



## **Acta N° 21 de Evaluación, Carrera de la Carrera de Maestría en Bioseguridad-Salud Animal**

---

A las 11 horas del día catorce de septiembre de dos mil veintidós, se reúnen en la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Rosario el Jurado designado por Resolución del CD N° 078/2022, integrado por la Dra Alejandra Antruejo, el Mg. M.V. Julián Bover y el Mg. M.V Marcelo Fabián Gastaldo, para dictaminar sobre el Trabajo de Tesis de la maestranda MV. Virginia Fain Binda DNI N° 20.080.914, titulado, "Tratamiento por Compostado de Residuos de Planta de Incubación", realizado bajo la dirección e Ing. Amb. Mg. Mariano BUTTI y la codirección del M.V. Dr. Bernardo Fabricio Iglesias para acceder al título de Magíster en Bioseguridad, con Mención en Salud Animal.

### Dictamen del jurado

El tema elegido es de suma relevancia y actualidad en respuesta a una problemática creciente asociada a la generación y disposición final de los residuos generados en plantas de incubación.

El trabajo se encuentra correctamente estructurado cumpliendo con los requisitos para acceder al título de Magister en Bioseguridad, Mención Salud Animal.

La defensa realizada resultó clara y los recursos didácticos utilizados acompañaron correctamente la presentación.

Por lo expuesto, el jurado evaluador dictamina la aprobación asignando la calificación de sobresaliente, 10 (diez).

Integrantes del tribunal

Dra .Alejandra E. Antruego

DNI N° 16149131

Mg. M.V. Julián Bover

DNI N° 20797299

Mg. M.V Marcelo Fabián Gastaldo

DNI N° 20401442



Dicamen del jurado



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO  
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS  
MAESTRÍA EN BIOSEGURIDAD

Tratamiento por Compostado de Residuos de Planta de Incubación

Trabajo de Tesis para optar al Título de  
Magister en Bioseguridad  
Mención Salud Animal

Maestrando

M.V. Virginia FAIN BINDA

Director

Ing. Amb. Mg. Mariano BUTTI

Codirector

M.V. Dr. Bernardo Fabricio IGLESIAS

2021



## **Agradecimientos**

*Los resultados de esta tesis han sido posibles gracias a un gran equipo de personas a las que deseo expresar mi más sentido agradecimiento:*

*A la Facultad de Ciencias Veterinarias de Casilda, dependiente de la Universidad Nacional de Rosario, por haberme permitido cursar esta carrera de posgrado.*

*A la Estación Experimental Agropecuaria INTA de Pergamino, por haberme proporcionado el espacio para la realización de las experiencias.*

*Al Sector aves del INTA-EEA Pergamino (Núcleo Genético y Nutrición), por facilitarme los insumos necesarios.*

*A la Cooperadora de INTA-EEA Pergamino, especialmente al Sr. Raúl Cantore y al Ing. Agr. Andrés Llovet, que gracias a sus gestiones hicieron posible el ensayo en fertilización en maíz.*

*A mi director, el Ing. Amb. Mariano Butti y codirector, el Méd. Vet. Bernardo Iglesias, por la confianza depositada en mí para la realización de este trabajo, así como por su dedicación, guía, esfuerzo, paciencia e inestimable ayuda en todo momento.*

*A la Bioq. María Juliana Torti, Méd. Vet. Mariana Alegre y todo el personal del Laboratorio Regional, por su colaboración desinteresada, las ganas de embarcarse en los desafíos propuestos y las horas dedicadas a ello.*

*A la Bioq. Flavia Rondelli, gran merecedora de mi agradecimiento, ya que sin su empuje, consejos y dedicación no estaría presentando este trabajo.*

*Al Dr. Juan Carlos Fain Binda, mi padre, gran ejemplo y promotor de este estudio de posgrado que nos ha permitido ampliar nuestros conocimientos.*

*A mis hijos que sin duda son mi proyecto más ambicioso y mi razón de vida.*

*A mi familia toda, por estar siempre.*

## Índice

1	Introducción .....	6
1.1	Breve historia de la avicultura argentina .....	7
1.2	Marco legal de la producción avícola argentina .....	8
1.3	Sistemas de producción industrial en la Argentina.....	9
1.3.1	Sistema de producción de huevos .....	9
1.3.2	Sistema de producción de carne aviar.....	11
1.3.3	Plantas de incubación.....	13
1.4	Residuos.....	15
1.4.1	Residuos orgánicos de origen avícola .....	16
1.5	Impacto ambiental de los residuos avícolas.....	18
1.6	Alternativas de tratamiento de los residuos avícolas .....	20
1.7	Compostaje y compost.....	22
1.7.1	Sistemas de producción de compost.....	23
1.8	Marco legal de la producción de compost en la Argentina .....	25
1.9	Proceso de compostado .....	27
1.9.1	Parámetros críticos del proceso de compostado .....	28
1.10	Estabilidad y madurez.....	35
1.10.1	Bioensayo de germinación.....	36
1.10.2	Producción de dióxido de carbono o respiración basal.....	37
1.11	Utilización del compost .....	38
2	Objetivos .....	41
2.1	General .....	42
2.2	Particulares .....	42
3	Materiales y Métodos .....	43
3.1	Caracterización del área de estudio.....	44

3.2 Toma de muestras y caracterización del material de partida para el compostaje.....	45
3.2.1 Huevos no nacidos, cáscaras y plumón.....	45
3.2.2 Pollitos .....	46
3.2.3 Cama usada y viruta de madera.....	46
3.2.4 Caracterización microbiológica y fúngica de los residuos de incubación.....	47
3.3 Instalaciones para compostado .....	48
3.3.1 Caseta de compostado .....	48
3.3.2 Canchas de compostado .....	48
3.4 Ensayo de compostado de residuos de incubación en caseta con aireación estática .....	49
3.5 Compostado sobre cancha en pilas a cielo abierto y con volteo manual .	51
3.6 Método de muestreo de compost.....	55
3.7 Determinaciones en compost.....	56
3.7.1 Humedad a 70°C y materia seca .....	56
3.7.2 Materia orgánica .....	56
3.7.3 pH y conductividad eléctrica .....	57
3.7.4 Nitrógeno total - Kjeldahl.....	58
3.7.5 Microbiología .....	59
3.8 Determinaciones indicadoras de estabilidad y madurez .....	61
3.8.1 Índice de germinación.....	61
3.8.2 Producción de CO <sub>2</sub> o respiración basal.....	63
3.9 Ensayos de fertilización con compost .....	65
3.9.1 Ensayo de fertilización en lechuga .....	65
3.9.2 Ensayo de fertilización en maíz .....	70
3.10 Energía Metabolizable Verdadera.....	71
3.11 Análisis estadístico .....	73

4	Resultados .....	74
4.1	Caracterización del material de partida.....	75
4.1.1	Composición físico-química .....	75
4.1.2	Caracterización microbiológica y fúngica del material de origen .....	75
4.2	Compostado de residuos de incubación en caseta con aireación estática 76	
4.3	Compostado de residuos de incubación por apilado .....	78
4.4	Ensayo de fertilización en lechuga.....	82
4.5	Ensayo de fertilización en maíz .....	86
5	Discusión .....	90
5.1	Caracterización del material de partida.....	91
5.2	Compostado de residuos de incubación en caseta con aireación estática 93	
5.2.1	Compost obtenido.....	93
5.3	Compostado de residuos de incubación por apilado .....	93
5.3.1	Compost obtenido.....	95
5.4	Ensayo de fertilización en lechuga.....	96
5.5	Ensayo de fertilización en maíz .....	97
6	Conclusiones .....	100
6.1	Caracterización de los residuos a compostar .....	101
6.2	Ensayo de compostado de residuos de incubación en caseta con aireación estática .....	101
6.3	Ensayo de compostado de residuos de incubación en pilas a cielo abierto y con volteo manual .....	102
6.4	Ensayo de fertilización en lechuga.....	102
6.5	Ensayo de fertilización en maíz .....	103
7	Bibliografía .....	104



## Índice de figuras

Figura 1.1 Cadena de producción de huevos en la Argentina .....	10
Figura 1.2 Ubicación de granjas de ponedoras comerciales en la Argentina ....	11
Figura 1.3 Cadena de producción de carne aviar en la Argentina .....	12
Figura 1.4 Ubicación de granjas de pollos de carne en la Argentina .....	13
Figura 1.5 Diagrama de origen de residuos generados en una planta de incubación según las etapas del proceso .....	17
Figura 1.6 Pilas con sistema de aireación estática sobre plateas de cemento.	24
Figura 1.7 Volteo manual de pila de compost.....	24
Figura 1.8 Sistema cerrado de compostaje .....	25
Figura 1.9 Temperaturas alcanzadas en una pila de compost con aireación natural .....	29
Figura 1.10 Efecto chimenea en pilas de compost.....	30
Figura 1.11 Curva teórica de las necesidades de oxígeno durante el proceso de compostado.....	31
Figura 3.1 Área de estudio .....	45
Figura 3.2 Muestreo compuesto y cuarteo en viruta de madera y cama usada	46
Figura 3.3 Método de cuarteo .....	47
Figura 3.4 Caseta de compostado .....	48
Figura 3.5 Croquis de la zona de compostado .....	49
Figura 3.6 Cajones completos.....	50
Figura 3.7 Registro de temperatura con termómetro pinche .....	51
Figura 3.8 Compost acopiado .....	51
Figura 3.9 Residuos de incubación triturados sobre cancha de cemento .....	52
Figura 3.10 Pila protegida con paja .....	53
Figura 3.11 Pila luego de ser volteada .....	54
Figura 3.12 Desarmado de las pilas .....	55

Figura 3.13 Muestreo de batch y cuarteo .....	55
Figura 3.14 Mufla y balanza durante la determinación de materia orgánica ....	57
Figura 3.15 Procedimiento para la medición de pH.....	58
Figura 3.16 Cultivo en medio EC-MUG .....	61
Figura 3.17 Procedimiento para determinación del índice de germinación .....	62
Figura 3.18 Registro del índice de germinación y longitud radicular .....	63
Figura 3.19 Método del puño para determinación de humedad .....	64
Figura 3.20 Procedimiento para medir producción de CO <sub>2</sub> .....	64
Figura 3.21 Vista general del invernadero, mesadas y bandejas multicelda ....	66
Figura 3.22 Plántulas en desarrollo .....	66
Figura 3.23 Trasplante de plantines de lechuga .....	67
Figura 3.24 Ensayo de fertilización en lechuga .....	68
Figura 3.25 Cosecha de las plantas de lechuga.....	69
Figura 3.26 Determinación de área foliar con fotoplanímetro.....	69
Figura 3.27 Vista del lote con las parcelas marcadas con estacas .....	70
Figura 3.28 Cosecha de ensayo de fertilización en maíz .....	71
Figura 3.29 Determinación de energía metabolizable verdadera .....	72
Figura 3.30 Bomba calorimétrica isoperibólica Parr 1261 .....	72
Figura 4.1 Temperaturas registradas en el Cajón 1 .....	76
Figura 4.2 Temperaturas registradas en el Cajón 2.....	76
Figura 4.3 Temperaturas registradas en el Cajón 3.....	77
Figura 4.4 Temperaturas registradas en el Cajón 4.....	77
Figura 4.5 Temperaturas registradas en Pila 1 .....	79
Figura 4.6 Temperaturas registradas en Pila 2.....	79
Figura 4.7 Peso húmedo de biomasa foliar .....	82
Figura 4.8 Peso seco de biomasa foliar .....	83

Figura 4.9 Peso húmedo de tallo.....	83
Figura 4.10 Peso seco de tallo .....	84
Figura 4.11 Peso húmedo de raíz.....	84
Figura 4.12 Peso seco de raíz.....	85
Figura 4.13 Área foliar .....	85
Figura 4.14 Número de hojas .....	86

## Índice de tablas

Tabla 1.1 Total de establecimientos registrados en el RENAVI .....	14
Tabla 1.2 Establecimientos y plantas de incubación registrados por provincia en el RENAVI .....	15
Tabla 1.3 Cantidad animales muertos (en cabezas y kg) por año .....	17
Tabla 1.4 Aspectos ambientales afectados por los sistemas de producción animal.....	20
Tabla 1.5 Temperatura y tiempo necesarios para la eliminación de parásitos y algunos patógenos más comunes.....	26
Tabla 1.6 Indicadores de estabilidad del compost .....	26
Tabla 1.7 Indicadores de madurez del compost .....	26
Tabla 1.8 Parámetros de calidad del compost.....	27
Tabla 1.9 Categorías fisiológicas de los microorganismos según su temperatura de desarrollo.....	28
Tabla 3.1 Compostado de residuos de incubación en caseta con cama usada	50
Tabla 3.2 Cantidad de residuos procesados y C/N alcanzada en cada una de las pilas .....	53
Tabla 3.3 Tratamientos y dosis de compost aplicadas por maceta.....	68
Tabla 3.4 Tratamientos y dosis de nitrógeno suministrados .....	70
Tabla 4.1 Caracterización fisicoquímica del material de origen.....	75
Tabla 4.2 Resultados obtenidos del análisis microbiológico del material de origen .....	75
Tabla 4.3 Temperaturas útiles en la sanitización del compost obtenido en caseta con aireación estática.....	78
Tabla 4.4 Composición del compost obtenido en caseta con aireación estática .....	78
Tabla 4.5 Temperaturas útiles en la sanitización del compost obtenido de las pilas.....	80

Tabla 4.6 Composición del material en proceso de compostado e indicadores de estabilidad de la Pila 1.....	80
Tabla 4.7 Composición del material en proceso de compostado e indicadores de estabilidad de la Pila 2.....	80
Tabla 4.8 Composición del compost obtenido de las pilas y lo establecido por la normativa nacional .....	81
Tabla 4.9 Resultados microbiológicos del compost obtenido de las pilas.....	81
Tabla 4.10 Parámetros productivos de maíz fertilizado diferentes fuentes y dosis de nitrógeno .....	86
Tabla 4.11 Contenido energético y utilización de la energía de maíz fertilizado con diferentes fuentes y dosis de nitrógeno .....	87
Tabla 4.12 Análisis proximal de maíz fertilizado con diferentes fuentes y dosis de nitrógeno .....	88
Tabla 4.13 Contenido de aminoácidos en maíz fertilizado con diferentes fuentes y dosis de nitrógeno .....	88

## Abreviaturas

AF: Área foliar  
AM: Aves muertas  
BB: Bebé  
BS: base seca  
C/N: Relación carbono/nitrógeno  
C: Carbono  
CE: Conductividad eléctrica  
CRR: Crecimiento relativo de la radícula  
CU: Cama usada  
DBCA: diseño en bloques completos al azar  
EB: Energía bruta  
EE: Extracto etéreo  
EMV/EB: porcentaje de utilización de la energía bruta  
EMV: Energía metabolizable verdadera  
EPP: Elementos de protección personal  
GEI: Gases de efecto invernadero  
Gu: Guano  
H°: Humedad  
IG: Índice de germinación  
kg: kilogramo  
MO: Materia orgánica  
MS: Materia seca  
N: Nitrógeno  
n°: Número  
NT: Nitrógeno total  
P: Fósforo  
Pas: Pasto de corte  
PC: Proteína cruda  
PGR: Porcentaje de germinación de semillas  
pH: Potencial de hidrógeno  
PHBF: Peso húmedo de biomasa foliar  
PHR: Peso húmedo de raíz

PHT: Peso húmedo de tallo

PSBF: Peso seco de biomasa foliar

PSR: Peso seco de raíz

PST: Peso seco de tallo

RB: Respiración basal

RENAVI: Registro Nacional de Multiplicadores e Incubadores Avícolas

RI: Residuos de incubación

s/f: sin fecha

SCMA: Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental

SENASA: Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria

T°: Temperatura

UFC: Unidades formadoras de colonias

VM: Viruta de madera

# **Tratamiento por Compostado de Residuos de Planta de Incubación**



## Resumen

La provisión de pollitos a la industria avícola ocurre por medio de granjas de abuelos y reproductores que abastecen a las plantas de incubación, y los procesos que allí ocurren generan grandes cantidades de residuos orgánicos, formados principalmente por pollitos de descarte y muertos, huevos no nacidos, cáscaras y plumón (RI). La eliminación de estos residuos de forma segura y viable económicamente es una de las grandes preocupaciones actuales del sector avícola, ya que presentan alta carga de materia orgánica (MO) y son potencialmente patógenos. El compostaje es una opción económica y simple para su tratamiento ya que estabiliza la MO y destruye la mayoría de los parásitos, patógenos y virus contenidos en estos residuos, generando un producto con capacidad fertilizante en vegetales.

En el presente trabajo se estudiaron el material disponible para realizar una mezcla que presente una relación de Carbono y Nitrógeno (C/N) adecuada para el proceso de compostado (C/N: 25-30). Se realizaron determinaciones fisicoquímicas de RI, cama usada (CU) y viruta de madera (VM) proveniente de los galpones de reproductores.

Se realizó un ensayo con aireación estática en caseta utilizando pasto de corte y CU como fuente de Carbono (C). Con este método, las temperaturas (T°) alcanzadas demostraron ser independientes a las ambientales y suficientes para realizar el saneamiento del material.

Además, se compostaron RI con VM en pilas a cielo abierto. En este caso las T° también resultaron independientes de las ambientales y a su vez las necesarias para el saneamiento del material. En el transcurso del proceso se observó una disminución de la MO y de la respiración basal, con un aumento del índice de germinación. Los estudios microbiológicos realizados determinaron un compost apto para ser utilizado o vertido en el medio ambiente.

Con los compost obtenidos de estas experiencias se efectuaron ensayos de fertilización en maíz (*Zea mays*) y lechuga (*Lactuca sativa* L.) con el objeto de comprobar su capacidad fertilizante. En ambos se obtuvieron índices productivos alentadores. El grano de maíz obtenido se estudió en sus

características nutricionales (Energía Metabolizable Verdadera), y se realizó análisis proximal y perfil de aminoácidos.

Los compost resultaron aptos para uso agronómico como fertilizante orgánico.

## Abstract

The provision of chicks to the poultry industry occurs through grandparent and breeder farms that supply the hatcheries, and the processes that occur there generate large amounts of organic waste, formed mainly by discarded and dead chicks, unborn eggs, shells and chick down (poultry hatchery waste or PHW). The elimination of these residues in a safe and economically viable way is one of the great current concerns of the poultry sector, since they present a high load of organic matter (OM) and are potentially pathogenic. Composting is an inexpensive and simple option for its treatment since it stabilizes OM and destroys most of the parasites, pathogens and viruses contained in this waste, generating a product with fertilizer capacity in vegetables.

In the present work, the available material was studied to make a mixture that presents a Carbon to Nitrogen (C/N) ratio suitable for the composting process (C/N 25-30). Physicochemical determinations of PHW, poultry litter (PL) and wood shavings (WS) from the breeder houses were made.

A test was carried out with static aeration in a shed using cut grass and PL as a source of Carbon (C). The temperatures ( $T^{\circ}$ ) reached with this method proved to be independent of the ambient  $T^{\circ}$  and sufficient to sanitize the material.

In addition, PHW with WS were composted in open-air piles. In this case, the  $T^{\circ}$  were also independent of the environmental ones and in turn those necessary for the sanitation of the material. During the process, a decrease in OM and basal respiration was observed, with an increase in the germination index. The microbiological studies carried out determined a compost suitable to be used or dumped in the environment.

With the compost obtained from these experiences, fertilization tests were carried out on corn (*Zea mays*) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) in order to verify their fertilizing capacity. Encouraging productive indices were obtained in both. The corn grain obtained was studied for its nutritional characteristics (True Metabolizable Energy), and a proximal analysis and an amino acid profile were performed.

The compost was suitable for agronomic use as organic fertilizer.



# **1 Introducción**

## 1.1 Breve historia de la avicultura argentina

Hace más de 5.000 años se inició la domesticación de gallinas salvajes en regiones de Asia como son China e India, para luego ir propagándose por Europa y el resto del mundo. Las aves de aquel entonces tenían un bajo rendimiento comparado con el actual. Fue recién a partir de mediados del siglo XX cuando comenzaron los trabajos en la selección genética de aves, optimizando la producción, lo cual permitió mejorar trascendentalmente la producción (Alders, 2005).

En la Argentina, en 1857 colonos suizos introdujeron las primeras aves de corral en la provincia de Entre Ríos, y empezó a ser habitual encontrar aves en las chacras como complemento de la economía doméstica (CEPA, s/f). En la década de 1920 comienza a desarrollarse la actividad avícola aprovechando la conexión ferroviaria con Buenos Aires, hacia donde se enviaban pollos vivos y huevos (Tesei, 2018).

En el año 1960 llegan al país los primeros padres de los pollos parrilleros, que es como se los denominó por la forma en que se empezaron a consumir, y de ponedoras de huevos de consumo, dando comienzo a la avicultura industrial en la Argentina. Estas nuevas líneas de aves demandaban una alimentación balanceada, por lo que se comenzaron a incorporar nuevos conceptos tecnológicos en la fabricación de alimentos (CEPA, s/f). En los primeros años de esa década se implementaron políticas públicas crediticias que impulsaron la instalación de plantas de incubación y granjas de cría y engorde, plantas de elaboración de alimentos balanceados y de frigoríficos aviares, como así también todo lo referente a ponedoras. Estas inversiones se afianzaron en la década siguiente cuando el modelo de integración se estabilizó y comenzó su rápida expansión por la región núcleo de la avicultura de carne, Entre Ríos y Buenos Aires (Tesei, 2018).

