebrados.

6. El compostador no debe tener huecos accesibles a los animales. Los compostadores tapados ayudan a alejar animales, como perros.

7. Debe mantenerse limpio, al menos, un perímetro de 15 cm alrededor del edificio habilitado para el compostaje. Debe de cortarse regularmente las malas hierbas que puedan crecer. No debe almacenarse madera o equipos viejos en la proximidad. Donde la madera de repuesto o tablas empleadas en la construcción del compostador se guardan en el lugar, deberían almacenarse sobre estantes situados a cierta altura. Ratas y ratones, en ocasiones, se instalan en rincones huecos, dentro del compostador o dentro del compost que está esperando ser aplicado al suelo. Se aconseja colocar cebos tan pronto como aparezcan.

8. La regla de los 15 cm. La última capa de animales debe estar cubierta por lo menos 15 cm de cama o de compost y los animales deben estar separados de las paredes también unos 15 cm, mediante la colocación del mismo material. Cuando el material se traslade al compostador secundario, deben de cubrirse los animales parcialmente descompuestos con 15 cm de compost.

9. El seguimiento de las proporciones aconsejadas permiten alcanzar una humedad y relación C/N que promueven el desarrollo de un adecuado proceso de compostaje.

10. Proporcionar la formación adecuada al granjero sobre el proceso de compostaje.

Peligro 4.2 Contaminación microbiológica del material

Cuando la temperatura alcanzada en el proceso no es suficiente, puede suceder que el material no se descontamine totalmente. Debe tenerse en cuenta que la eliminación de patógenos depende de la combinación tiempo-temperatura, es decir, una vez superada una temperatura mínima de inactivación, es igual de eficaz una temperatura baja actuando durante mucho tiempo que una elevada durante menos tiempo.

Medidas preventivas:

Para un control óptimo de patógenos se aconsejan, en el compostaje en abierto (pilas) el sistema en dos etapas, midiendo la temperatura y volteando el compost para asegurar que en toda la masa se han alcanzado esas temperaturas y ha permanecido en condiciones aerobias.

Cuando el proceso se realiza en compostador cerrado discontinuo, la temperatura del proceso no es tan crítica puesto que al final del proceso de descomposición, antes de proceder al vaciado, puede realizarse un calentamiento preventivo a temperaturas superiores a 60°C durante el tiempo necesario.

Fase 5. Producto final

El producto final será un material análogo al humus del suelo que ejerce efectos beneficiosos sobre las plantas. Además, debe estar libre de patógenos y de semillas de malas hierbas. Esta ausencia se debe a la implantación de temperaturas termófilas durante un tiempo adecuado y a la formación de antimicrobianos durante la fase de maduración.

No obstante, si por cualquier razón no fuera posible una aplicación al suelo, por falta de superficie agraria para la aplicación o desinterés de los agricultores para su reutilización, podría gestionarse su eliminación como cualquier residuo (retirada por un gestor autorizado y traslado al vertedero, sin peligro para la salud ni el medio ambiente ya que se trata de un producto totalmente higienizado).

Peligro 5.1 Material no descompuesto totalmente

Al vaciar la pila o el compostador puede ocurrir que algunos de los cadáveres no se hayan descompuesto de manera adecuada, apareciendo material rosado no descompuesto aún, generalmente por exceso de humedad, o bien material momificado por estar en un medio demasiado seco. Este material no debe mezclarse con el resto porque lo inutilizará para su aplicación al suelo.

Medidas preventivas:

1. Comprobar que el producto final posee las características indicadas en el apartado 4.1 del presente anejo y en el punto 2.6 del informe técnico.

2. Retirar el material no compostado e incorporarlo al siguiente compostaje. Comprobar la disposición del material en el proceso siguiente para que no vuelva a ocurrir esta deficiencia.

Peligro 5.2 Utilización inadecuada del producto final

Las características esenciales del producto final obtenido (material análogo al humus del suelo, rico en materia orgánica y nutrientes, libre de patógenos y semillas de malas hierbas), hacen conveniente su utilización en suelos como acondicionador para conseguir una mejora y aumento de la fertilidad del suelo y en la restauración de suelos degradados. Además, puede utilizarse como abono orgánico aprovechando su riqueza en materia orgánica y elementos fertilizantes.

Si las cantidades añadidas al suelo son muy elevadas puede producirse lixiviación de elementos fertilizantes solubles que excedan a las necesidades de las plantas y, por tanto, no puedan ser absorbidas por éstas en su ciclo de cultivo.

Medidas preventivas:

1. Utilizar el producto en suelos adecuados. Se consideran suelos adecuados aquellos que no presentan elevados contenidos en materia orgánica, suelos de textura arenosa y, en general, suelos poco fértiles.

2. Dosificar el producto correctamente en función de la finalidad (acondicionador del suelo o abono organo-mineral), la corrección a realizar y las necesidades del cultivo. Aprovechar el valor fertilizante del material utilizando, como factor limitante en la dosificación, el nitrógeno para no provocar pérdidas innecesarias o contaminación de las aguas por lixiviación.