En la actualidad existen dos sistemas bien definidos de producción aviar en Argentina, la avicultura de traspatio o familiar, y la industrial.

La producción avícola familiar se enmarca en la categoría productiva conocida como aves de traspatio, con características de semicautiverio y escasas instalaciones, con el objeto de proveer carne y huevos para

autoconsumo de la propia familia o como fuente de ingresos por la venta de huevos, carne, aves en pie y plumajes (SENASA, 2016).

La avicultura industrial, abarca dos sistemas de producción, el de producción de huevos y carne (Paolilli *et al.*, 2021).

## 1.2 Marco legal de la producción avícola argentina

En la Argentina, el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) es el encargado de establecer las normas requeridas para la habilitación de los establecimientos avícolas. En ellas detalla todos los aspectos respecto a producción, manejo sanitario, bioseguridad y manejo de desperdicios o residuos que derivan de la actividad.

En referencia a los residuos avícolas, en su Resolución 542/2010 establece que:

- Producciones familiares, de aves ornamentales o de raza: deben eliminar la mortandad y desperdicios dentro del mismo predio, ya sea por enterramiento o incineración.
- Establecimientos avícolas industriales:
  - **Mortandad general:** se prohíbe su uso para la alimentación de otros animales y los cadáveres deben ser eliminados dentro del mismo predio. Preferiblemente se utilizará el método de composta, aunque en aquellos casos donde esté autorizado, se podrá aplicar fosa cerrada o incineración cerrada u otro sistema de tratamiento químico o térmico que no conlleve contaminación, no afecte la salud pública ni animal y esté en concordancia con las normas nacionales, provinciales y municipales correspondientes.
  - **Cama usada:** puede ser eliminada dentro del mismo predio o ser trasladada adecuadamente hasta un destino permitido. En ambos casos deberá ser tratada previamente por medio de compostaje u otro método que inactive patógenos.
  - **Desechos de gallinas ponedoras y guano:** podrán ser trasladados de manera adecuada hacia destinos permitidos por medio de camiones cerrados que no pierdan su contenido.

- **Plantas de incubación:** sus residuos podrán ser transportados en un vehículo adecuado a una planta de subproductos o bien a otro destino autorizado por autoridades municipales.

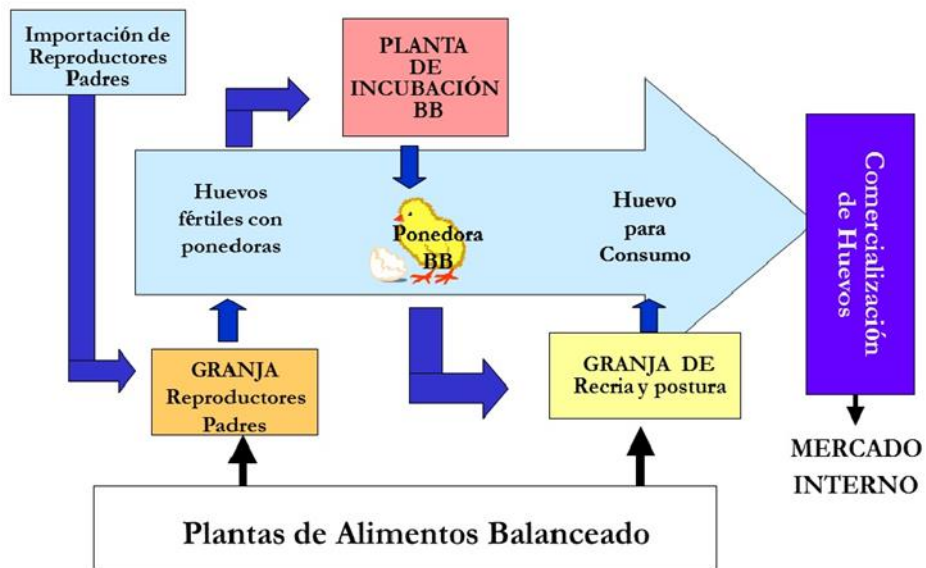
La Resolución 106/2013 (SENASA, 2013) que modifica algunos artículos de la Resolución 542/2010 (SENASA, 2010), agrega que los establecimientos avícolas tienen que presentar ante la oficina local de dicho organismo un documento detallando el sistema de tratamiento y disposición final de los residuos generados. Dicha información será evaluada por la Coordinación de Gestión Ambiental del Organismo. Actualmente, la Resolución 1699/2019 (SENASA, 2019) este organismo amplía especificaciones sobre las habilitaciones de los establecimientos y las instalaciones de las plantas de incubación.

### **1.3 Sistemas de producción industrial en la Argentina**

#### **1.3.1 Sistema de producción de huevos**

En lo que respecta a la cadena de producción de huevos de consumo, en la Argentina existen únicamente granjas de reproductores, los cuales son importados directamente como BB y ocasionalmente como huevos fértiles (Lamelas K, comunicación personal, 2013). Estos reproductores son criados y criados en granjas especiales y originarán huevos fértiles que serán incubados, dando origen a las futuras ponedoras comerciales de huevos de consumo (Figura 1.1).





**Figura 1.1** Cadena de producción de huevos en la Argentina

Fuente: Lamelas, comunicación personal, 2013.

Las granjas de ponedoras se encuentran concentradas en las provincias de Buenos Aires, sur de Santa Fe y Entre Ríos cercanas a las grandes urbes (Figura 1.2).



**Figura 1.2** Ubicación de granjas de ponedoras comerciales en la Argentina

Fuente: SENASA, 2015.

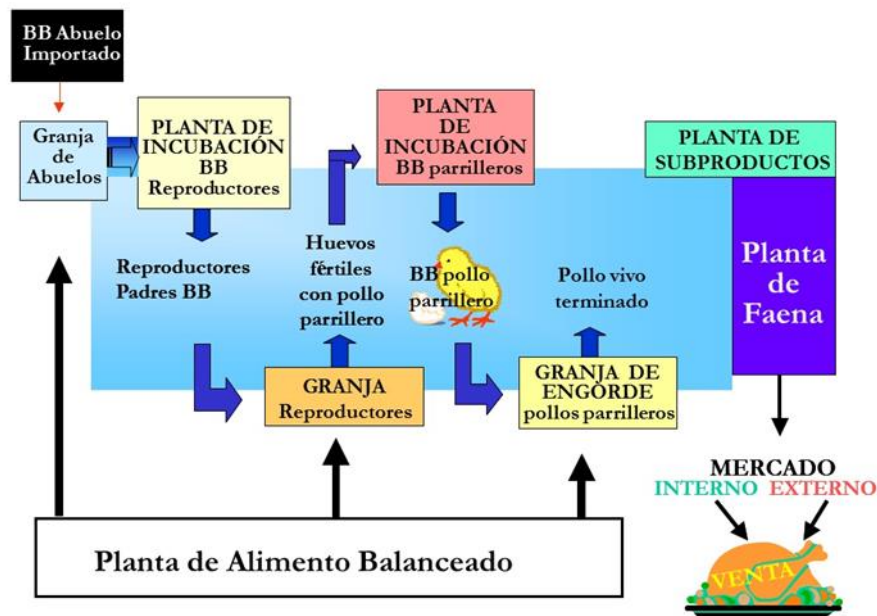
La existencia actual de gallinas ponedoras en todo el país es de 48 millones. El consumo de huevos per cápita en el año 2019 fue de 284 aumentando a 306 durante el primer semestre de 2021 (Prida, 2021).

La producción nacional de huevos ha sufrido altibajos en los últimos años, y la misma se encuentra directamente ligada al precio del huevo y de los insumos. Durante el año 2020, se produjeron alrededor de 38,5 millones de cajones (1 cajón: 360 huevos). Además del consumo interno, nuestro país exporta huevo, principalmente procesado (huevo en polvo, yema en polvo, albumina en polvo, o huevo líquido fresco o congelado, yema líquida fresca o congelada, o albumina líquida fresca o congelada) y también en forma de huevos frescos en cáscara (Prida, 2021).

### 1.3.2 Sistema de producción de carne aviar

En la Argentina, en el caso de la producción de carne aviar, existen granjas de abuelos y reproductores (padres). Los abuelos son importados de países como Brasil, Canadá y EE.UU., y son criados, recriados y multiplicados

en granjas con estrictas normas de bioseguridad. Los huevos son incubados dando origen a los reproductores. Estos últimos, también se reproducen originando a los BB de engorde (Figura 1.3).



**Figura 1.3** Cadena de producción de carne aviar en la Argentina

Fuente: Lamelas, comunicación personal, 2013.

La distribución de las granjas de pollos de engorde en la Argentina se puede observar en la Figura 1.4.



**Figura 1.4** Ubicación de granjas de pollos de carne en la Argentina

Fuente: SENASA, 2015.

La faena de pollos de engorde durante el año 2020 fue de 757,5 millones de cabezas, alcanzando un consumo anual per cápita de carne de pollo de 45,9 kg/habitante/año (en segundo lugar, por detrás de la carne bovina). Además, vale destacar que la Argentina es el décimo productor mundial de carne aviar, llevando sus productos a más de 60 países (Mair *et al.*, 2021).

### 1.3.3 Plantas de incubación

Para la obtención de pollitos BB de calidad es necesario contar con una buena estirpe de reproductores, correcto manejo de éstos y del huevo a incubar, y con plantas de incubación adecuadas, donde las condiciones de higiene, construcción y máquinas utilizadas sean las convenientes. Estos establecimientos constituyen un punto crítico de control de la cadena productiva siendo fundamentales en la actividad avícola, ya que son los autorizados para la incubación de huevos con el fin de satisfacer la demanda de pollitos de un día de edad a las empresas del sector dedicadas a la producción y comercialización de pollos y huevos. En la actualidad, a nivel

comercial se utiliza exclusivamente la incubación artificial, quedando la incubación natural únicamente para la producción a campo. El fin de la incubación artificial es suministrar a los huevos la temperatura ( $T^{\circ}$ ), aireación, el movimiento y la humedad ( $H^{\circ}$ ) necesarios para el desarrollo normal de los embriones (Cobb-Vantress, 2020).

El Registro Nacional de Multiplicadores e Incubadores Avícolas (RENAVI), fue creado en la Argentina en el año 2002 en el ámbito de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de aquel entonces. Su finalidad es la de mantener actualizada la estadística sobre las existencias de aves reproductoras, como así también, de la cantidad de huevos incubados a nivel nacional. La inscripción al RENAVI es de carácter obligatorio y gratuito, y las granjas se agrupan según la aptitud de la línea genética (Tabla 1.1).

**Tabla 1.1** Total de establecimientos registrados en el RENAVI

<b>Aptitud Línea Genética</b>	<b>Granjas</b>	<b>Plantas de Incubación</b>
<b>Livianas</b>	27	12
<b>Pesadas</b>	296	70
<b>Pesadas y Livianas</b>	10	7
<b>Pesadas y Patos</b>	1	1
<b>Pavos</b>	1	0
<b>Pesadas, Livianas y Pavos</b>	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>336</b>	<b>91</b>

Fuente: RENAVI, 2021.

O bien, por provincia (Tabla 1.2).

**Tabla 1.2** Establecimientos y plantas de incubación registrados por provincia en el RENAVI

Provincia	Granjas	Plantas de Incubación
<b>Buenos Aires</b>	126	36
<b>Catamarca</b>	2	2
<b>Córdoba</b>	17	6
<b>Corrientes</b>	1	1
<b>Chaco</b>	1	1
<b>Entre Ríos</b>	146	21
<b>Formosa</b>	1	1
<b>Jujuy</b>	1	1
<b>La Pampa</b>	1	1
<b>La Rioja</b>	3	1
<b>Mendoza</b>	1	1
<b>Misiones</b>	1	1
<b>Neuquén</b>	3	1
<b>Río Negro</b>	0	1
<b>Salta</b>	1	1
<b>San Juan</b>	1	0
<b>San Luis</b>	4	1
<b>Santa Fe</b>	23	11
<b>Santiago del Estero</b>	2	2
<b>Tierra del Fuego</b>	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>336</b>	<b>91</b>

Fuente: RENAVI, 2021.

El material para la realización de esta Tesis de Maestría fue obtenido de una de las plantas de incubación registrada en la provincia de Buenos Aires, ubicada en la EEA de INTA de la ciudad de Pergamino.

## 1.4 Residuos

Se considera residuo a todo elemento que es desechado, dispuesto o que requiere una disposición final o, dicho de otra manera, cualquier objeto material, sustancia, elemento o producto que se genere en estado sólido, semisólido, líquido o gas, cuyo generador descarta, rechaza o entrega porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó o porque la legislación vigente así lo estipula (Chávez Porras y Rodríguez González, 2016).

Entre los residuos producidos por las actividades humanas se encuentran los agrícolas y los pecuarios. Los primeros abarcan materiales plásticos (envases, silo bolsa, polietileno de invernaderos) y restos vegetales

(cultivos o poda). Por su parte, las actividades pecuarias originan desechos que poseen elevada concentración de materia orgánica (MO), nutrientes y componentes químicos (Manso y Ferreira, 2007; Zione, 2008).

#### **1.4.1 Residuos orgánicos de origen avícola**

La necesidad de generar mayor cantidad de carne y huevos, aumentó la carga animal por galpón, las granjas totales y, en consecuencia, la cantidad de residuos generados (Maisonave *et al.*, 2015).

Son cuatro los principales residuos orgánicos avícolas generados en mayor volumen: Guano (Gu), Cama usada de pollo (CU), aves muertas (AM) y residuos de incubación (RI).

Se entiende por Gu, a las deyecciones de las gallinas ponedoras en jaula (Maisonave *et al.*, 2015). Una ponedora excreta en promedio unos 100 g de Gu fresco por día. En los galpones con jaulas piramidales el Gu se acumula debajo del piso de las jaulas en forma de conos y es retirado ocasionalmente por el productor; en tanto que, en los galpones automáticos, el mismo se retira con cintas transportadoras a razón de tres veces por semana. En función del número de aves para la producción de huevos existentes en el país se estima que la cantidad de Gu generada sería de 1,75 millones toneladas al año (elaboración propia en base a datos de CAPIA (2021).

La CU es el material sobre el que se desarrolla la vida de los pollos parrilleros y recibe las deyecciones de los mismos. Generalmente es de viruta de madera (VM), cáscara de girasol o maní; todos materiales con baja H° y absorbentes. El material de cama es utilizado por hasta seis crianzas consecutivas y su mantenimiento habitual se basa en la quita de la capa superficial y reposición parcial con cama nueva. Un pollo parrillero elimina en promedio unos 4,92 kg de materia fecal fresca a lo largo de su vida (Maisonave *et al.*, 2015). Considerando la faena del año 2020 se calcula que se generaron 3,73 millones de toneladas de excretas frescas que, sumadas al material de cama (2,32 kg/ave) alcanzaría una producción anual de 5,49 millones de toneladas de residuos de este tipo (elaboración propia en base a datos de Mair *et al.*, 2021).

Los AM se originan en las granjas por distintas razones, como por ejemplo manejo, clima y enfermedades. En crianzas normales la mortandad

ronda el 6,5% en parrilleros (Lamelas *et al.*, 2021) y 5% en ponedoras (Alegre *et al.*, 2018). En la Tabla 1.3 se observa el cálculo aproximado de cabezas de AM y kg por sistema productivo.

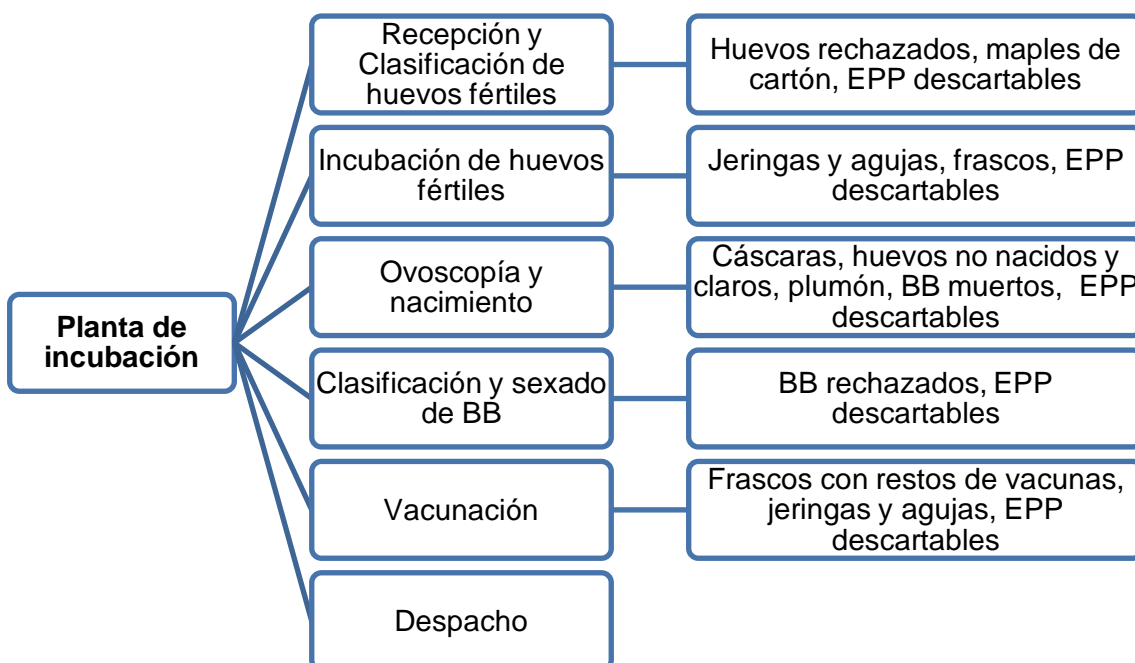
**Tabla 1.3** Cantidad animales muertos (en cabezas y kg) por año

Parámetro	Parrilleros	Ponedoras
% de Mortandad	6,5%	5%
Existencia anual	757.500.000	48.000.000
Peso promedio del cadáver	2,7 kg	1,8 kg
Total de cadáveres	52.660.428	2.400.000
Total en Kg	142.183.155	4.320.000

Fuente: Lamelas *et al.*, 2021; Alegre *et al.*, 2018.

Una mala disposición de los cadáveres tiene alcances negativos en la bioseguridad de la parvada (Das *et al.*, 2002).

Los RI son de tipo industriales (originados por el desarrollo productivo de la planta *per se*) y domésticos. En el siguiente diagrama (Figura 1.5) se observan los procesos que los generan:



**Figura 1.5** Diagrama de origen de residuos generados en una planta de incubación según las etapas del proceso

EPP: Elementos de protección personal, BB: pollito bebé.  
Fuente: elaboración propia.



Los residuos sólidos de estas pueden ser a su vez, inorgánicos u orgánicos. Los inorgánicos comprenden todos aquellos materiales descartados durante el proceso de incubación: envases plásticos y de vidrio, guantes y otros elementos de protección personal (EPP) descartables, jeringas y agujas, bolsas plásticas y ampollas de vidrio/plástico de las vacunas. Los orgánicos abarcan maples de cartón, cáscaras, huevos claros y no nacidos, plumón y pollitos de descarte (cadáveres). Estos últimos son también considerados subproductos debido a su potencial nutricional, ya que se pueden reutilizar como materias primas en otros procesos productivos.

No hay datos de la cantidad ni impacto de estos residuos orgánicos a nivel nacional, por lo que, empleando datos propios, se estimó dicho valor. Considerando que por cada pollito parrillero nacido vivo se generan 14,30 g de RI orgánicos y por cada ponedora nacida, 34,30 g, en función del número de animales faenados y de la existencia de ponedoras se puede inferir que se generan anualmente a razón de 15.500 t de RI a nivel nacional, con mayor concentración en las provincias de Entre Ríos y Buenos Aires.

El manejo y disposición final de los RI es un serio problema, ya que es un material difícil de mantener por su alta proporción de H<sup>o</sup> que promueve el desarrollo de bacterias (Van Depopulierre *et al.*, 1977).

## **1.5 Impacto ambiental de los residuos avícolas**

Su gestión adecuada impone un costo que debe imputarse al producto final y es de suma importancia para la higiene y sanidad de las explotaciones. Por sí mismos, estos residuos son fuente de agentes potencialmente patógenos, aumentando el riesgo sanitario a nivel de las granjas (Castelló Llobet, 2009). Por sus características físicas, químicas y biológicas una mala gestión de estos residuos implica de manera directa un fuerte impacto ambiental, entre los que se encuentran (Godoy, 2012):

- Impactos atmosféricos con riesgo para el hombre y otros sistemas. La MO al descomponerse pasa por fases aeróbicas y anaeróbicas, produciéndose gases y hedores que colaboran con la contaminación atmosférica.
- Contaminación de suelos y agua en las áreas productoras. Cuando estos residuos se acopian o lanzan de manera

descontrolada en pozos sin cumplir con los requisitos mínimos de seguridad y protección ambiental afectan la composición y dinámica del suelo y, por escurrimiento o infiltración, llegan al manto hídrico afectando la vida acuática y comprometiendo la calidad del agua para consumo rural y urbano.

- Riesgo para organismos vivos. Debido a la elevada cantidad de MO, estos residuos son portadores de un gran número de microorganismos (bacterias, virus, hongos), muchos de ellos patógenos que, al encontrarse con condiciones favorable, se multiplican transformándose en fuentes de contaminación adicionales. La materia fecal, los restos cadavéricos y de comida son los medios ideales para el desarrollo de vectores como moscas, roedores y aves que viven del material en descomposición, y en su mayoría resultan ser vectores de enfermedades de las aves y del hombre.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los problemas ocasionados, el impacto y los recursos afectados (Tabla 1.4).

**Tabla 1.4** Aspectos ambientales afectados por los sistemas de producción animal

Problema	Recurso Afectado	Impacto	Contribuc.	Escala
<b>Nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	Calidad de agua Economía	Eutrofización y salud Costos de remoción	Importante	Local (granja) Regional (cuena) Nacional/Internac. (costas)
<b>Nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)</b>	Calidad de agua	Vida acuática y salud	Importante	Local (granja) Regional (cuena)
<b>Amoníaco (NH<sub>3</sub>)</b>	Lluvia ácida Toxicidad directa	Acidificación de suelos Eutrofización	Importante	Local (granja) Regional (cuena) Nacional/Internac. (costas)
<b>Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O)</b>	GEI Interacción con ozono	Calentamiento global	Sustancial	Global
<b>Óxido Nítrico (NO)</b>	Precursor del ozono troposférico	Calentamiento global	Menor	Global
<b>Fósforo (P)</b>	Calidad de agua Salud Economía	Eutrofización Toxinas (algas) Costos de remoción	Sustancial	Local (granja) Regional (cuena) Nacional/Internac. (costas)
<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	GEI	Calentamiento global	Sustancial	Global

GEI: Gases de efecto invernadero; Internac.: Internacional.

Fuente: Herrero y Gil, 2008.

## 1.6 Alternativas de tratamiento de los residuos avícolas

Godoy (2012), sostiene que el problema de los residuos pecuarios, entre ellos los avícolas, no es insoluble y que, aplicando prácticas simples, es posible minimizar su impacto. Entre ellas menciona la no acumulación de residuos fecales y alimento, limpieza y desinfección de los recintos, capacitación del personal encargado, acopio del material residual sólido apropiadamente y evitar el lixiviado. Además, manifiesta como oportunidad de aprovechamiento la obtención de compost y su utilización como abono.

En la Argentina, los avances tecnológicos en avicultura no han sido acompañados por procesos adecuados de la gestión de sus residuos. Muchos productores avícolas cuentan con superficie agrícola, y es donde utilizan sobre todo CU y Gu frescos como fertilizante sin conocer las características de los mismos, su composición, aporte de nutrientes y necesidades de aplicación, lo

que lleva a contaminación y desbalance de nutrientes para los sembrados (Maisonave *et al.*, 2015). Para CU, el método de tratamiento térmico por apilado ha demostrado ser eficaz en disminuir la carga bacteriana (Bernigaud y Gange, 2016), como así también el compostado de esta mezcla con Gu (Barbaro *et al.*, 2011; 2013; Riera *et al.*, 2014).

El compostaje de AM, tanto para la rutina como para emergencias de mortalidad, es un método seguro de eliminación y es de elección en el caso de cadáveres de origen avícola, debido a ser relativamente simple, eficaz y ambientalmente racional y económico (Berge y Glanville, 2011). En la Argentina, este método fue impulsado por Arbiza (2005) y Bernigaud *et al.* (2017).

En el caso de los RI, los métodos tradicionales de eliminación utilizados en las plantas de incubación son el enterramiento sanitario, la incineración (Miller, 1984), el rendering (producción de harinas de origen animal) (Swan, 1992) y, en las últimas décadas se sumó el compostaje (Glatz *et al.*, 2011).

Distintos autores han publicado trabajos sobre manejo y reutilización de RI atendiendo a una gestión segura y económicamente sostenible (Tacon, 1982; Deshmukh y Patterson, 1997; Chiu y Wei, 2011). Villa *et al.* (2000) determinaron en su trabajo experimental de compostaje de RI a nivel de laboratorio, que los mismos tenían una relación carbono/nitrógeno (C/N) de 4,4 y una consistencia líquida después de su molienda, y en concordancia con lo reportado por Dávila Patiño (comunicación personal, 2006) de una C/N de 4 y una H° del 50%.

En algunos países africanos, donde el costo de alimento es alto y existe escasez de materias primas para la alimentación de las aves, se ha experimentado en la fabricación del mismo con RI. Abiola *et al.* (2012) estudiaron el reemplazo de harina de pescado por RI, y su efecto sobre características de la canal, parámetros sanguíneos y ganancia de peso en pollos parrilleros. Los RI fueron hervidos y secados a 70 °C, para luego transformarlos en harina y utilizar ésta en reemplazo de la harina de pescado, arrojando resultados satisfactorios con inclusiones de hasta un 10%. Athar *et al.* (2015), alimentaron aves de engorde con RI cocinados, autoclavados y extrusados, encontrando valores de proteína cruda (PC) de 43,67%, 44,10% y

41,64% respectivamente, con buenos resultados zootécnicos (mayor aumento de peso con RI cocinado y menor con extrusado).

Por otra parte, otro grupo de investigadores (Das *et al.*, 2002) compostaron los RI con diferentes productos, tales como VM y pasto de corte (Pas) en una relación 3:2:1 y lo compararon contra RI con VM, Pas y CU en una relación 2:1:1:2, encontrando que, con esta última mezcla fue posible eliminar el 99,9% de *Escherichia coli*. El compostado con CU también fue efectivo en la inactivación de *Salmonella sp.* debido a las altas T° alcanzadas. De esta manera demostraron que este compost puede ser utilizado eficazmente para reducir y sanear de patógenos presentes en los RI mediante la inactivación por calor y el consumo de sustratos por parte de los demás microorganismos presentes. A su vez, concluyeron que este sistema de tratamiento produce una enmienda estable y rica en nutrientes vegetales. El compostado de RI con CU originó un producto con 0,66% de P; 1,08% de K; 15,56% de Ca; 0,42% de Mg y 0,36% de Na, todos estos datos expresados en base seca (BS).

## 1.7 Compostaje y compost

Como se mencionó anteriormente los RI deben ser tratados por medios adecuados antes de ser liberados al medio ambiente por la posibilidad de contener microorganismos patógenos presentes en los lotes de reproductores y representar un posible problema ambiental.

Por lo tanto, en la industria agropecuaria, el compostado pasa a ser una posibilidad económica y sustentable ya que sana los residuos de contaminantes con potencial peligro biológico, minimizando el riesgo de focos infecciosos para animales y seres humanos y a su vez, constituye una alternativa para el manejo de las excretas. Además, esta tecnología permite la producción de abonos y enmiendas orgánicas para la recuperación de suelos altamente degradados (Villa *et al.*, 2000).

El compost es el resultado de biotecnologías de bajo costo (compostaje), que mantiene a la MO dentro de su ciclo natural a través de su mineralización. Si bien, en este proceso la fermentación anaeróbica está presente en algunas etapas y bajo ciertas condiciones, lo ideal es que prevalezcan los procesos aerobios, ya que los productos finales de estas fermentaciones no son

adecuados para el uso agronómico y llevan a la pérdida de nutrientes. La finalidad no es biodegradar únicamente, sino que ésta ocurra por mecanismos metabólicos que originen en el menor tiempo posible, un producto apropiado. El compostado entonces, puede ser definido como un proceso dirigido y controlado de mineralización y prehumificación de la MO, mediante técnicas que influyen en las variables del proceso, para obtener un biofertilizante con características microbiológicas y fisicoquímicas determinadas denominado “compost” (Sztern y Pravia, 1996). Negro *et al.* (2000) lo definen como un proceso controlado de transformación biológica de la MO en condiciones aeróbicas que, bajo condiciones de aireación, H° y T° controladas y combinando fases mesófilas y termófilas transforma los residuos orgánicos degradables, en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato.

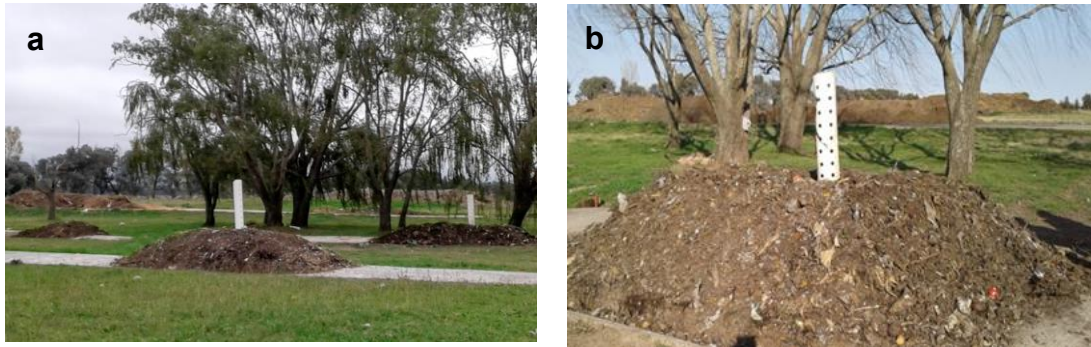
### **1.7.1 Sistemas de producción de compost**

Existen distintos sistemas para la realización del proceso de compostado, y la implementación de ellos dependerá, del material a compostar y de las posibilidades del ejecutor. Su propósito es obtener un producto final de suficiente calidad con acortamiento del tiempo del proceso (que se daría de manera natural) y en condiciones de bioseguridad controlada (Negro *et al.*, 2000).

#### **1.7.1.1 Sistemas abiertos**

En estos sistemas el compostaje se realiza al aire libre o bajo techo y el material a compostar se ubica en forma de pilas o parvas de estructura piramidal. Son los más tradicionales y pueden ser de dos tipos: pilas estáticas (con aireación natural o con ventilación forzada) y pilas con volteo.

- **Pilas estáticas con aireación natural:** las pilas no se mueven o airean durante el compostaje, y el aire penetra a través de los espacios de la masa. Lo ideal son parvas de no más de 1,5 m de alto y hasta 2,5-3 m de base. También se pueden emplear tubos perforados por los que penetra el aire de manera natural (Figura 1.6).



**Figura 1.6** Pilas con sistema de aireación estática sobre plateas de cemento

a Vista general; b Mayor detalle de la pila y del tubo perforado.

Fuente: imágenes propias.

- **Pilas estáticas con ventilación forzada:** poseen tuberías perforadas, conectadas a un ventilador que inyecta o aspira aire a la masa a compostar. En este último caso, con el fin de evitar olores desagradables, el aire pasa a través de una pila de compost maduro que actúa como filtro.
- **Pilas con volteo:** la pila es oxigenada periódicamente de manera manual (Figura 1.7) o mecánica, requiere más espacio y el control higiénico es difícil. El volteo es realizado sólo periódicamente según la  $H^\circ$ , el material y el tamaño de partícula del mismo. En la actualidad existen volteadoras mecánicas lo que permite construir pilas más grandes (2,5 m de altura) y más largas.



**Figura 1.7** Volteo manual de pila de compost

Fuente: imagen propia.

### **1.7.1.2 Sistemas cerrados**

Estos sistemas son empleados a nivel industrial. Utilizan poca superficie y logran un mejor control de los parámetros a vigilar y de los olores. Su costo es elevado. Pueden ser a tambor o en túnel, y se basan en módulos que pueden ir añadiéndose según necesidad (Figura 1.8).



**Figura 1.8** Sistema cerrado de compostaje

Fuente: Kollvik, s/f.

## **1.8 Marco legal de la producción de compost en la Argentina**

La Resolución conjunta 1/2019 de la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental y el SENASA establece el Marco Normativo para la producción, registro y aplicación de compost (SCMA y SENASA, 2019). Además, dicha resolución incluye los límites y parámetros de calidad y los métodos de ensayos para determinar cada uno de éstos (Tablas 1.5 a 1.8).



**Tabla 1.5** Temperatura y tiempo necesarios para la eliminación de parásitos y algunos patógenos más comunes

Microorganismos	Proceso	Valor límite
I) <b>Coliformes fecales</b>	Sistemas abiertos ≥ 55°C, 15 días con al menos 5 volteos.	< 1000 NMP/g de compost, en base seca.
II) <b>Salmonella sp.</b>	≥ 55°C, 3 días consecutivos con cobertura que asegure temperatura en la superficie de la pila.	< 1 NMP/4 g de compost en base seca.
III) <b>Ascaris lumbricoides</b>	Sistemas cerrados ≥ 60°C, durante 7 días consecutivos.	< 1 huevo viable de <i>Ascaris</i> en 4 g de compost en base seca.

NMP: Numero Más Probable.  
Fuente: SCMA y SENASA, 2019.

Para los compost donde se puede certificar el proceso se exige que se cumpla con I) o con II) y no se exige III). Para el caso de los compost donde no se pueda certificar el proceso, se exige que se cumpla con I), II) y III).

**Tabla 1.6** Indicadores de estabilidad del compost

Grupo	Indicadores de estabilidad	Valor
<b>Grupo I</b>	Carbono Soluble en Agua	< 10 g/kg
	Carbono Soluble en Agua/Nitrógeno total	≤ 0,7
<b>Grupo II</b>	Producción de CO <sub>2</sub>	< 120 mg CO <sub>2</sub> /kg.h
	Test solvita	≥ 5 para CO <sub>2</sub>
	Índice Respirométrico Estático	≤ 0,5 mg O <sub>2</sub> /g MO.h
	Índice Respirométrico Dinámico	≤ 1 mg O <sub>2</sub> /g MO.h

Fuente: SCMA y SENASA, 2019.

Deberán medirse, al menos, un indicador de cada grupo de indicadores de estabilidad.

**Tabla 1.7** Indicadores de madurez del compost

Indicadores de madurez	Valor
<b>Amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)</b>	< 400 mg/kg
<b>Relación amonio/nitrato (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	< 0,3
<b>Índice de Germinación</b>	>60% (lechuga, rabanito)

Fuente: SCMA y SENASA, 2019.

**Tabla 1.8** Parámetros de calidad del compost

Parámetros	Compost Clase A	Compost Clase B
pH	5,0 a 8,5	
Olores	No debe presentar olores desagradables	
Humedad (%)	<60	
Conductividad Eléctrica (dS/m)	<4	<6
Relación C/N	≤20	<30
Materia Orgánica (%)	≥ 20	

dS/m: deciSiemens por metro; C: Carbono; N: Nitrógeno.

Fuente: SCMA y SENASA, 2019.

## 1.9 Proceso de compostado

El proceso de compostaje se divide en etapas o fases y generalmente, se reconocen cinco principales: etapa inicial, etapa mesófila, etapa termófila, segunda etapa mesófila y etapa de maduración. La duración de todas ellas es variable y depende de cada mezcla (Mazzarino y Satti, 2011):

**Etapa inicial:** es el período que comprende desde la formación de la pila hasta que se constatan aumentos en la T° respecto a la inicial. Tiene una duración de 24-72 h según la composición de la mezcla, la C/N, concentración de O<sub>2</sub>, T° ambiente y carga microbiana.

**Etapa mesófila:** las T° varían entre 10 y 45 °C, con una alta actividad metabólica y poca disipación del calor, lo que incrementa la T° y, por lo tanto, la flora termófila que está en latencia comienza a multiplicarse. La duración de esta etapa es variable dependiendo, sobre todo, de la H° y la aireación.

**Etapa termófila:** aquí se presentan T° que oscilan entre los 45 y 75 °C. La microflora termófila reemplaza a la mesófila y es en esta etapa donde se realiza el saneamiento del material, eliminándose hongos, patógenos mesófilos, esporas, semillas y larvas de insectos. A medida que se agotan los compuestos degradables y aumenta el CO<sub>2</sub>, disminuyen los microorganismos termófilos.

**Segunda etapa mesófila:** comienza cuando la T° desciende por debajo de los 40 °C. Hay un nuevo desarrollo de microorganismos mesófilos que degradan los materiales que han resistido los procesos anteriores, como la celulosa y la lignina.

**Etapa de maduración:** la T° desciende y se iguala con la ambiental, aquí ocurre la formación de sustancias húmicas y la degradación de las que producen fitotoxicidad. Es de duración variable y finaliza cuando el producto se vuelve estable biológicamente, con disminución de la actividad metabólica de los microorganismos.

## 1.9.1 Parámetros críticos del proceso de compostado

### 1.9.1.1 Temperatura

El proceso en sí genera calor, el cual es un indicador del buen progreso de compostado. A medida que se incrementa la actividad biológica, se genera calor que es retenido en la masa de la mezcla, provocando un aumento general de la T°. Este incremento de la T° en la primera etapa mesófila, es debido al material altamente degradable y a las buenas condiciones de H° y O<sub>2</sub>. La energía acumulada en los enlaces de las moléculas orgánicas es liberada cuando éstas se degradan a otras más sencillas. Las T° elevadas promueven la higienización o saneamiento del material, sobre todo cuando éstas superan los 55 °C (Torrentó, 2001; SCMA y SENASA, 2019).

El intervalo de T° en que prosperan los microorganismos está entre los -5 °C y los +80 °C, y en función de esto se clasifican en termófilos, mesófilos, psicrófilos, obligados y facultativos (Tabla 1.9).

**Tabla 1.9** Categorías fisiológicas de los microorganismos según su temperatura de desarrollo

Grupo	Temperatura en °C		
	Mínima	Óptima	Máxima
<b>Termófilos</b>	40-45	55-75	60-80
<b>Mesófilos</b>	10-15	30-45	35-47
<b>Psicrófilos</b>			
<b>Obligados</b>	(-5)-(+5)	15-18	19-22
<b>Facultativos</b>	(-5)-(+5)	25-30	30-35

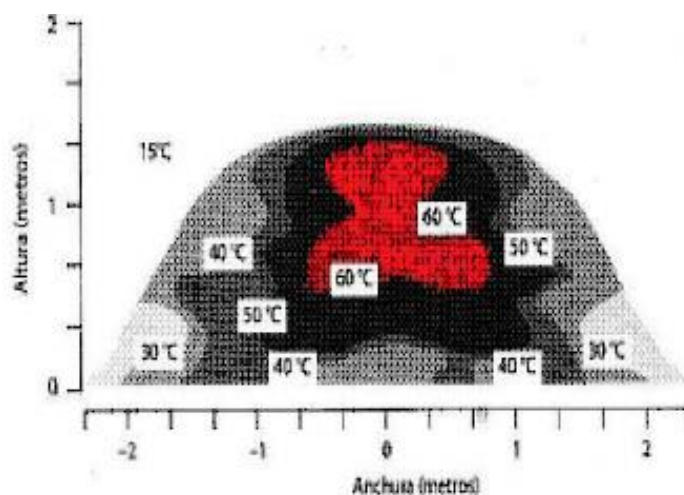
Fuente: Sztern y Pravia, 1996.

Los cadáveres de BB o restos de animales a compostar pueden contener agentes patógenos como ser bacterias, virus, protozoos, parásitos, priones, toxinas, residuos de medicamentos y otros productos químicos, que

tienen que ser destruidos o reducidos a niveles seguros, a fin de minimizar su riesgo potencial (Berge y Glanville, 2011).

La destrucción de estos patógenos durante el compostado permite la posterior utilización del producto como abono y minimiza las posibles contaminaciones del medio ambiente (Macgregor *et al.*, 1981; Berge *et al.*, 2009; Berge y Glanville, 2011; Paterlini *et al.*, 2017).

La T° debe ser tomada en el núcleo de la pila con termómetros adecuados, en dos puntos equidistantes y promediar ambos valores. En la Figura 1.9 se observan las T° alcanzadas en una pila de compost con aireación natural y la importancia de su altura para lograr las mismas (Jaramillo Henao y Zapata Márquez, 2008).



**Figura 1.9** Temperaturas alcanzadas en una pila de compost con aireación natural

Fuente: Jaramillo Henao y Zapata Márquez, 2008.

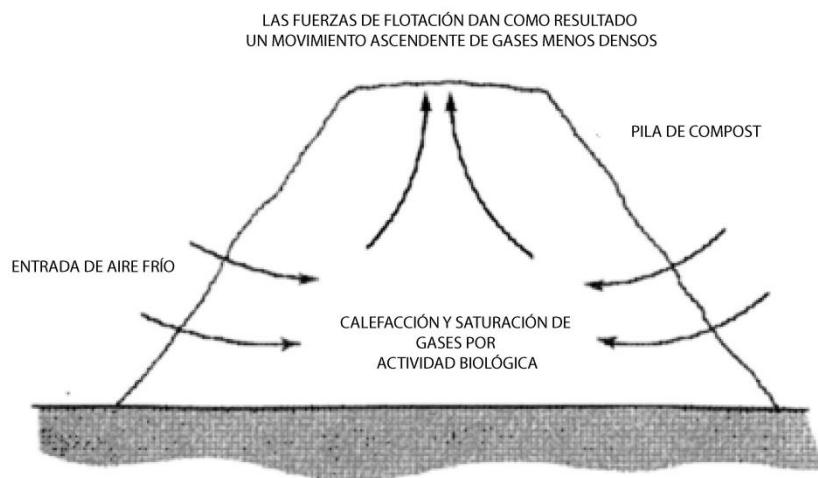
### 1.9.1.2 Aireación

Debido a que el proceso es aeróbico, la aireación es imprescindible. Los microorganismos consumen O<sub>2</sub> durante la degradación del material y éste debe ser repuesto para que las condiciones aerobias se mantengan.