4.3 IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL CRÍTICOS (PCCs)

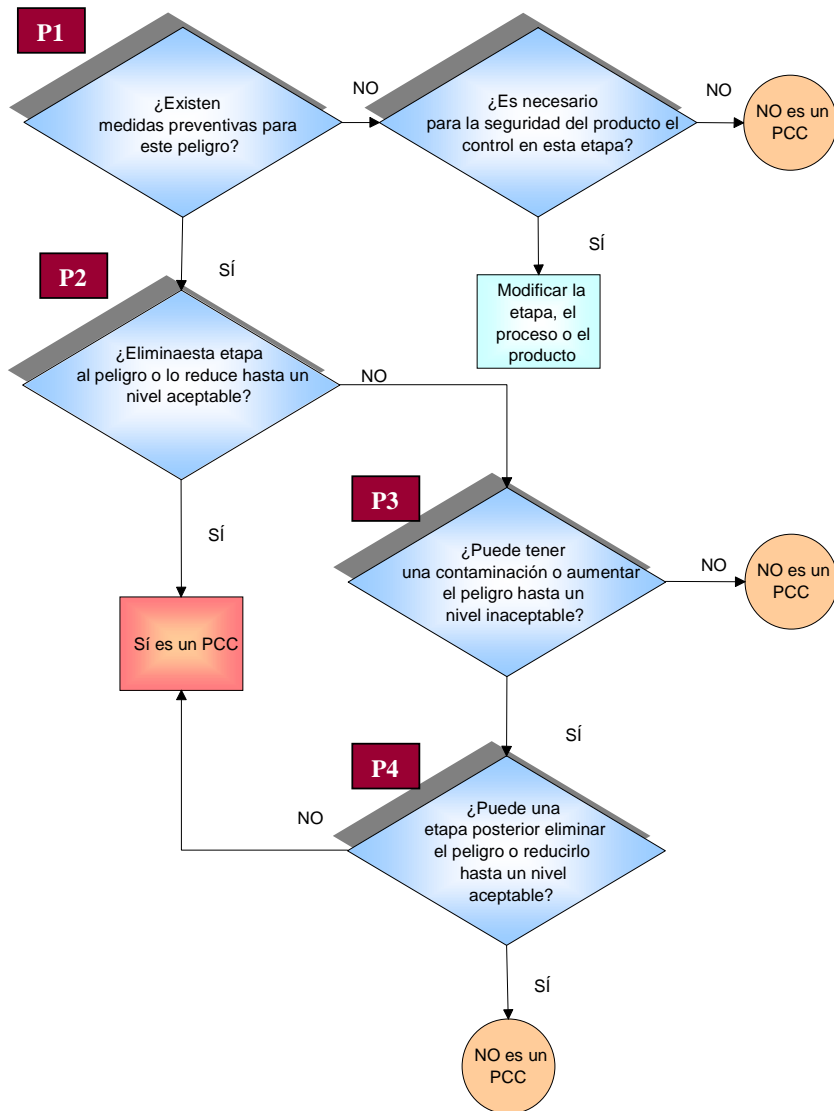
La finalidad de este principio es determinar el punto, la etapa o procedimiento en el procesado o fabricación en el que puede ejercerse control y prevención de un peligro relacionado con la seguridad, para eliminarlo o reducirlo a niveles aceptables.

Para la identificación de puntos de control críticos se aconseja la aplicación de un sistema de toma de decisiones en secuencia lógica para la identificación de los puntos críticos de control (PCC), en cada etapa del proceso, a todo peligro que pudiera previsiblemente aparecer y a todas las medidas de control definidas.

Estos programas de decisión, consisten en un diagrama lógico binario (con solo dos posibilidades de respuesta: 1/O ó SI/NO) de preguntas sencillas.

Para que se pueda calificar como PCC una operación o acción del proceso sometida a observación, es indispensable que se pueda actuar sobre ella, es decir, que se pueda aplicar una medida preventiva o correctora.

Responder sucesivamente a cada pregunta, en el orden indicado, en cada una de las etapas y para cada riesgo o peligro identificado.



Aplicando esta herramienta, se identifican dos puntos críticos:

1. Operación de llenado de los compostadores (Fase 3)
2. Descomposición del material a compostar (Fase 4)

4.4 ESTABLECIMIENTO DE LÍMITES CRÍTICOS, SISTEMA DE VIGILANCIA Y ACCIONES CORRECTORAS

El límite crítico es un valor que diferencia lo que puede aceptarse de lo que no. Para cada PCC, deben fijarse límites críticos para uno o varios parámetros que en lo posible deben basarse en datos seguros. Los valores escogidos deben dar como resultado que el proceso opere en condiciones de control. Puede haber más de un límite crítico para un PCC. Cuando uno de los límites críticos está fuera de control, el PCC estará fuera de control y puede existir un peligro potencial.

La vigilancia es una secuencia planificada de observaciones o de medidas para demostrar que un PCC está bajo control, y lleva consigo un registro fiel para su uso futuro en la verificación. Los procedimientos de vigilancia o monitorización deben ser capaces de detectar una pérdida de control en el PCC.