Según Haug (1993), las funciones básicas del aire en el compost son:

- suministrar O<sub>2</sub> para la actividad microbiana,
- mantener la T° adecuada,
- permitir la evaporación y así, regular el exceso de H°.

De acuerdo a la tecnología empleada en el compostado, será el sistema de aireación aplicado. Además, la aireación e intercambio de gases ocurren de forma natural por ventilación pasiva, en el caso que el material posea porosidad y estructura que así lo permita, a través de fenómenos físicos como son la difusión, la evaporación y la diferencia de  $T^\circ$ . En el compostado en pilas ocurre un efecto chimenea, donde el aire en el interior se calienta y se satura de  $H^\circ$ , que con menor densidad se desplaza hacia arriba, provocando vacío que produce la entrada de aire nuevo desde el exterior (Figura 1.10).

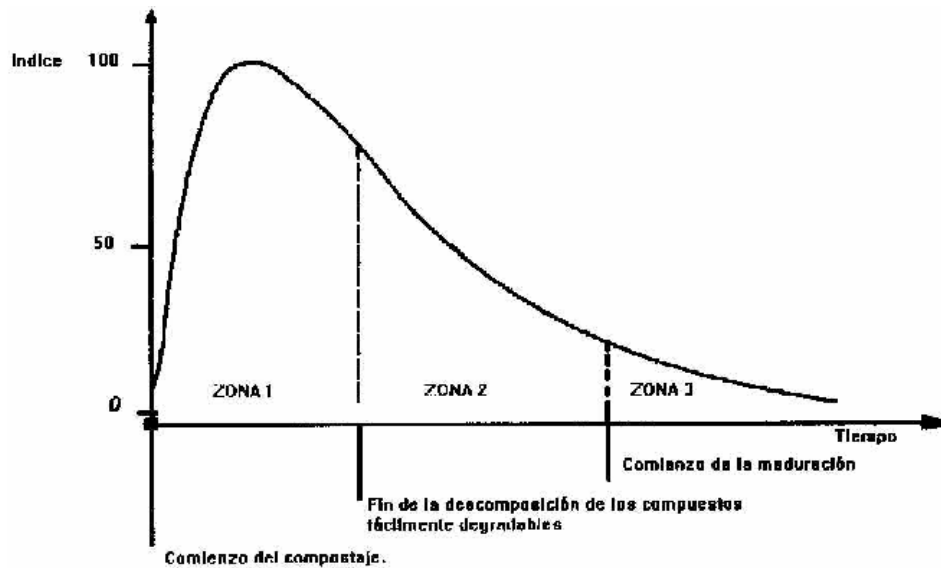


**Figura 1.10** Efecto chimenea en pilas de compost

Fuente: Haug, 1993.

Pese a esto, el volteo no debe eliminarse ya que, además de colaborar con la aireación, lo hace en la homogeneidad del material, distribución de microorganismos,  $H^\circ$  y nutrientes, y expone a todas las superficies a las  $T^\circ$  alcanzadas. Una aireación insuficiente provoca una sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios, con el consiguiente retardo en la descomposición, la aparición de sulfuro de hidrógeno y la producción de malos olores (Bidlingmaier, 1996). Sin embargo, si la aireación es excesiva, puede producir variaciones importantes en la  $T^\circ$  y en el contenido de  $H^\circ$  (Negro *et al.*, 2000).

A su vez, las necesidades de  $O_2$  no son las mismas en las distintas etapas del proceso (Figura 1.11) (Mustin, 1987).



**Figura 1.11** Curva teórica de las necesidades de oxígeno durante el proceso de compostado

Zona 1: Actividad de degradación aerobia máxima.  
 Zona 2: Actividad de degradación aerobia media.  
 Zona 3: Actividad de degradación aerobia baja.  
 Fuente: Mustin, 1987.

### 1.9.1.3 Humedad

La presencia de H° en el material que está compostándose es sumamente importante, ya que los microorganismos sólo pueden utilizar las moléculas orgánicas si éstas están en presencia de agua. Este es un factor muy relacionado con la aireación. La H° óptima se sitúa alrededor del 40-60%, aunque puede variar de acuerdo con el estado físico de las partículas o tecnología de compostado empleada (Negro *et al.*, 2000).

Si la H° disminuye por debajo del 40%, también lo hace la actividad microbiana, deteniéndose por completo al 20%. Por el contrario, cuando la H° es demasiado alta, no hay transferencia de O<sub>2</sub>, se reduce la actividad metabólica y, por lo tanto, también la microbiana. Este hecho se traduce en malos olores y generación de lixiviados con la consecuente pérdida de nutrientes. La H° disminuye de manera natural con el transcurso del tiempo, al igual que las necesidades de O<sub>2</sub> (Haug, 1993).

#### **1.9.1.4 Relación carbono/nitrógeno**

Esta relación indica las unidades totales de C orgánico por unidad de N (orgánico e inorgánico) presentes en el material.

El C actuará como fuente de energía para los microorganismos, y el N será utilizado para la síntesis proteica de los mismos. Por lo tanto, una relación adecuada entre ambos favorecerá su buen crecimiento y reproducción (Tiquia, 2005).

La C/N óptima del material a compostar es de 25-30 unidades de C por unidad de N, es decir 25-30 C por 1 N. Cuando la relación no está dentro de este rango, deberá ser corregida con el agregando de alguno de los componentes, paja o cama para el caso de C y restos animales para N (Sztern y Pravia, 1996).

##### **1.9.1.4.1 Carbono**

El carbono orgánico total es la fracción de C de la MO (o sólidos biodegradables orgánicos). Las formas complejas de C en la biomasa son oxidadas para constituir formas menos complejas durante la descomposición. Los enlaces entre moléculas que contienen C se rompen y la energía almacenada en las uniones entre los átomos se libera en forma de calor. A medida que más enlaces se rompen, más calor es liberado (Goyal *et al.*, 2005).

Por cada mol de O<sub>2</sub> consumido por organismos aeróbicos, se produce un mol de CO<sub>2</sub> (Tiquia, 2005). El C que no es respirado se combina con N y otros elementos dentro de la célula de los organismos aeróbicos para sintetizar compuestos nitrogenados, es decir, proteínas, ácidos nucleicos, entre otros, para la formación del protoplasma. Cuando el C y el O<sub>2</sub> son consumidos, los microorganismos eliminan el exceso de N como amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Los organismos vivientes utilizan cerca de 25-30 partes de C por cada parte de N. Esta proporción, junto con aireación y H° óptimas son esenciales para una degradación biológica rápida y controlada (Chanyasak y Kubota, 1981).

El contenido total de C orgánico del compost se origina a partir de azúcares, almidones, proteínas, grasas, hemicelulosa, celulosa y lignocelulosa que se encuentran en las materias primas y que son degradados durante el proceso. Durante su degradación en fase sólida el C se transforma en humus, de la fase sólida a la líquida en C húmico y en la fase gaseosa a CO<sub>2</sub>. Las

bacterias, los actinomicetos y los hongos son responsables de esta transformación. Las sustancias que contienen C húmico incluyen al ácido húmico y al fúlvico (Paredes *et al.*, 2000).

El C orgánico total representa la suma de todas las formas de C orgánico, tanto degradado como no degradado. Otras formas de C que son inorgánicas son sales carbonatadas como los carbonatos de calcio y de magnesio (Chanyasak y Kubota, 1981).

La estabilidad del compost generalmente aumenta a medida que disminuye el C orgánico total. Una presencia decreciente de compuestos inestables de C se refleja en una menor medición de C orgánico total y en menores niveles de actividad microbiana (Thompson *et al.*, 2001).

#### 1.9.1.4.2 Nitrógeno

El N total (NT) incluye el N orgánico e inorgánico. La fracción de N inorgánico está conformada por N de amonio ( $\text{N-NH}_4^+$ ), N de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) y N de nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ). Este último se transforma rápidamente en  $\text{NO}_3^-$ , aunque puede encontrarse como  $\text{NO}_2^-$  dependiendo de las condiciones del medio. El N es un macronutriente y es el elemento más importante para el crecimiento de las plantas. Es un componente esencial de las proteínas que comprende la mayoría del peso seco de las células vegetales y animales (Thompson *et al.*, 2001). Está disponible para las plantas en las formas de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ . La nitrificación en el compostaje se refiere a la oxidación del  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ , proceso que requiere aireación (Qiu *et al.*, 2008). La desnitrificación hace referencia a la reducción del nitrato a nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ) u óxidos de nitrógeno, y ocurre en cúmulos anaeróbicos o agregados dentro del compost. El N y los diferentes óxidos son volátiles a  $T^\circ$  ambiente de laboratorio y son fácilmente liberados a la atmósfera (Chanyasak y Kubota, 1981).

El  $\text{NO}_3^-$  es una forma soluble de N que fácilmente se filtra al suelo y es considerado como un potencial contaminante de la superficie terrestre y de cursos de agua. Niveles bajos de  $\text{NO}_3^-$  asociados a altas concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  en el compost indican inestabilidad y alta actividad microbiana potencial que puede causar deficiencia de N en plantas cuando es aplicado a suelos carentes de éste. El  $\text{NO}_3^-$  es usado para determinar la relación entre  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ , un indicador de estabilidad del compost (Thompson *et al.*, 2001).



### **1.9.1.5 Tamaño de partícula**

Otro de los factores a tener en cuenta es el tamaño de las partículas a compostar, o sea, el del material de inicio. El apisonamiento de los RI, genera mayor superficie expuesta al ataque de microorganismos por unidad de masa, lo que lleva a acelerar el proceso. Sin embargo, un tamaño reducido de partículas ( $\leq 1$  cm) disminuye el espacio entre ellas y aumenta la fuerza de fricción (Haug, 1993).

Distintos autores discrepan en cuanto a este parámetro, con variaciones que van entre 1 y 5 cm (Haug, 1993), a 2 y 5 cm (Kiehl, 1998) o hasta 2,5 y 2,7 cm (Tchobanoglous *et al.*, 1994).

### **1.9.1.6 Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica (CE) es un indicador del contenido de sales solubles en el compost, entendiéndose como tal a la concentración de iones solubles en una solución. La conductividad varía con el número y tipo de iones contenidos en la solución y puede indicar si un compost es potencialmente fitotóxico cuando es usado como enmienda de suelo. El agua pura es un conductor muy pobre de la corriente eléctrica, mientras que el agua que contiene iones disueltos conduce la corriente en forma proporcional a la cantidad de cationes y aniones presentes en la solución encontrados corrientemente en el compost y en el suelo. Por lo tanto, las mediciones de la CE de un extracto de compost proveen un indicador de la concentración total de iones en la matriz (Barbaro *et al.*, 2018).

Las sales solubles en el compost pueden limitar su utilización. La determinación de altos niveles de sal para un determinado compost o materia prima puede estar asociada con un contenido elevado de nutrientes en la planta, pero puede dañarlas quemando sus raíces y evitando o retrasando su germinación. Una CE excesivamente elevada disminuye el agua del suelo disponible para las plantas y la absorción de nutrientes por éstas. A la inversa, un contenido de sal muy limitado puede indicar bajos niveles de fertilidad, especialmente de bases como K, Ca o Mg (Thompson *et al.*, 2001).

### **1.9.1.7 pH**

El pH influye sobre muchos factores en el compost, incluyendo la disponibilidad de nutrientes y sustancias tóxicas, y las actividades y naturaleza de las poblaciones microbianas. El pH óptimo se ubica entre 6,0 y 7,5 para la mayoría de las bacterias, y entre 5,5 y 8,0 para hongos y actinomicetos. Un pH por debajo o por encima del óptimo reducirá la actividad microbiana y frenará los procesos biológicos. Asimismo, el pH es un indicador de la calidad del compost como así también, una herramienta útil para determinar su aplicación potencial. El pH de un compost determinará si debe ser enmendado en el caso de una aplicación en particular. Además, indica su estabilidad y posible fitotoxicidad (Thompson *et al.*, 2001).

## **1.10 Estabilidad y madurez**

Pueden ser numerosos los inconvenientes en la distribución, almacenaje y utilización de un compost inmaduro y sin estabilizar. En el almacenamiento, por ejemplo, si se presentan zonas anaerobias se generarán malos olores y disminuirá su calidad por el desarrollo de sustancias fitotóxicas (Bernal *et al.*, 1998).

Cuando se habla de estabilidad biológica, se hace referencia básicamente a la biodisponibilidad de MO, refiriéndose a la tasa o grado de descomposición de la misma que puede medirse a través de la actividad microbiana, determinada normalmente por medidas respirométricas (Iannotti *et al.*, 1993).

El término madurez del compost se refiere a ausencia de fitotoxicidad producida por compuestos orgánicos fitotóxicos como son el NH<sub>3</sub>, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos hidrosolubles, entre otros, formados durante la fase oxidativa del proceso; y tiene una relación directa con el crecimiento y desarrollo vegetal. Por lo tanto, el grado de madurez puede determinarse mediante bioensayos de respuesta vegetal, como ser el método de Zucconi (Zucconi *et al.*, 1981a; 1981b) y sus adaptaciones (Sobrero y Ronco, 2004).

Respecto a la calidad del compost terminado, será aquel biológicamente estabilizado con ausencia de sustancias fitotóxicas y cuya MO haya evolucionado por un largo tiempo hacia formas más resistentes a la

biodegradación (con características semejantes a la MO humificada del suelo). Por tal motivo, el término madurez conceptualmente engloba el término estabilidad (Iglesias Jiménez, 2014).

La utilización de un compost inmaduro como fertilizante puede provocar un bloqueo biológico del N asimilable, con un descenso del contenido de nutrientes para las plantas y, por lo tanto, un menor rendimiento de las mismas (Negro *et al.*, 2000). Esta inmovilización del N mineral es causada por la alta C/N del compost inmaduro y provoca un aumento considerable de la microbiota edáfica que descompone el exceso de compuestos hidrocarbonados lábiles produciendo una fuerte competencia por el N asimilable entre los microorganismos y los vegetales. En este proceso también es inmovilizado el poco N mineral del compost. Además, la rápida descomposición del compost no estabilizado provoca un descenso de la concentración de O<sub>2</sub> a nivel de la raíz y del potencial de óxido-reducción del suelo, con la creación de zonas reductoras y anaeróbicas en la región de la rizosfera (Iglesias Jiménez, 2014). Esto, sumado al aumento de la T°, inhibe la germinación y a veces el desarrollo de las plantas en estadios jóvenes al reducir la respiración de las raíces, ralentizar la absorción de minerales y disminuir la síntesis de giberelinas y citoquinas, y su transporte a las partes aéreas. Otro problema de estas zonas reductoras en el suelo es el aumento de la solubilidad de metales pesados que terminan siendo asimilados por las plantas actuando como fitotóxicos (Negro *et al.*, 2000).

La producción de compuestos fitotóxicos (emisión de NH<sub>3</sub>, óxido de etileno, ácidos orgánicos de bajo peso molecular, entre otros) cuando la descomposición sigue en el suelo donde fue aplicado un compost inmaduro, es otro de los efectos observados que afecta la germinación de las semillas y la fisiología de las plantas (Iglesias Jiménez, 2014).

### **1.10.1 Bioensayo de germinación**

La fitotoxicidad es uno de los criterios más importantes para evaluar la idoneidad agrícola del compost y evitar riesgos medioambientales. Algunas investigaciones demostraron que la aplicación de compost inmaduro sobre el suelo produce efectos negativos sobre la germinación de semillas, crecimiento y desarrollo de las plantas debido al impulso bacteriano cuya consecuencia es

la disminución en la concentración de O<sub>2</sub> y bloqueo del N disponible (Zucconi *et al.*, 1981a; Iglesias Jiménez, 2014). El compost inmaduro también introduce otros compuestos fitotóxicos como son los metales pesados, etileno, amoníaco y sales en exceso (Tam y Tiquia, 1994). En el caso de los ácidos orgánicos, quedó demostrado que compost originados de residuos de olivo eran fitotóxicos debido a éstos (Manios *et al.*, 1989).

Zucconi *et al.* (1981b) desarrollaron un método para evaluar las propiedades fitotóxicas de residuos orgánicos o compost inmaduros conocido actualmente como índice de germinación (IG) o test de Zucconi, en honor a su autor. Por ser un método sencillo y económico se ha hecho extensa su utilización, adecuándose al tipo de residuo y semillas empleados (Rojas Alvarado *et al.*, 2005; Varnero *et al.*, 2007; Rodríguez Romero *et al.*, 2014), donde se utiliza un extracto acuoso de materiales sólidos o simplemente una muestra en el caso de tratarse de efluentes líquidos.

El bioensayo de toxicidad con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una adaptación del test de Zucconi, donde además de considerar el IG, se evalúa el efecto en la elongación radicular permitiendo ponderar el efecto tóxico de niveles de concentración tales que no son suficiente para inhibir la germinación. Este método es muy sensible debido a que en esta etapa ocurren numerosos procesos fisiológicos en los cuales la presencia de cualquier sustancia tóxica puede interferir en la supervivencia y desarrollo normal de la plántula. Esta metodología sirve para la evaluación de la toxicidad de compuestos puros solubles, aguas, lixiviados y compost entre otros, y es empleada como biomonitoreo ambiental por distintos organismos gubernamentales (Sobrero y Ronco, 2004).

### **1.10.2 Producción de dióxido de carbono o respiración basal**

Los microorganismos son los responsables de la descomposición de la MO, por lo que es fundamental monitorear su actividad en el proceso (Acosta *et al.*, 2006).

La respiración es el proceso exotérmico microbiano donde moléculas inorgánicas como O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> o CO<sub>2</sub>, son reducidas formando H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S o CH<sub>4</sub>, en los complejos mitocondriales de los microorganismos heterótrofos presentes en un compost (Thompson *et al.*, 2001).

Las técnicas respirométricas miden el consumo de O<sub>2</sub> o la producción de CO<sub>2</sub> por los microorganismos heterótrofos aerobios presentes en un compost y, en consecuencia, son indicadores de su actividad. Estos microorganismos utilizan O<sub>2</sub> y generan CO<sub>2</sub>, vapor de agua y calor durante la descomposición aeróbica de la MO. La tasa de respiración es elevada en compost inestables consumiendo más O<sub>2</sub> y generando más CO<sub>2</sub>, por lo que la respiración es considerada una medida de actividad biológica y puede proporcionar una lectura fiable de la actividad microbiológica de un material, y se expresa como índice respirométrico o respiración basal (RB) (Sobrero y Ronco., 2004). Existe gran diversidad de métodos, la mayoría sencilla y económica. Entre las diferentes alternativas para la determinación de la producción de CO<sub>2</sub> se destacan los que utilizan trampas alcalinas para su fijación (Barrena Gómez *et al.*, 2006).

### **1.11 Utilización del compost**

La transformación y reciclado de los residuos a través del compostado solucionan los problemas que ocasionaría su vertido al medio ambiente y los convierten en un material apropiado para su utilización en la agricultura (Negro *et al.*, 2000), por lo tanto, el resultado de esta transformación estable y madura, representa una forma de reciclaje de nutrientes en todos los sistemas agropecuarios y puede ser utilizada como fertilizante o mejoradora de los suelos (Soto, 2003).

La contaminación de los suelos por la utilización continua y excesiva de insumos químicos y monocultivo llevaron a técnicas de fertilización alternativas (Carvajal-Muñoz y Mera-Benavides, 2010). Se entiende por fertilización a todas las técnicas que permiten mejorar la fertilidad de los suelos en cuanto a las propiedades fisicoquímicas y biológicas (Bertsch Hernández, 2003). La fertilización biológica implica el uso de insumos de origen natural que ayudan al crecimiento de las plantas, mejoran la estabilidad del suelo, colaboran en la fijación de nutrientes en la rizosfera, entre otros (Rivera-Cruz *et al.*, 2008). Entre este tipo de abonos se encuentran los restos de cosecha, los estiércoles y los compost, que debido a los costos y desequilibrio ambiental de los fertilizantes químicos, han cobrado importancia por su efecto de preservación de la MO en los sistemas agrícolas (Ramírez, 2005).

Por lo tanto, desde el punto de vista de la conservación del suelo, la utilización de un compost maduro y estable tiene como finalidad evitar la erosión, aumentar la capacidad de retención de agua, con liberación lenta de los fitonutrientes (Soliva y López, 2004).

Numerosas experiencias demuestran los beneficios del uso de compost en las producciones agrícola y floral. En hortalizas su utilización demostró ser útil como medio de trasplante en lugar de turba (recurso costoso y no renovable) cuando esta fue parcialmente reemplazada por un compost estable y maduro; además aumentó los rendimientos y cuando fue aplicado de manera superficial impidió el crecimiento de malezas por acción de cobertura (Ozores-Hampton, 2010). El agregado de compost en los cultivos de hoja mejoró las propiedades físicas del sustrato, como la capacidad de retención de agua, la aireación, disminuyendo la compactación, favoreciendo el desarrollo radicular, permitiéndole a la planta explorar un mayor volumen de suelo, lo que se traduce en un mayor rendimiento (Galván y Rodríguez, 1999). En las huertas argentinas es común que se abone con CU de ave compostado en una dosis de 20-30 t cada dos años (Vigliola, 2007).

Además, se han obtenidos buenos resultados cuando ha sido aplicado como fertilizante en cultivos extensivos en comparación con fertilizantes químicos convencionales. En el caso del maíz su rendimiento está determinado, principalmente, por el número final de granos logrados por unidad de superficie, el cual es función de la tasa de crecimiento del cultivo alrededor del período de floración (Andrade *et al.*, 1996). Para esto, la planta debe lograr la adecuada disponibilidad de nutrientes a partir del momento en que más lo necesita (5-6 hojas desarrolladas, 30-50 días después de la emergencia) que representa alrededor de 22 kg/N/t de maíz producido. Este macronutriente participa en la síntesis de proteínas y por lo tanto es vital para la actividad metabólica de la planta. Su deficiencia provoca una menor tasa de crecimiento afectando la expansión foliar (Torres Duggan, comunicación personal, 2002). Por otra parte, como consecuencia de una fertilización nitrogenada por encima de los requerimientos de la planta, se alcanzó un mayor rendimiento del cultivo, sin que se afecte el contenido de energía metabolizable verdadera (EMV) por dilución de este nutriente (Iglesias *et al.*, 2014).

Escobar *et al.* (2013), determinaron que los abonos orgánicos, entre ellos el compost, pueden igualar o superar a los fertilizantes químicos en la suplementación de nutrientes a corto plazo y son una alternativa viable en condiciones de campo. Matheus (2004), al igual que Daza Torres (2014), encontraron que la aplicación de sistemas de fertilización integral y balanceada (fertilizantes químicos + compost de distintos orígenes) aplicados al cultivo de maíz resultó en beneficios sobre la evaluación agronómica de variables fitométricas y de rendimiento.

## **2 Objetivos**



## **2.1 General**

- Generar información local sobre la transformación de los residuos de incubación a través del compostaje.

## **2.2 Particulares**

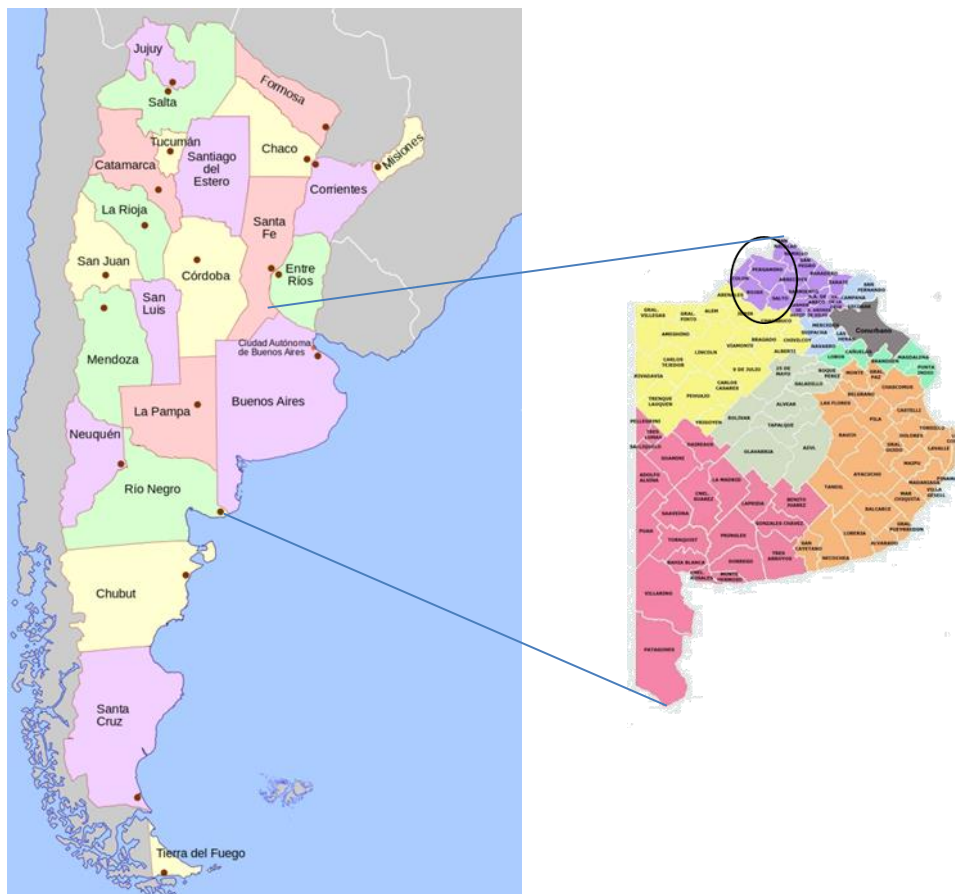
- Obtener datos propios de caracterización de los materiales a compostar.
- Determinar si por medio del compostado, los RI pueden ser transformados en un material saneado y no contaminante.
- Comprobar la eficacia de dos métodos de compostado.
- Caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente los compost obtenidos.
- Determinar el efecto de la fertilización con compost de RI en los cultivos de lechuga y maíz, y su incidencia sobre la calidad nutricional de este último.

# **3 Materiales y Métodos**

En este capítulo se presentan los procedimientos y metodologías experimentales que se emplearon en este trabajo de tesis, comenzando por la caracterización del área de estudio, los distintos ensayos de compostado realizados y los de aplicación del compost como fertilizante. También se incluyen aquellas técnicas desarrolladas y puestas a punto para las determinaciones químicas, bacteriológicas, y de estabilidad y madurez, las que quedaron implementadas como servicio externo del Laboratorio Regional del INTA-EEA Pergamino.

### **3.1 Caracterización del área de estudio**

El área donde se llevaron a cabo los ensayos experimentales de esta tesis corresponde al noroeste de la provincia de Buenos Aires, específicamente en la ciudad de Pergamino (Figura 3.1), en la Sección Avicultura y en el Laboratorio Regional de Calidad de Alimentos, Suelo y Agua de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Ing. Walter Kugler, dependiente del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Dicha estación se encuentra a 33°56'32" de latitud sur y 60°33'28" de longitud oeste, a una altura de 65,5 m sobre el nivel del mar y a 5 km al sur de la ciudad de Pergamino y 226 km al NE de la ciudad de Buenos Aires. Esta EEA es considerada como una de las unidades de referencia en recursos genéticos y biotecnología, gestión ambiental, agroclimatología y agroindustria de Argentina. En el INTA-EEA Pergamino existe un núcleo de reproductores y una sala de incubación de pollos camperos y ponedoras negra y rubia INTA, a partir de los cuales se obtuvieron los materiales que se utilizaron para los ensayos de esta tesis.



**Figura 3.1** Área de estudio

### **3.2 Toma de muestras y caracterización del material de partida para el compostaje**

Se consideró material de partida a los residuos que se utilizaron para la producción de compost.

#### **3.2.1 Huevos no nacidos, cáscaras y plumón**

Los restos de RI se obtuvieron de una nacedora comercial marca Cooper de 88 bandejas con capacidad para 6.200 huevos. Al día 21,5 de incubación, una vez finalizado el nacimiento, se procedió a la toma de muestra de los residuos. Durante seis semanas consecutivas se llevaron a cabo los muestreos. Cada uno consistió en la toma, en forma aleatoria, de cuatro muestras de residuos del tamaño de un puño por bandeja. Las citadas muestras se colocaron en un contenedor plástico, el que se utilizó para mezclar y obtener de allí una submuestra, que se procesó de forma inmediata con un

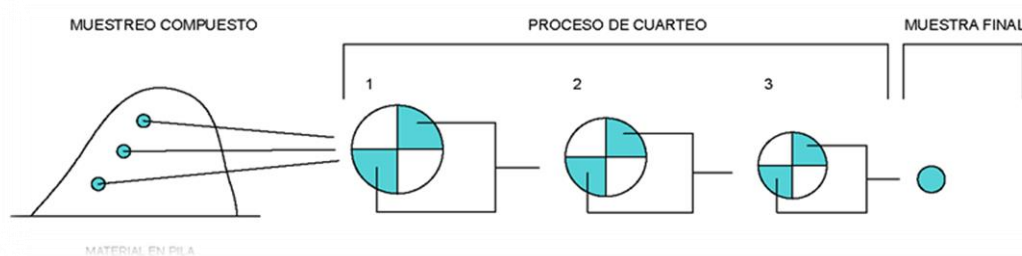
molino refrigerado de cuchillas planas (HQ Analyzer MC-II) hasta su homogenización.

### 3.2.2 Pollitos

En el caso de los pollitos, se realizaron tres muestreos semanales de seis pollitos cada uno. Todas las muestras fueron procesadas de manera similar a los huevos no nacidos.

### 3.2.3 Cama usada y viruta de madera

Se efectuaron dos muestreos compuestos de CU (de un ciclo completo de un año) que se descarta de los galpones de los reproductores y uno de VM nueva. Ambos materiales se encontraban acopiados en pilas y la toma de muestra se realizó como indica la Figura 3.2 (Thompson *et al.*, 2001).



**Figura 3.2** Muestreo compuesto y cuarteo en viruta de madera y cama usada

Fuente: Adaptado de Thompson *et al.*, 2001.

En este procedimiento se recolectaron a partir de las pilas tres muestras del tamaño de un puño (100 g aproximados) a unos 20 cm de la superficie, tres de la parte media y tres en profundidad. Se procedió a la mezcla del material y luego a la obtención de la muestra final por el método de cuarteo. Para esto, las muestras se vertieron en una bandeja plástica limpia de 45 cm x 30 cm, se mezclaron enérgicamente y se formó una montaña aplanando su parte superior hasta ocupar toda la superficie disponible. Aquí el material se dividió en cuartos iguales con ayuda de una cuchara de laboratorio, y se descartaron dos cuartos opuestos. El procedimiento se repitió tres veces con los dos cuartos que se fueron conservando, hasta lograr la muestra final (Figura 3.3).



**Figura 3.3** Método de cuarteo

Fuente: imagen propia.

Todas las muestras fueron conservadas en heladera a 4 °C por 24 h y fueron remitidas en cadena de frío al Laboratorio Consultora Suelos de la ciudad de Pergamino para su análisis. En el caso de huevos no nacidos, cáscaras, pollitos y CU se determinaron pH, CE, MO, N, C/N. En viruta de madera se midieron MO, C, N y C/N.

### **3.2.4 Caracterización microbiológica y fúngica de los residuos de incubación**

Se tomaron dos muestras de cada uno de los residuos obtenidos (pollitos y resto de RI) a partir de la nacedora siguiendo la metodología descrita anteriormente. Las mismas se enviaron al Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Veterinarias – Universidad Nacional de Rosario (Santa Fe, Argentina) para su análisis. Allí se realizó recuento de aerobios mesófilos totales, así como detección de coliformes, *Salmonella sp.* y hongos. A tal fin, se utilizaron diluciones en base  $10^{-1}$  y recuento en placa para la determinación de unidades formadoras de colonias (UFC) (37 °C, 24 h). En el caso de *Salmonella* y *E. coli*, se cultivó en caldo Müeller-Kauffman durante 24 h a 37 °C y posteriormente, se sembró en agar xilosa-lisina-desoxicolato (XLD). El cultivo para aislamiento de hongos se realizó en agar Sabouraud.

### 3.3 Instalaciones para compostado

#### 3.3.1 Caseta de compostado

La caseta de compostado utilizada es una construcción de 5 m de largo por 4 m de ancho realizada en tablas de madera dura separadas entre sí por 2 cm, lo que facilita la aireación estática, y armada sobre un piso de hormigón que evita que el lixiviado entre en contacto con el suelo y se filtre a través de éste. Las paredes exteriores son fijas y las interiores, móviles, las que dividen a la caseta en seis cajones de un área interna de 1,5 m<sup>2</sup> cada una, con un pasillo central que permite el acceso a los cajones con carretilla. Las tablas de las paredes internas se encuentran montadas sobre correderas. Esta construcción tipo modular permite agregar o quitar tablonces para facilitar el llenado o vaciado del cajón. Toda la estructura está cubierta con un techo de chapa a dos aguas con una altura de 2,80 m a la cumbrera y 2,20 m al alero (Figura 3.4).



**Figura 3.4** Caseta de compostado

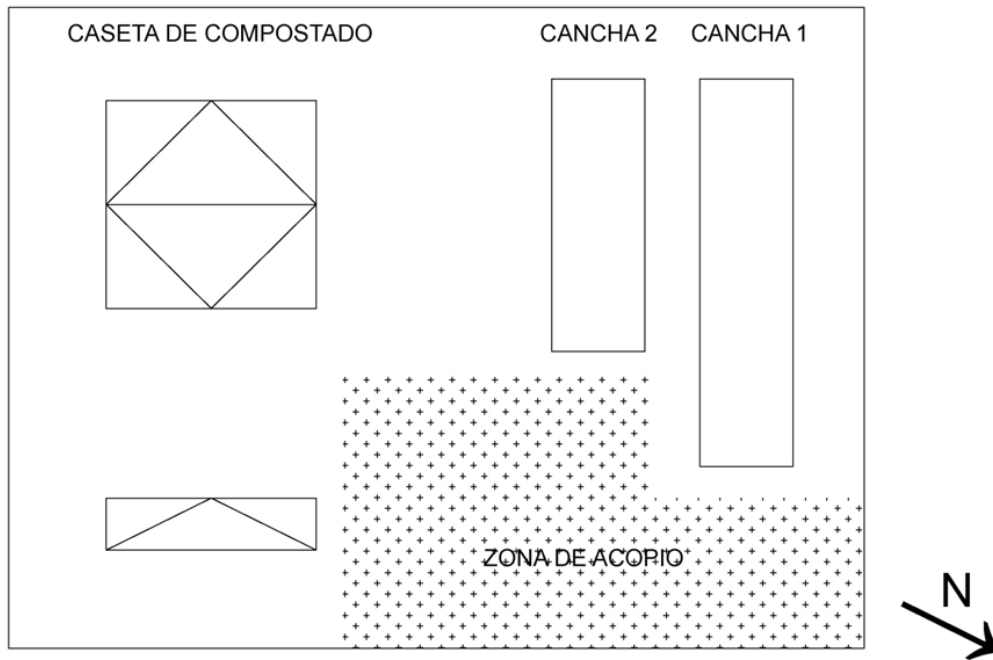
a Vista general; b Vista interior; c Interior de uno de los cajones.  
Fuente: imágenes propias.

Esta caseta se encuentra ubicada cerca de los galpones de producción de aves donde no existen viviendas y sobre terreno alto no inundable.

#### 3.3.2 Canchas de compostado

Las canchas disponibles para el compostado consisten en dos superficies rectangulares de 1,20 m por 6 m y de 1 m por 3 m, respectivamente, de hormigón armado construidas sobre piso de tierra afirmado, localizadas cercanas a la caseta de compostado.

En la Figura 3.5 se observa un croquis de las instalaciones ubicadas en la Sección Aves de la EEA-Pergamino.



**Figura 3.5** Croquis de la zona de compostado

Fuente: diseño propio.

### **3.4 Ensayo de compostado de residuos de incubación en caseta con aireación estática**

El ensayo consistió en el compostado de los RI semanales generados en la planta de incubación utilizando un método de estratificación (Arbiza, 2005). Con los residuos generados en cada nacimiento, luego de ser pesados en una balanza digital calibrada de 600 kg  $\pm$  200 g (LT Ingeniería S.A), se procedió al compostado. El mismo se realizó de la siguiente manera: al inicio del proceso se colocaron 30 cm de espesor de CU en el fondo del cajón para evitar el escurrimiento de lixiviado; luego, se agregó capas intercaladas de aproximadamente 10 cm de alto de pollitos de descarte, CU y restos de RI rotos con pisón. Esta operación se repitió hasta procesar todos los residuos generados durante el nacimiento de cada fecha y el llenado de cada uno de los cuatro cajones se dio por finalizado al alcanzar 1,20 m de altura, momento en que se cubrió con CU y Pas como cobertura (Figura 3.6).





**Figura 3.6** Cajones completos

Fuente: imagen propia.

En la Tabla 3.1 se detalla el período de llenado de cada uno de los cajones de la caseta y la cantidad y tipo de residuos compostados en los mismos.

**Tabla 3.1** Compostado de residuos de incubación en caseta con cama usada

<b>Fechas</b>	<b>Cajón 1</b>	<b>Cajón 2</b>	<b>Cajón 3</b>	<b>Cajón 4</b>
<b>Inicio</b>	19-mar	11-jun	05-ago	18-set
<b>Finalización</b>	04-jun	30-jul	10-set	22-oct
<b>Desarmado</b>	03-set	24-oct	12-nov	05-ene
<b>Residuos (kg)</b>				
<b>Resto RI</b>	496	587	548	641
<b>Pollitos de descarte</b>	525	398	340	286
<b>Total</b>	<b>1021</b>	<b>985</b>	<b>888</b>	<b>927</b>

RI: residuos de incubación.

Las T° de cada cajón se registraron diariamente por triplicado con termómetro digital pinche para compost marca Luft (Alemania) de 70 cm de largo en el centro de la masa a distintas profundidades a medida que se fueron agregando las sucesivas capas (Figura 3.7). Luego de promediarlas, estas se compararon con las medias diarias ambientales suministradas por la Estación Agrometeorológica de la EEA-Pergamino a fin de corroborar su independencia. Además, se calcularon los períodos en los cuales se alcanzaron T° y duración en días de las mismas, necesarias para el saneamiento del material. Se consideró finalizado el proceso cuando se obtuvieron T° mesófilas semejantes a las iniciales.



**Figura 3.7** Registro de temperatura con termómetro pinche

Fuente: imagen propia.

Todos los cajones fueron desarmados oportunamente (Tabla 3.1) y el material acopiado en una pila sobre material plástico (Figura 3.8). El compost obtenido de los cajones fue mezclado y se le determinó H°, MO, pH, C/N y N. Posteriormente con este material se llevó a cabo un ensayo de fertilización de maíz.



**Figura 3.8** Compost acopiado

Fuente: imagen propia.

### **3.5 Compostado sobre cancha en pilas a cielo abierto y con volteo manual**

Para la confección de las pilas (Sztern y Pravia, 2006) se pesaron los RI según categorías (pollitos de descarte y resto de RI) durante siete nacimientos consecutivos (uno por semana) que se trituraron con pala antes de la

incorporación para facilitar su compostado (Figura 3.9). Las mezclas y la elaboración de las pilas fueron realizadas sobre una de las canchas de cemento hasta alcanzar, por lo menos, un metro una altura.



**Figura 3.9** Residuos de incubación triturados sobre cancha de cemento

Fuente: imagen propia.

Se realizaron 2 pilas, una con 3 (pila 1) y la otra con 4 nacimientos (pila 2). Para conseguir la C/N deseada se agregó VM como fuente de C hasta alcanzar una relación final de la mezcla de 25-30/1.

El cálculo se realizó aplicando la siguiente fórmula:

$$C/N \text{ final} = \frac{C/N_a * kg_a + C/N_b * kg_b}{kg \text{ totales}} = \frac{C/N_z * kg_z}{kg \text{ totales}}$$

Donde los subíndices corresponden a la C/N y a los kg de cada uno de los componentes a mezclar.

De esta manera, según los residuos a compostar, las pilas resultaron como se observa en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Cantidad de residuos procesados y C/N alcanzada en cada una de las pilas

Pila 1	Residuos (kg)			
	Pollitos desc.	Restos RI	Viruta	C/N
<b>Nacimiento 1</b>	73,9	165,7	13,0	29,3
<b>Nacimiento 2</b>	43,8	58,6	5,5	28,7
<b>Nacimiento 3</b>	37,7	128,9	9,0	29,5
<b>Total</b>	<b>155,4</b>	<b>353,2</b>	<b>27,5</b>	
Pila 2				
<b>Nacimiento 1</b>	78,7	54,4	7,0	27,8
<b>Nacimiento 2</b>	64,4	62,4	7,5	30,0
<b>Nacimiento 3</b>	54,1	38,2	5,0	28,5
<b>Nacimiento 4</b>	73,0	76,0	8,5	29,7
<b>Total (kg)</b>	<b>270,2</b>	<b>231,0</b>	<b>28,0</b>	

desc.: descarte; RI: residuos de incubación; C/N: Relación carbono/nitrógeno.

Durante el tiempo que duró la experiencia, el material se mantuvo tapado con una capa de paja de trigo para evitar la pérdida de calor (Figura 3.10).



**Figura 3.10** Pila protegida con paja

Fuente: imagen propia.

Con el fin de favorecer la aireación y el desarrollo bacteriano, se llevaron a cabo dos volteos por pila (Figura 3.11). Ambas pilas fueron volteadas a los 16 y 57 días contados a partir de la última incorporación. Para realizarlos, se sacó la paja de cubierta, se retiraron los sensores y el material se mezcló con pala. A continuación, se recolocaron los sensores de temperatura respetando su ubicación y se volvió a tapar con paja.





**Figura 3.11** Pila luego de ser volteada

a Vista general; b Detalle  
Fuente: imagen propia.