Las acciones correctoras son los procedimientos o cambios que deben introducirse, cuando se detectan desviaciones fuera de los límites críticos, para volver a los valores o rangos especificados. Las medidas que se adopten han de eliminar el peligro real o potencial que se creó a causa de la desviación del plan APPCC y garantizar un destino seguro para el producto involucrado.

Los procedimientos para una desviación tienen que estar documentados en el plan. Si ocurriera una desviación, se retendrá el producto hasta que se apliquen las medidas correctivas apropiadas. Se establecerá el destino final del producto dependiendo del daño causado. La identificación de los lotes con desvíos y las medidas de corrección tomadas se anotarán en el registro del APPCC, permaneciendo archivadas un tiempo razonable.

Las medidas correctivas abarcan cuatro actividades:

- Con los resultados del monitoreo, ajustar el proceso para cumplir con los criterios establecidos.
- Decidir el destino del producto elaborado en esas condiciones.
- Restablecer lo más pronto posible el cumplimiento de los criterios, analizar las causas del problema y hacer las correcciones necesarias para asegurar el control en un futuro.
- Registrar las medidas correctoras.

PCC. Operación de llenado de los compostadores.

Límite crítico

- Adicionar los materiales en proporción adecuada:
- Relación C/N comprendida entre 20:1 y 35/1
- Humedad comprendida entre 40 y 55%.
- Intercalar capas de cama y cadáveres cubriendo bien todos los huecos.
- Situar los cadáveres a distancias de 15 cm de las paredes del compostador o la pila.

Vigilancia

- Controlar el peso de cadáveres y resto de materiales añadidos.
- Controlar la humedad de la mezcla.

- Comprobar la disposición de las capas y la colocación de los cadáveres.

Medidas correctoras

- Comprobar las cantidades añadidas y corregir si fuera necesario.

Registros

- Registro R-01. Entrada de cadáveres y otros materiales a la pila o compostador.
- Registro de medidas correctoras.

PCC. Descomposición del material a compostar.

Límite crítico

- La temperatura debe alcanzar los 60°C y permanecer así durante unos días.
- No deben producirse malos olores.
- No deben aparecer insectos en cantidades anormalmente altas.

Vigilancia

- Controlar la temperatura del proceso.
- Comprobar la humedad.
- Comprobar la ausencia de malos olores y presencia excesiva de insectos.

Medidas correctoras

Si la temperatura disminuye bruscamente:

- corregir la aireación volteando si ésta es natural en la pila o insuflando aire en el compostador cerrado.
- corregir la humedad si ésta es escasa o excesiva.

Si el proceso no ha alcanzado la temperatura deseada:

- En el compostador cerrado proceder a un calentamiento final por encima de 60°C durante el tiempo necesario, utilizando las resistencias de que dispone.
- En el compostador abierto, efectuar un análisis para comprobar la ausencia de patógenos.

Registros

- Registro R-02. Control diario del compostador o la pila de compostaje.
- Registro de medidas correctoras.

4.5 VERIFICACIÓN

La verificación se realiza mediante pruebas adicionales, revisión de registros y procedimientos para determinar si el sistema APPCC funciona correctamente. Entre otras, se pueden realizar las siguientes actividades:

- Establecer esquemas de inspección y verificación apropiados.
- Revisar el plan de APPCC.
- Revisar los registros de los PCCs.
- Revisar las disposiciones y desviaciones.
- Inspeccionar visualmente las operaciones, para observar si el PCC está bajo control.
- Toma y análisis de muestras.

Por tanto, en este caso se propone realizar una inspección visual para comprobar que el proceso funciona correctamente y revisar los registros de los PCCs así como las desviaciones y las acciones correctoras.

Bibliografía citada en el Sistema de APPCC:

Blake, J. P. y Donald, J. O. Frequently Asked Questions Aput On-Farm Poultry Carcass Composting. ANR-980, Universidad de Alabama, 1996.

Carter T., Anderson K., Arends. J., Barker J., Bunton K., Hawkins B., Parsons J., Rives D., Scheideler S., Stringham M., Wineland, M.. Composting Poultry Mortality in North Carolina. North Carolina Cooperative Extension Service. Publication Number: PS Facts #11.1996

De Bertoldi, M.; Vallini, G.; Pera, A.; Zucconi, F. Comparison of three windrow compost system. Biocycle, 23, pp.45-50, 1982.

Kashmanian, R. M. Building support for composting in agriculture. I. BioCycle, 35, pp. 7-70, 1994.

Morse, D. E. Composting Animal Mortalities. Disponible en Minnesota Department of Agriculture, www.mda.state.mn.us, 2001.

Murphy, D. W. Feasibility of window composting for disposal of large-scale broiler mortality. 1. Preliminary Tests; 2. a Field Case. Poultry Science, 72 (Supp), pp. 78, 1993.

Ouart, M. D.; Bucklim, R. A.; Douglas, C. R. Farm structures for manure storage and composting mortality. Proc. Fla. Poult. Inst., 501, pp. 18-24, 1992.