El registro de las  $T^\circ$  de las pilas se realizó utilizando un sistema de adquisición de datos desarrollado en el Laboratorio de Electrónica del Instituto de Ingeniería Rural de INTA Castelar alimentado a energía a solar. El mismo contó con 8 sensores que registraban  $T^\circ$  entre 2 y 100  $^\circ\text{C}$  ( $\pm 1$   $^\circ\text{C}$ ). El sistema fue programado para registrar la temperatura cada 60 min y se utilizaron 4 sensores por pila distribuidos de la siguiente forma: 2 ubicados a 30 cm (sensores 1) y 2 a 60 cm (sensores 2). Las  $T^\circ$  fueron registradas a partir de la fecha de la última incorporación de RI, considerándose éste como el día 0.

Se calcularon los promedios de los 24 datos diarios obtenidos a partir de ambos grupos de sensores. Además, éstos se compararon con la  $T^\circ$  promedio ambiental proporcionada por la estación Agrometeorológica del INTA-EEA Pergamino, con la finalidad de comprobar si ésta afectaba los datos de  $T^\circ$  obtenidos. Además, se calcularon los períodos en los cuales se alcanzaron  $T^\circ$  y duración en días de las mismas, necesarias para el saneamiento del material.

La  $H^\circ$  de ambas pilas se controló semanalmente con el método del puño (Lombrices de California, 2015), y se fue corrigiendo con el agregado de agua por riego o bien destapado para favorecer la evaporación del exceso de  $H^\circ$ , manteniéndola en un 60 y un 70%.

Además, se realizaron cuatro muestreos a los 141, 163, 182 y 212 días de iniciada la pila 1 y a los 127, 150, 169 y 199 días de iniciada la pila 2 con el fin de evaluar parámetros químicos y biológicos de madurez y estabilidad. En cada muestreo se determinaron  $H^\circ$ , MO, IG y producción de  $\text{CO}_2$ .

Las pilas se juntaron (Figura 3.12), y el compost obtenido fue caracterizado y utilizado para el ensayo de fertilización en lechuga.

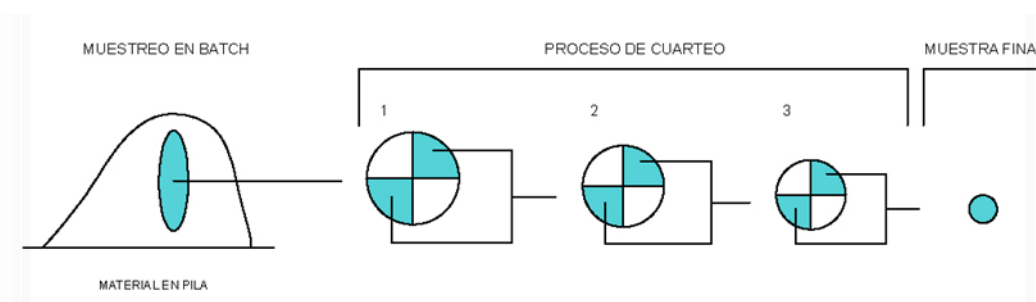


**Figura 3.12** Desarmado de las pilas

Fuente: imagen propia.

### 3.6 Método de muestreo de compost

En todos los casos, los compost fueron muestreados por el método en batch seguido de cuarteo estándar (Thompson *et al.*, 2001) y las muestras se conservaron a 4 °C hasta su procesamiento (Figura 3.13).



**Figura 3.13** Muestreo de batch y cuarteo

Fuente: Adaptado de Thompson *et al.*, 2001.

## 3.7 Determinaciones en compost

### 3.7.1 Humedad a 70°C y materia seca

Para la determinación de H° a 70 °C se aplicó el procedimiento sugerido por Thompson *et al.* (2001): brevemente, se pesaron 20 g de la muestra tal cual se recibió en cápsulas de porcelana previamente taradas y se llevaron a estufa a 70 °C ± 5 °C hasta peso constante (alrededor de 24 h). Luego de transcurrido este tiempo, el soporte con la muestra se colocó en un desecador de sílica gel durante 20 min hasta su enfriamiento para pesarlo nuevamente. Con el fin de calcular el contenido de H° (%), se utilizó la siguiente fórmula:

$$MS (\%) = \frac{A - B}{A - T} * 100$$

$$H (\%) = 100 - MS$$

Donde

MS: Materia seca (%)

H: Humedad (%)

A: peso de la cápsula + muestra húmeda (g) sin tara

B: peso de la cápsula + peso muestra seca a 70 °C ± 5 °C (g) sin tara

T: peso de la cápsula (tara-g)

### 3.7.2 Materia orgánica

Se siguió el procedimiento propuesto por Thompson *et al.* (2001). Brevemente, se colocaron aproximadamente 3 g del material en una cápsula de porcelana de peso registrado, la cual se llevó a estufa a 70 °C por 24 h y se registró su peso. A continuación, la muestra fue incinerada en mufla a 550 °C durante 4 h. Una vez transcurrido este tiempo se dejó enfriar la cápsula dentro de la misma, hasta que fue posible transferirla a un desecador y cuando llegó a T° ambiente, se registró su peso (Figura 3.14).

$$MO (\% bs) = 100 - \frac{A - B}{A - T} * 100$$

Donde:

% bs: porcentaje en base seca

A: peso de la cápsula + muestra seca a 70 °C (g)

B: peso de la cápsula + muestra incinerada en la mufla (g)

T: peso de la cápsula (tara, g)



**Figura 3.14** Mufla y balanza durante la determinación de materia orgánica

a Crisoles en la mufla; b Pesado de las muestras incineradas.

Fuente: imágenes propias.

### 3.7.3 pH y conductividad eléctrica

Para la determinación de pH se prosiguió según Thompson *et al.* (2001). Se calculó la masa de la muestra fresca equivalente a 40 g de muestra seca según:

$$A (g) = \frac{40 * 100}{MS}$$

Donde:

A: Masa de muestra fresca (g)

MS: Materia seca (%)

Una vez realizado esto, se colocó la cantidad de material calculado en un vial plástico con tapa a rosca.

Asimismo, se determinó el volumen de agua bidestilada necesaria para alcanzar una relación muestra: solución = 1:5, según:

$$B (mL) = 200 - (A - 40)$$



Donde:

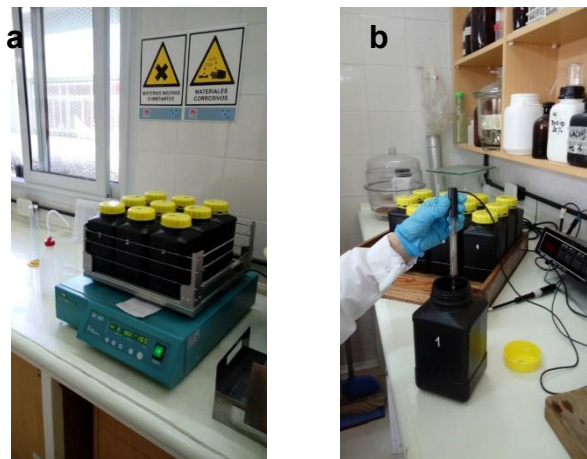
B = Volumen de extractante (mL)

A= Masa de muestra fresca calculada (g)

Luego se agregó el agua al frasco, se tapó y se colocó en agitador por 20 minutos a 180 golpes por minuto.

Tras la agitación, se filtró en embudos de vidrio con filtro de papel. Posteriormente, el pH del extracto de la muestra se midió con pHmetro calibrado.

Se conservó el extracto, con el que inmediatamente después se llevó a cabo la determinación de CE con un conductímetro calibrado.



**Figura 3.15** Procedimiento para la medición de pH

a Muestras en el agitador; b Medición de pH.

Fuente: imágenes propias.

### 3.7.4 Nitrógeno total - Kjeldahl

Se determinó de acuerdo con lo propuesto por Thompson *et al.* (2001). Se pesaron 0,5 a 1 g de muestra tal cual fue recibida y se colocaron en un tubo de digestión. En otro tubo se agregaron 0,2 g de acetanilida para el patrón y dispuso un tercer tubo vacío para el blanco.

En todos los tubos se agregaron 4 mL de solución de ácido sulfúrico y se homogeneizó. Se dejó en reposo hasta el día siguiente a T° ambiente. Posteriormente se adicionaron en cada tubo 0,5 g de tiosulfato de sodio molido

y 1,5 g aproximadamente de mezcla catalítica con un embudo de vástago largo.

Se digirió a 400 °C hasta observar que la muestra poseía color verde claro.

Luego que la muestra alcanzó T° ambiente se agregaron lentamente 20 mL de agua bidestilada. Se tituló el destilado con solución estándar del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,01 N hasta el viraje de color verde a gris neutro.

Se calculó el N total en base seca:

$$N \text{ total (\% bs)} = \frac{(A - B) * N * 140}{(m * MS)}$$

Donde:

A= volumen titulado de la muestra (mL)

B= volumen titulado del blanco (mL)

N= normalidad del ácido sulfúrico

m= masa de la muestra húmeda (g)

MS= materia seca (%)

### **3.7.5 Microbiología**

Con el objeto de comprobar si el compost era apto para ser utilizado en el medio ambiente en el marco de la normativa nacional (SCMA y SENASA, 2019), se realizaron las determinaciones bacteriológicas correspondientes en el Laboratorio Regional de INTA Pergamino.

Todos los procedimientos fueron llevados a cabo bajo estrictas normas de bioseguridad: utilización de EPP, buenas prácticas microbiológicas y gestión adecuada de residuos generados. Además, las operaciones fueron efectuadas bajo campana de flujo laminar horizontal a fin de evitar contaminación de las muestras y con material esterilizado en autoclave.

#### **3.7.5.1 Obtención del extracto de compost**

Se siguió el procedimiento sugerido por Thompson *et al.* (2001). Se colocaron 20 g del compost obtenido de las pilas con volteo manual en mortero cerámico previamente tarado, se llevó a peso final de 200 g con el agregado de buffer agua peptonada estéril (BPW) al 1% y se maceró la mezcla para su

homogeneización (dilución  $10^{-1}$ ). Se realizaron cuatro diluciones seriadas adicionales a partir de  $10^{-1}$  en BPW estéril al 1% para llegar hasta  $10^{-5}$ . Para ello, se agregó 1 mL del extracto ( $10^{-1}$ ) a 9 mL de BPW, se mezcló con vortex por 5-10 s y se repitió este proceso hasta completar todas las diluciones.

### **3.7.5.2 Mesófilos totales**

Para su determinación se sembraron por duplicado las cinco diluciones antes obtenidas en agar para recuento en placa (PCA). El método utilizado fue el de siembra por inmersión o en profundidad: se distribuyeron 1 mL de las distintas diluciones en placas de Petri y luego se vertieron aproximadamente 10 mL del medio previamente fundido y a una  $T^{\circ}$  no mayor a  $45^{\circ}\text{C}$ . Luego de tapar las placas se imprimieron movimientos suaves circulares en ambos sentidos. Se dejaron solidificar tapadas en  $\frac{3}{4}$  partes sobre la mesada de una campana de flujo laminar, a continuación, se invirtieron y se llevaron a estufa de cultivo a  $30^{\circ}\text{C}$  por  $48 \pm 2$  h antes de la lectura.

Transcurrido dicho periodo, se efectuó el cálculo de recuento estándar en placa. Para ello, se eligieron las dos placas que presentaron entre 30 y 300 colonias, se determinó la media aritmética de ambos valores y se multiplicó por la inversa de la dilución correspondiente para cada una de las placas seleccionadas (ICMSF, 2000).

### **3.7.5.3 Coliformes totales y fecales**

Se realizó por la técnica de diluciones en tubo múltiple (número más probable, NMP) (Thompson *et al.*, 2001). A fin de determinar la presencia de coliformes totales (producción de gas y fermentación de lactosa +), se sembraron 1 mL de cada una de las cuatro primeras diluciones por triplicado en tubos con campana de Durham conteniendo 9 mL de medio caldo lauril sulfato triptosa (LTB) y se incubaron a  $37^{\circ}\text{C}$  durante 48 h en estufa de cultivo. Se determinó el NMP utilizando el procedimiento explicado por Jarvis *et al* (2010). El resultado se expresó en NMP/g de MS.

Para cada tubo positivo se continuó con la determinación de coliformes fecales (Thompson *et al.*, 2001). Para esto se realizó un repique por duplicado de los tubos positivos (40  $\mu\text{l}$ ) en tubos con campana de Durham conteniendo 9 mL de medio EC con 4 metilumbeliferil-B-D-glucurónido (EC-MUG). Los tubos

fueron incubados a 44,5 °C durante 24 h. Se consideraron positivos los tubos que presentaron turbidez y gas (Figura 3.16). A fin de establecer el NMP se utilizó el mismo procedimiento que para coliformes totales.



**Figura 3.16** Cultivo en medio EC-MUG

Fuente: imagen propia.

#### **3.7.5.4 *Salmonella sp.***

El extracto obtenido se colocó como medio de preenriquecimiento en estufa a 37 °C por 24 h. Luego de este período se agregaron 2,5 mL de dicho extracto en un tubo Falcon conteniendo 22,5 mL de caldo Tetrionato enriquecido con una solución de yodo y verde brillante. Se incubó a 37 °C por 24 h. Tras este tiempo se realizó un repique en estría en una placa de agar XLT4, incubándose nuevamente 24 h, pero en este caso a 35 °C. Siendo positivo en aquellas placas con desarrollo de colonias negras.

### **3.8 Determinaciones indicadoras de estabilidad y madurez**

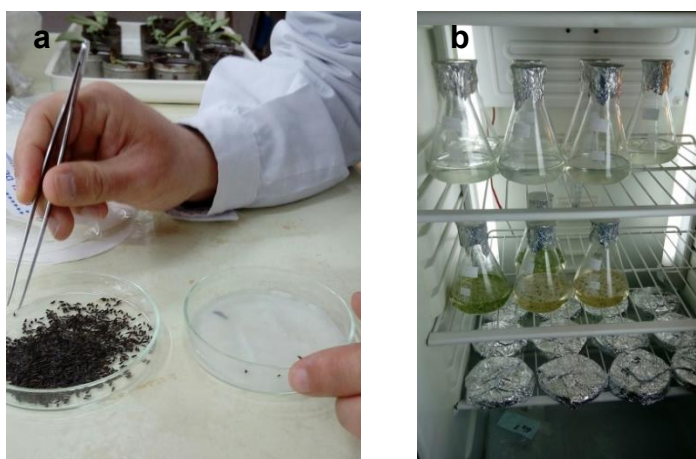
#### **3.8.1 Índice de germinación**

Las pruebas se realizaron según lo indicado por Thompson *et al.*, 2001. En placas de Petri debidamente rotuladas se colocó un papel de filtro (tipo Watman® n° 3) con diámetro 2 mm menor al diámetro de las mismas.

Para la preparación del extracto a utilizar se pesaron 2 g de compost en tubos Falcon de 50 mL, a los cuales se les adicionaron 30 mL de agua destilada previamente calentada en baño térmico a 60 °C. La suspensión se agitó durante 30 min en agitador horizontal (180 golpes/min) y el sobrenadante

recuperado se filtró empleando embudos de vidrio cubiertos con el mismo tipo de papel que se utilizó en las placas. Una vez filtrado, se procedió a la preparación de distintas diluciones del extracto: 1, 10, 25, 50, 75 y 100%.

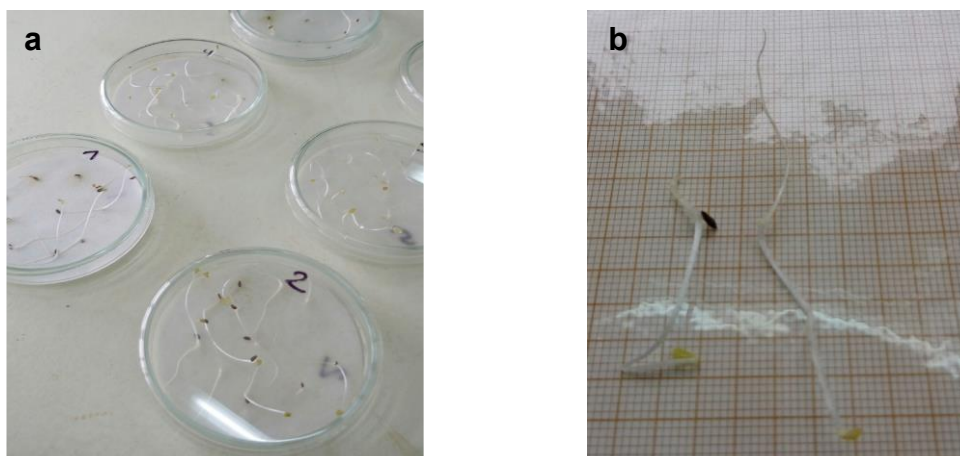
Sobre las placas se dispensaron 2 mL del extracto evitando la formación de burbujas de aire entre la placa y el papel. En el caso de los controles, se utilizó agua destilada sometida al mismo procedimiento que las muestras de compost. A continuación, en cada placa se colocaron 10 semillas de lechuga (*Lactuca sativa*, var. Gallega), ejerciendo una mínima presión para que queden fijas al papel (Figura 3.17a). Las placas fueron tapadas, envueltas en papel aluminio para evitar la evaporación y llevadas a incubador a 25 °C donde permanecieron por 6 días hasta el momento de la lectura (Figura 3.17b). La determinación del IG en muestras y controles se efectuó por triplicado.



**Figura 3.17** Procedimiento para determinación del índice de germinación

a Distribución de las semillas en las placas; b Placas en estufa.  
Fuente: imágenes propias.

Transcurrido este tiempo, las placas se retiraron de la estufa, se contabilizó el número de semillas germinadas y se midió el largo radicular sobre papel milimetrado. Se consideraron germinadas aquellas con una radícula  $\geq 1$ mm (Figura 3.18).



**Figura 3.18** Registro del índice de germinación y longitud radicular

a Conteo de semillas germinadas en las placas; b Determinación de longitud radicular.  
Fuente: imágenes propias.

Por medio de las siguientes fórmulas se calcularon el porcentaje de germinación de semillas (PGR) y dos índices de fitotoxicidad: índice de crecimiento relativo de la radícula (CRR) e IG.

$$PGR (\%) = \frac{\text{promedio semillas germinadas con extracto}}{\text{promedio semillas germinadas control}} \times 100$$

$$CRR (\%) = \frac{\text{longitud promedio de la radícula con extracto}}{\text{longitud promedio de la radícula control}} \times 100$$

$$IG (\%) = \frac{PGR \times CRR}{100}$$

### 3.8.2 Producción de CO<sub>2</sub> o respiración basal

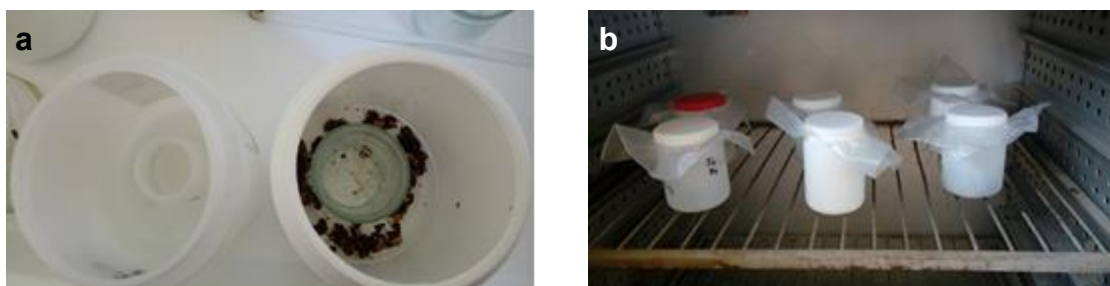
A fin de cuantificar la producción de CO<sub>2</sub> se debió ajustar la H° de las muestras de compost entre 50 y 60% con el objeto de demostrar actividad bacteriana. Para esto se utilizó el “método del puño”. El mismo consiste en tomar con el puño una porción de la muestra homogeneizada, armar un bollo y apretarlo suavemente. Si al abrir la mano el bollo se desarma, indica falta de H° con lo cual, se deberá ajustar la misma con agua bidestilada hasta conseguir que al repetir el procedimiento escurran unas 4 o 5 gotas, lo que revelará indirectamente una H° de alrededor del 60% (Figura 3.19).



**Figura 3.19** Método del puño para determinación de humedad

Fuente: Lombrices de California, 2015.

Las pruebas se realizaron según la metodología indicada por Thompson *et al.* (2001). Se colocaron 10 g de la muestra con H° ajustada en forma de corona dentro de recipientes plásticos de 500 cm<sup>3</sup> y en el centro de cada una de las mismas se ubicó un vial con 30 mL de NaOH 0,1N (Figura 3.20a). Cada frasco se cerró de manera hermética colocando film plástico entre la boca y la tapa a rosca, y se incubó a 30 °C por 24-48 h para el caso de muestras de compost inmaduros y 36-72 h para los maduros (Figura 3.20b). Transcurrido el período de incubación, los recipientes se retiraron de la estufa y el NaOH de cada vial se trasvasó cuantitativamente a un Erlenmeyer diferente. A cada Erlenmeyer se le agregó 500 µL de BaCl<sub>2</sub> y 4 gotas de fenolftaleína virando el líquido a color rosa-fucsia. A continuación, se procedió a la titulación con HCl 0,1N del NaOH que no reaccionó con el CO<sub>2</sub>. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado y simultáneamente, se analizaron 3 blancos de reactivo.



**Figura 3.20** Procedimiento para medir producción de CO<sub>2</sub>

a Frascos control y muestra; b Frascos en estufa a 30 °C.

Fuente: imágenes propias.

Cálculos realizados:

$$mg\ CO_2/g\ MO/día = \frac{(V_{bco} - V_{mta}) \times NHCl \times 10000 \times 22}{m \times MS \times MO \times d}$$

Donde:

V<sub>bco</sub>: mL de HCl utilizados para titular el blanco

V<sub>mta</sub>: mL de HCl utilizados para titular la muestra

NHCl: normalidad del HCl

22: proviene del peso de 1/2 eq de CO<sub>2</sub> que reacciona con 1 eq de NaOH

m: masa de la muestra húmeda en g que se analiza

MS: materia seca de la muestra en %

MO: materia orgánica de la muestra en %

d: días de incubación

### 3.9 Ensayos de fertilización con compost

#### 3.9.1 Ensayo de fertilización en lechuga

Este ensayo fue llevado a cabo en un invernadero de ambiente controlado ubicado en el INTA-EEA Pergamino. El mismo posee 243 m<sup>2</sup>, está construido en policarbonato y cuenta con medidas de bioseguridad estándares (malla antiáfidos en toda su superficie y doble entrada con pediluvio), control de T° por paneles evaporativos y dos extractores de aire frontales (circulación forzada). Además, posee cielorraso automático antirradiación y lámparas de sodio como fuentes de luz.

Los plantines fueron producidos utilizando 4 bandejas de germinación multicelda (*speedlings*) de 200 pozuelos cada una. Cada pozuelo fue llenado hasta sus ¾ partes con sustrato comercial marca Dynamics. En el centro de cada celda, con la ayuda de una pinza, se colocó una semilla de lechuga (*Lactuca sativa*, var. Gallega), ya probadas en el ensayo de IG, con un mínimo de presión debido a que el tamaño de la misma hace necesario la siembra superficial (Ramoá, 2013). Se cubrió con una capa delgada del sustrato y se proporcionó humedad por medio de un rociador. Una vez armadas las 4



bandejas, las mismas fueron numeradas del B1 al B4 (bloques 1, 2, 3 y 4) y colocadas sobre mesadas en el interior del invernadero (Figura 3.21).



**Figura 3.21** Vista general del invernadero, mesadas y bandejas multiceldas

Fuente: imagen propia.

Hasta el momento del trasplante, se registraron  $H^{\circ}$  ambiente y luxes (datos no presentados), y se proporcionó riego a través de rociador manual. Se controló diariamente el estado sanitario y desarrollo de las plántulas (Figura 3.22).



**Figura 3.22** Plántulas en desarrollo

Fuente: imagen propia.

A los 43 días de la siembra, se realizó el trasplante (Figura 3.23).



**Figura 3.23** Trasplante de plantines de lechuga

a Plantines a ser trasplantados; b Plantín descalzado.  
Fuente: imágenes propias.

La tierra para llenar las macetas fue obtenida de una zona del Sector Avicultura, alejada de los galpones, y nunca empleada para cultivo. Previo a su utilización se desmenuzó y se limpió de todo material. Las macetas de 3 L de volumen (plástico negro soplado) fueron llenadas con tierra hasta  $\frac{3}{4}$  partes de su capacidad. Para el trasplante se utilizaron los plantines centrales de las bandejas multicelda, respetando cada bloque.

El diseño utilizado fue en bloques completos al azar (DBCA) con 4 bloques y 4 tratamientos con 4 repeticiones de cada uno por bloque. El gradiente de heterogeneidad fue la bandeja multicelda de la cual provinieron los plantines.

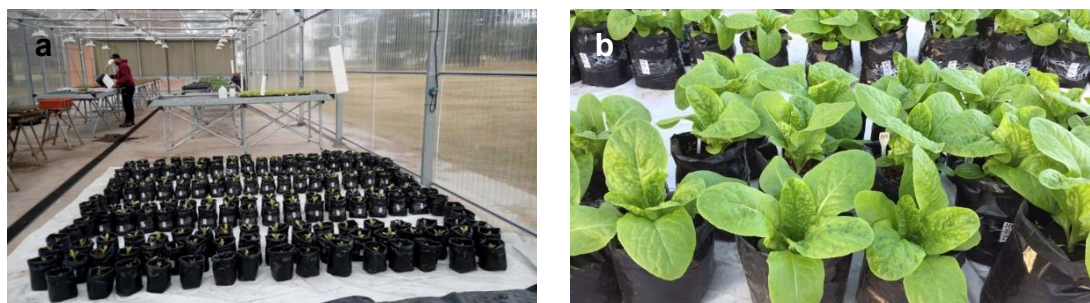
El compost fue pesado según el tratamiento correspondiente con una balanza digital ( $\pm 0,1g$ ), en un recipiente plástico e incorporado en los 10 cm superficiales de tierra de la maceta. Dado que la lechuga posee un sistema radicular poco desarrollado, para un mejor aprovechamiento de los nutrientes es importante situarlos a poca profundidad antes de introducir el plantín en un pequeño hoyuelo en el centro de la maceta. Las dosis de compost fueron calculadas en t/ha, teniendo en cuenta el área de las macetas ( $0,0154 m^2$ ), su aporte de N y los requerimientos del cultivo (Tabla 3.3).

**Tabla 3.3** Tratamientos y dosis de compost aplicadas por maceta

Tratamiento	t/ha	Dosis de compost (g)
T1	0	0
T2	10	15,4
T3	30	46.2
T4	50	77,0

T: Tratamiento; t: toneladas; ha: hectáreas.

Las macetas fueron ubicadas en el piso del invernadero sobre una superficie plástica. Cada bloque estuvo dividido por pasillos del ancho de dos macetas y el perímetro se completó con macetas dotadas de plantas contemporáneas para evitar el efecto borde (Figura 3.24).



**Figura 3.24** Ensayo de fertilización en lechuga

a Macetas con plantines el día del trasplante; b Plantas de lechuga en crecimiento.  
Fuente: imágenes propias.

A lo largo del ciclo del cultivo se realizaron 4 cosechas (cosecha 1 a los 62 días de la siembra, cosecha 2 a los 76 días, cosecha 3 a los 90 días y cosecha 4 a los 105 días de la siembra). Las mismas consistieron en descalzar las plantas abriendo la maceta con un cortante y exponiendo las raíces con agua a presión, para no perder partes de la radícula (Figura 3.25).



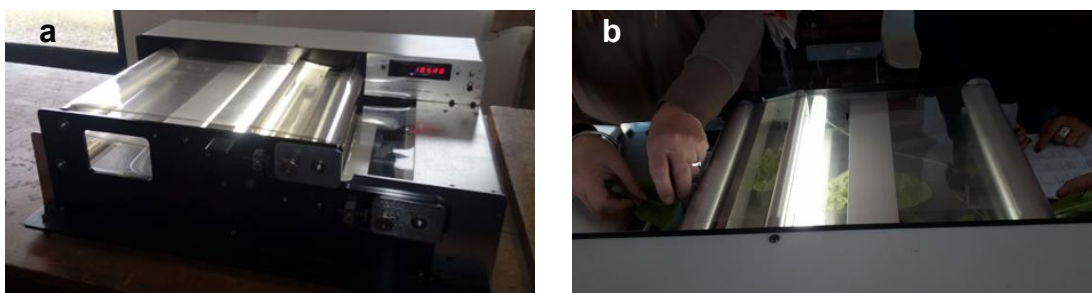
**Figura 3.25** Cosecha de las plantas de lechuga

a Plantas recién descalzadas; b Plantas con raíces expuestas.  
Fuente: imágenes propias.

Posteriormente se desarmaron las plantas en sus distintos componentes obteniéndose el peso húmedo de cada uno de ellos. Luego, tras la desecación en cámara de aire forzado a 37 °C se determinaron los pesos secos.

Los datos obtenidos fueron:

- Raíz: peso húmedo (PHR) y seco (PSR)
- Biomasa foliar: peso húmedo (PHBF) y seco (PSBF)
- Área Foliar (AF): en cm<sup>2</sup>, utilizando un fotoplanímetro (Figura 3.26)
- Tallo: peso húmedo (PHT) y seco (PST)
- N° de hojas



**Figura 3.26** Determinación de área foliar con fotoplanímetro

a Fotoplanímetro utilizado; b Pasaje de las hojas por el fotoplanímetro.  
Fuente: imágenes propias.



### 3.9.2 Ensayo de fertilización en maíz

El ensayo de fertilización en maíz se realizó en un lote del INTA-EEA Pergamino entre los meses de noviembre de 2014 y marzo de 2015, para ello se empleó compost de RI generado en caseta. El suelo era Argiudol típico de la serie Pergamino (clase I de capacidad de uso), se utilizó un híbrido de maíz Nidera AX 882 HCL con una densidad de 80 mil plantas/ha y surcos a 70 cm. El diseño fue DBCA con tres bloques, emplazados de forma contigua e identificados con estacas. Cada tratamiento constó de 3 surcos separados a 70 cm y 10 m de largo (21 m<sup>2</sup>/tratamiento) (Figura 3.27).



**Figura 3.27** Vista del lote con las parcelas marcadas con estacas

Fuente: imagen propia.

En la etapa V6 (Ritchie y Hanway, 1982) se esparcieron al voleo cuatro dosis de N aportado con urea y dos con compost. Las dosis de compost fueron calculadas de acuerdo con su contenido de N. En la Tabla 3.4 se detallan los tratamientos y dosis suministradas.

**Tabla 3.4** Tratamientos y dosis de nitrógeno suministrados

Tratamiento	Dosis de urea y compost (kg/ha)	
	Nitrógeno	Urea      Compost
<b>Testigo</b>	0	
<b>N25</b>	25	54
<b>N50</b>	50	109
<b>N75</b>	75	163
<b>N100</b>	100	217
<b>C50</b>	50	2083
<b>C100</b>	100	4166

N: Tratamiento con urea; C: Tratamiento con compost.

La cosecha y desgranado se realizaron de forma manual, separando cada tratamiento en bolsas de plastillera, identificadas con n° de bloque, línea de siembra y tratamiento (Figura 3.28).



**Figura 3.28** Cosecha de ensayo de fertilización en maíz

a Cosecha de las mazorcas; b Granos trillados.  
Fuente: imágenes propias.

Se evaluó el rendimiento (kg/ha), plantas por hectárea, prolificidad (espigas por plantas) y peso de mil semillas.

De cada repetición se tomaron muestras de 50 g de granos para el análisis proximal (PC, extracto etéreo (EE), fibra cruda y ceniza) y la cuantificación de aminoácidos por espectroscopía del infrarrojo cercano (conocido por sus siglas en inglés, NIRS), gentileza del laboratorio de EVONIK Argentina, empleando la ecuación de calibración `cornc7.eqa`.

Con el resto del material de cada repetición se realizó un pool para la determinación de EMV.

### **3.10 Energía Metabolizable Verdadera**

Para esta medición se empleó la técnica descrita por Sibbald (1976) empleando gallos Leghorn alojados en jaulas individuales previo ayuno alimenticio de 24 h.

Se utilizaron 4 aves (réplicas) por tratamiento dispuestas en un diseño completamente aleatorizado (Figura 3.29a). Culminado el período de ayuno, cada gallo recibió, mediante alimentación de precisión, 40 g del maíz a evaluar, previamente procesado con un molino de cuchillas planas refrigerado (HQ Analyzer MC-II). Las excretas se recolectaron por 48 h en bandejas plásticas

(Figura 3.29b) y posteriormente, se llevaron a estufa a 60 °C (DALVO Ojalvo S.A.- Santa Fe, Argentina) hasta lograr un material lo suficientemente seco que permita su molienda (aprox. 48 h), y posterior análisis en bomba calorimétrica isoperibólica Parr 1261 (Parr Instrument Company – Moline, IL, USA) (Figura 3.30) acorde a lo expresado en el método estándar (ASTM International, 1987) para determinar su energía bruta (EB). Otro grupo de 4 gallos no recibió alimento alguno, y lo excretado durante las mismas 48 h fue utilizado para estimar las pérdidas de origen endógeno.



**Figura 3.29** Determinación de energía metabolizable verdadera

a Vista general de los gallos durante el proceso de colecta de excretas; b Bandeja colectora.

Fuente: imágenes propias.



**Figura 3.30** Bomba calorimétrica isoperibólica Parr 1261

Fuente: imagen propia.

Con los datos obtenidos se calculó la EMV de la siguiente manera:

$$EMV (kcal/kg) = \frac{EBa - (EBexc - EBend)}{AC}$$

Donde:

EMV: energía metabolizable verdadera, kcal/kg;

EBa: energía bruta alimento, kcal;

EBexc: energía bruta excretas, kcal;

EBend: energía bruta endógenos, kcal;

AC: alimento consumido, kg.

### **3.11 Análisis estadístico**

Todos los resultados fueron sometidos a análisis de la varianza. Cuando el p-valor resultó menor o igual al nivel de significancia de  $\alpha=0,05$ , las diferencias se consideraron estadísticamente significativas y en los casos en que  $p \leq 0,10$  las mismas se interpretaron como tendencia. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan. A fin de realizar el análisis estadístico se utilizó el software estadístico Infostat® (Di Rienzo *et al.*, 2012).



# 4 Resultados

## 4.1 Caracterización del material de partida

### 4.1.1 Composición fisicoquímica

De las muestras tomadas y enviadas al laboratorio Consultora Suelos, se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1** Caracterización fisicoquímica del material de origen

Parámetro	Cama usada (n=2)	Pollitos (n=3)	Huevos no nacidos (n=6)	Viruta de madera (n=1)
pH	7,55±0,78	6,65±0,05	6,80±0,23	n.d.
CE (dS/m)	10,50±2,19	5,16±1,44	4,95±0,87	n.d.
MO (%)	64,50±0,71	90,23±1,25	60,82±17,56	99,00
C (%)	33,83±2,43	50,03±0,56	33,78±9,76	55,00
NT (%)	1,95±0,35	8,57±0,84	5,37±1,74	0,13
C/N	18,66±3,18	5,88±0,66	6,41±1,05	416,00

Medias±ES. pH: Potencial de hidrógeno; CE: Conductividad eléctrica; dS/m: deciSiemens por metro; MO: Materia orgánica; C: Carbono; NT: Nitrógeno Total; C/N: relación Carbono/Nitrógeno.

### 4.1.2 Caracterización microbiológica y fúngica del material de origen

#### 4.1.2.1 Huevos no nacidos, cáscaras y pollitos de descarte

Los cultivos fueron positivos a *Enterococcus* y *Escherichia coli*, tanto para las muestras provenientes de pollitos de descarte como para las de huevos (Tabla 4.2).

**Tabla 4.2** Resultados obtenidos del análisis microbiológico del material de origen

Material	Mesófilos	Coliformes	<i>Salmonella</i> sp.	Hongos
<b>Pollitos</b>	8 x 10 <sup>5</sup> UFC	<i>Enterococcus</i> sp.	Negativo	Negativo
<b>Pollitos</b>	2 x 10 <sup>6</sup> UFC	<i>E.coli</i>	Negativo	Negativo
<b>Huevos no nac.</b>	2 x 10 <sup>7</sup> UFC	<i>E.coli</i>	Negativo	Negativo
<b>Huevos no nac.</b>	1 x 10 <sup>6</sup> UFC	<i>Enterococcus</i> sp.	Negativo	Negativo

UFC: unidades formadoras de colonias.

## 4.2 Compostado de residuos de incubación en caseta con aireación estática

A continuación, se muestran los resultados de las T° registradas en las 4 casetas de este ensayo (Figuras 4.1 a 4.4).

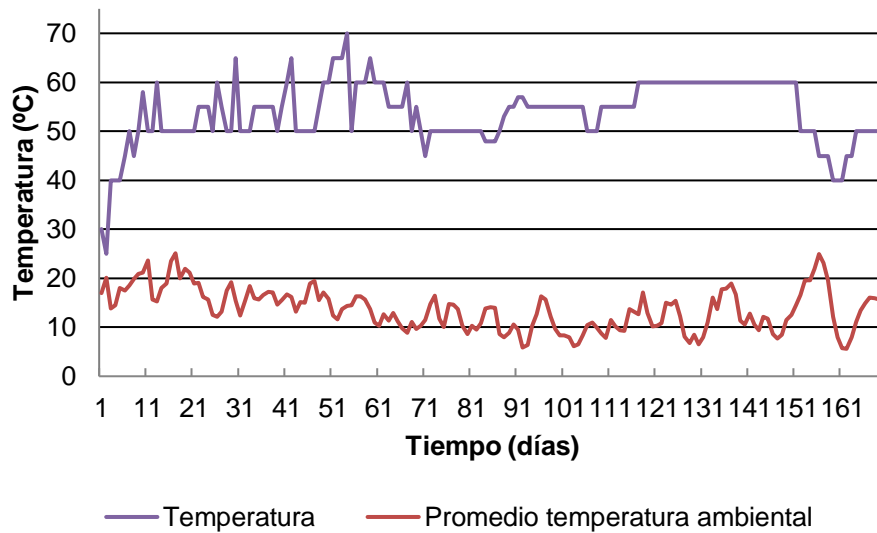


Figura 4.1 Temperaturas registradas en el Cajón 1

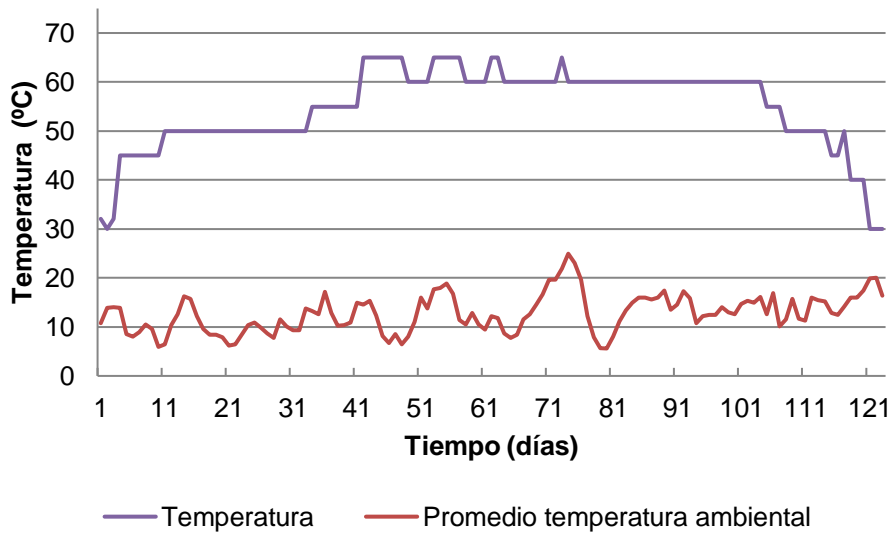
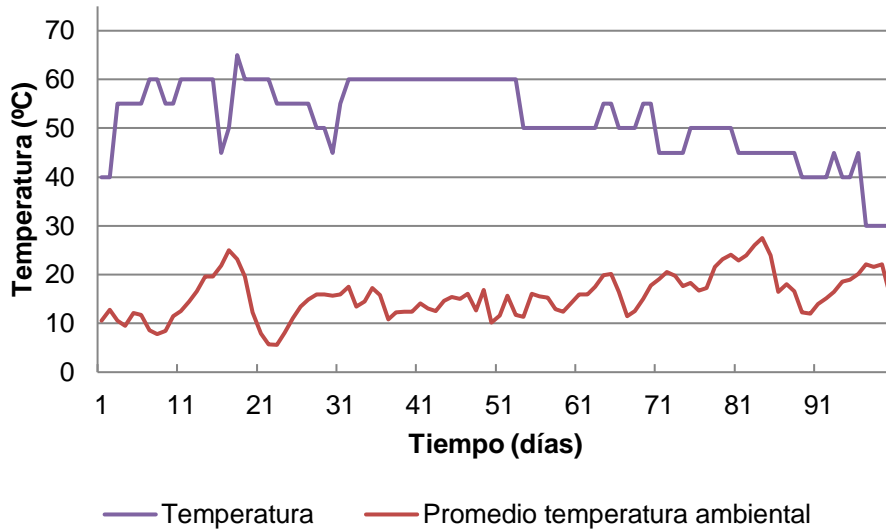
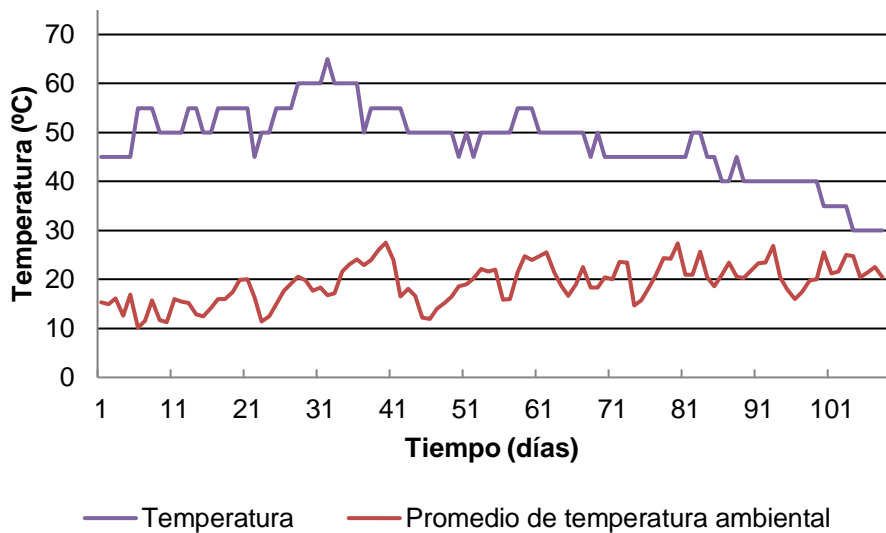


Figura 4.2 Temperaturas registradas en el Cajón 2



**Figura 4.3** Temperaturas registradas en el Cajón 3



**Figura 4.4** Temperaturas registradas en el Cajón 4

En la siguiente tabla se observan las  $T^{\circ}$  máximas alcanzadas, sus ciclos y duración en los cuatro cajones, útiles en el saneamiento del material (Tabla 4.3).

**Tabla 4.3** Temperaturas útiles en la sanitización del compost obtenido en caseta con aireación estática

Parámetro	Cajón 1	Cajón 2	Cajón 3	Cajón 4
<b>Total de días a <math>\geq 55</math> °C</b>	106	74	50	30
<b>Ciclos de días continuos a <math>\geq 55</math> °C*</b>	7(3-9-5-9-20-17-43)	1 (74)	5 (13-10-23-2-2)	6 (3-2-5-12-5-3)
<b>Temperatura máxima alcanzada (°C)</b>	70	65	65	65

\*Cantidad de ciclos; () duración de cada ciclo.

Al finalizar todos los compostajes, se tomó una muestra compuesta de los 4 cajones y los resultados se muestran en la Tabla 4.4.

**Tabla 4.4** Composición del compost obtenido en caseta con aireación estática

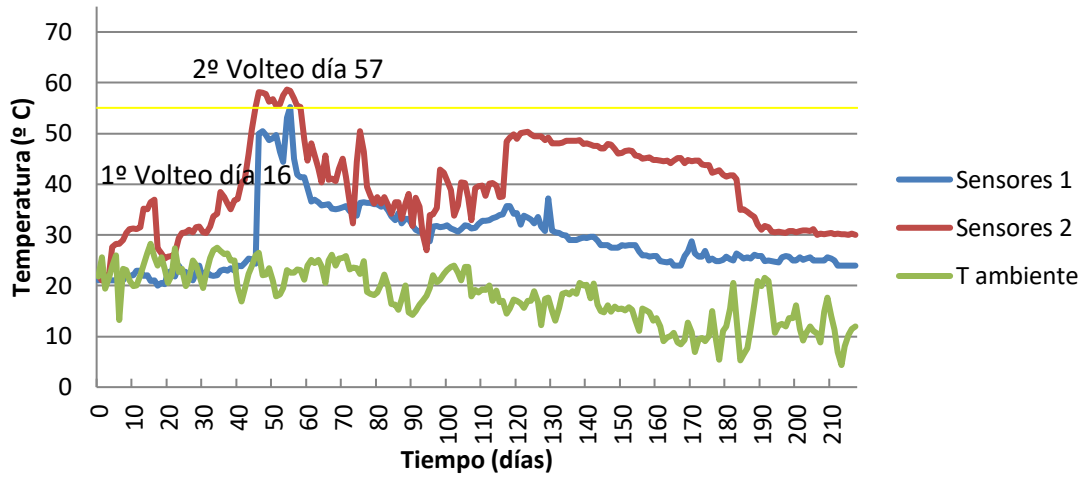
Parámetro	Compost	Ref. Clase A*
<b>pH</b>	7,6	5,0 a 8,5
<b>CE (dS/m)</b>	9,3	<4
<b>H° (%)</b>	66	<60
<b>MO (%)</b>	41	$\geq 20$
<b>NT (%)</b>	2,4	
<b>C/N</b>	9,49	$\leq 20$

pH: potencial de hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; dS/m: deciSiemens por metro; H°: Humedad; MO: Materia Orgánica; NT: Nitrógeno Total; C/N: relación Carbono/Nitrógeno.

\*Fuente: SCMA y SENASA, 2019.

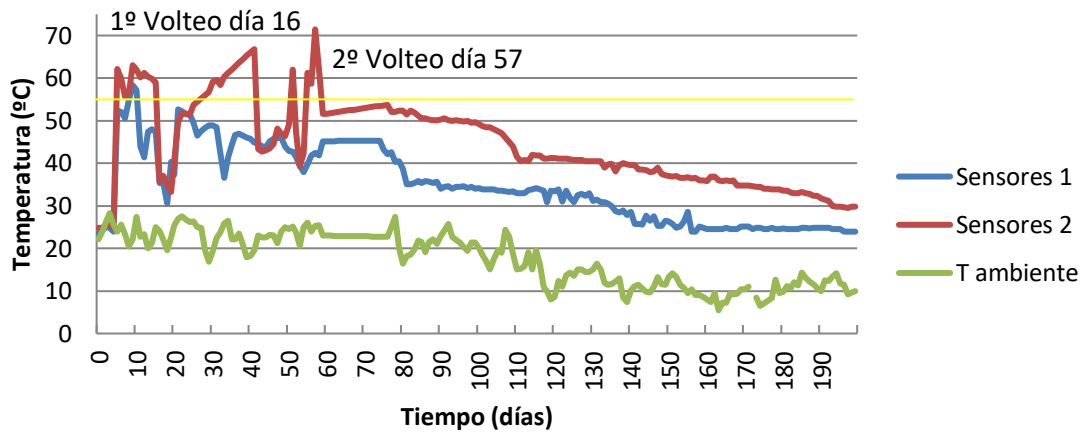
### 4.3 Compostado de residuos de incubación por apilado

En este apartado se muestran los resultados de las T° registradas en las 2 pilas realizadas y se las compara con las T° ambientales promedio (Figuras 4.5 y 4.6).



**Figura 4.5** Temperaturas registradas en Pila 1

Sensores 1: 30 cm; Sensores 2: 60 cm; T: temperatura.



**Figura 4.6** Temperaturas registradas en Pila 2

Sensores 1: 30 cm; Sensores 2: 60 cm; T: temperatura.

En la Tabla 4.5 se observan las T° alcanzadas respecto a la sanitización en ambas pilas.

**Tabla 4.5** Temperaturas útiles en la sanitización del compost obtenido de las pilas

Parámetro	Pila 1		Pila 2	
	Superf.	Prof.	Superf.	Prof.
<b>Total de días a <math>\geq 55</math> °C</b>	1	14	2	32
<b>Ciclos de días continuos a <math>\geq 55</math> °C*</b>	1(1)	1(14)	1(2)	4(11-15-2-4)
<b>Temperatura máxima alcanzada (°C)</b>	55	59	58	58

\*Cantidad de ciclos; () duración de cada ciclo; Superf.: Superficial; Prof.: Profundo.

En la Pila 1, a diferencia de la Pila 2, ocurrió un abrupto aumento de la T° en el día 116, pasando de 37 °C a 50 °C al día 123. Estas altas T° fueron descendiendo paulatinamente hasta el día 180 donde, cayeron abruptamente, para luego mantenerse constantes hasta el final del ensayo. Este fenómeno no se vio reflejado en la Pila 2.

A las pilas se les realizó un seguimiento en la etapa avanzada, donde se determinaron H°, MO, IG y RB (Tablas 4.6 y 4.7).

**Tabla 4.6** Composición del material en proceso de compostado e indicadores de estabilidad de la Pila 1

Parámetro	Días de iniciada la pila			
	141	163	182	212
<b>H° (%)</b>	39	61	60	42
<b>MO (%)</b>	40	36	31	31
<b>IG (%)</b>	79	108	80	112
<b>RB</b>	19,4	17,0	11,6	10,5

H°: Humedad; MO: Materia Orgánica; IG: índice de germinación; RB: Respiración basal en mg CO<sub>2</sub>/g MO/día.

**Tabla 4.7** Composición del material en proceso de compostado e indicadores de estabilidad de la Pila 2

Parámetro	Días de iniciada la pila			
	127	150	169	199
<b>H° (%)</b>	30	61	55	55
<b>MO (%)</b>	40	32	30	26
<b>IG (%)</b>	37	86	89	89
<b>RB</b>	n.d.	31,3	27,1	16,2

H°: Humedad; MO: Materia Orgánica; IG: índice de germinación; RB: Respiración basal en mg CO<sub>2</sub>/g MO/día; n.d.: valor no determinado por saturación de la solución de captura.

El IG fue de 37% al día 127 y a partir del 150 sobrepasó el 80%.

Una vez que se consideró finalizado el proceso en ambas pilas (disminución de las T°), éstas se mezclaron y se acopió el material resultante, el cual se caracterizó química y microbiológicamente.

**Tabla 4.8** Composición del compost obtenido de las pilas y lo establecido por la normativa nacional

Parámetro	Compost	Ref. Clase A*
<b>pH</b>	6,8	5,0 a 8,5
<b>CE (dS/m)</b>	3,4	<4
<b>H° (%)</b>	31	≤60
<b>MO (%)</b>	27	≥20
<b>Cenizas (%)</b>	73	--
<b>C/N</b>	9	≤20
<b>IG (%)</b>	80	≥60
<b>RB</b>	4,6	≤2,9

pH: potencial de hidrógeno; CE: conductividad eléctrica; dS/m: deciSiemens por metro; H°: Humedad; MO: Materia Orgánica; C/N: relación Carbono/Nitrógeno; IG: Índice de germinación; RB: Respiración basal en mg CO<sub>2</sub>/g MO/día.

\*Fuente: SCMA y SENASA, 2019.

Como se observa en la Tabla 4.8, el compost obtenido resultó cumplir con los requerimientos de Clase A, a excepción de la tasa de RB, la cual fue superior a la de la normativa (SCMA y SENASA, 2019), esto indicaría que el compost todavía no se encontraba estable.

A continuación, se observan los resultados de los análisis microbiológicos realizados (Tabla 4.9).

**Tabla 4.9** Resultados microbiológicos del compost obtenido de las pilas

Parámetro	Compost	Ref. Clase A*
<b>Mesófilos totales</b>	3,4 x 10 <sup>4</sup> UFC/g BS	-
<b>Coliformes totales</b>	40 ± 0,21 NMP/g BS	-
<b>Coliformes fecales</b>	21 ± 0,21 NMP/g BS	<1000 NMP/g BS
<b><i>Salmonella sp.</i></b>	Negativo	<1 NMP/g BS

UFC: Unidades formadoras de colonias; BS: Base seca.

\*Fuente: SCMA y SENASA, 2019.

El número de UFC/g BS de mesófilos totales resultó ser de 3,4 x 10<sup>4</sup> UFC/g BS y el NMP de coliformes fecales de 21 NMP/g MS, este último por debajo de lo exigido por la normativa nacional para un compost clase A (SCMA y SENASA, 2019).

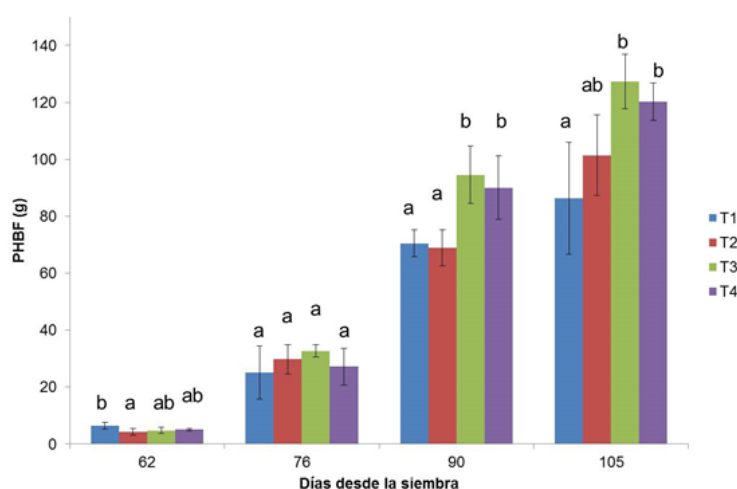


Luego de las primeras 24 h de cultivo, no se observó crecimiento de colonias compatibles con *Salmonella sp.*, por lo cual, la placa se dejó por otras 24 h. Al final de esta segunda incubación, tampoco desarrollaron colonias compatibles, por lo que el resultado fue negativo.

#### 4.4 Ensayo de fertilización en lechuga

El cultivo se comportó de manera favorable durante todo el periodo que duró la experiencia, no evidenciándose efectos de fitotoxicidad por parte del compost aplicado.

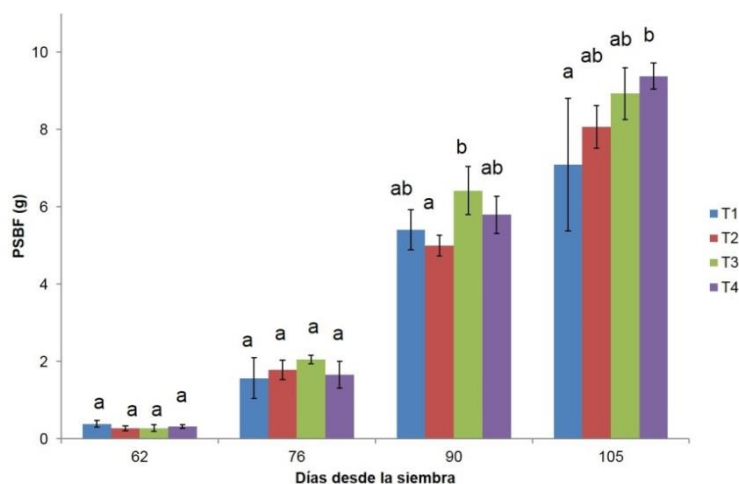
El PHBF promedio presentó un crecimiento exponencial hasta transcurridos 90 días desde la siembra en todos los tratamientos, estabilizándose a partir del día 105 días, por encontrarse en la fase final del cultivo. En las últimas dos cosechas T3 y T4 superaron a T1 presentado, a los 90 días de la siembra, 24,06 y 19,56 g más de PHBF, respectivamente y a los 105 días, 41,05 y 33,94 g más, respectivamente ( $p \leq 0,05$ , Figura 4.7).



**Figura 4.7** Peso húmedo de biomasa foliar

Dosis compost ■ T1: 0 t/ha; ■ T2: 10 t/ha; ■ T3: 30 t/ha; ■ T4: 50 t/ha.  
Columnas en un mismo grupo con distinta letra difieren estadísticamente ( $p \leq 0,05$ ).

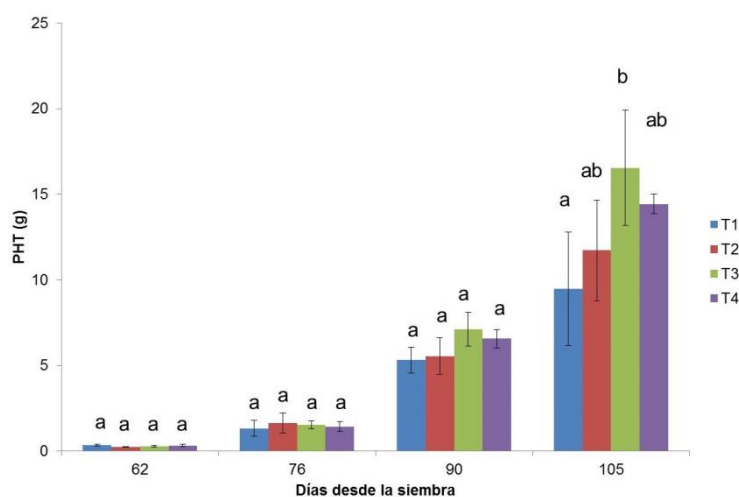
EL PSBF tuvo el mismo comportamiento que el PHBF, y a los 105 días de la siembra T4 superó a T1 en 2,29 g ( $p \leq 0,05$ ). Mientras que con T3 la diferencia respecto a T1 no llegó a ser significativa ( $p > 0,05$ , Figura 4.8).



**Figura 4.8** Peso seco de biomasa foliar

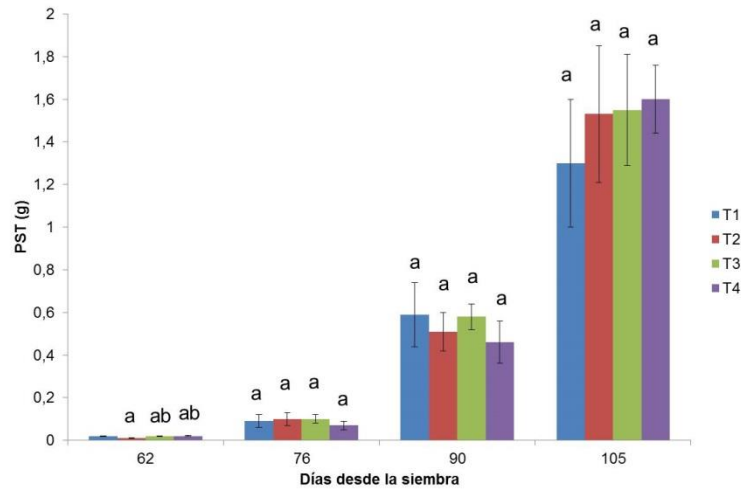
Dosis compost T1: 0 t/ha; T2: 10 t/ha; T3: 30 t/ha; T4: 50 t/ha.  
Columnas en un mismo grupo con distinta letra difieren estadísticamente ( $p \leq 0,05$ ).

En cuanto a PHT y PST presentaron un crecimiento exponencial a lo largo del ensayo en todos los tratamientos. A los 105 días de la siembra, T3 superó a T1 por 7,06 g en PHT ( $p \leq 0,05$ ; Figura 4.9), en tanto que en PST estas diferencias no resultaron ser significativas ( $p > 0,05$ , Figura 4.10).



**Figura 4.9** Peso húmedo de tallo

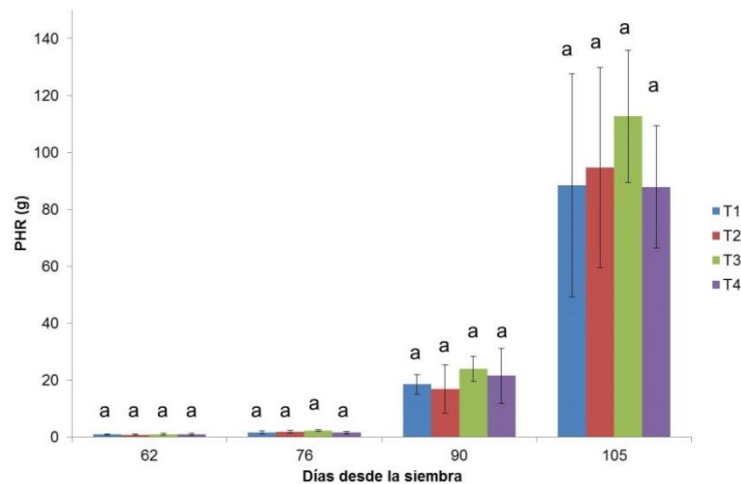
Dosis compost T1: 0 t/ha; T2: 10 t/ha; T3: 30 t/ha; T4: 50 t/ha.  
Columnas en un mismo grupo con distinta letra difieren estadísticamente ( $p \leq 0,05$ ).



**Figura 4.10** Peso seco de tallo

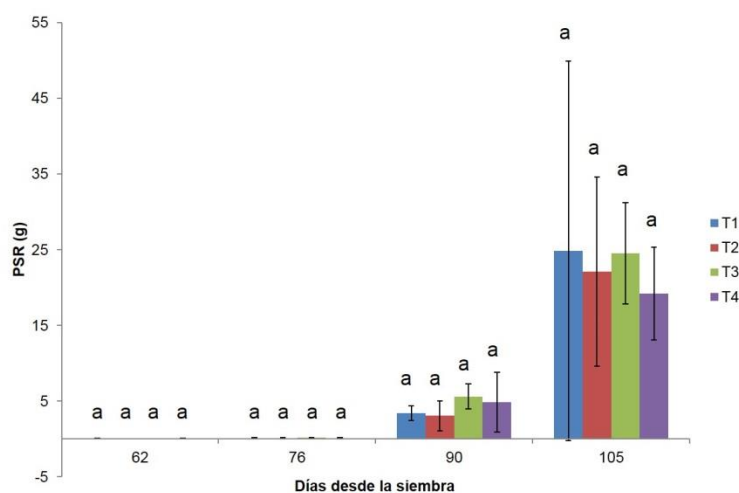
Dosis compost T1: 0 t/ha; T2: 10 t/ha; T3: 30 t/ha; T4: 50 t/ha.  
Columnas en un mismo grupo con distinta letra difieren estadísticamente ( $p \leq 0,05$ ).

Tanto PHR como PSR también presentaron un crecimiento exponencial a lo largo del ciclo del cultivo para todos los tratamientos, desarrollándose en la última etapa del cultivo, entre los 90 y 105 días, el 80% del peso final de las raíces. En cuanto al efecto de las dosis de compost, no se observaron diferencias en el desarrollo radicular ( $p > 0,05$ , Figuras 4.11 y 4.12).



**Figura 4.11** Peso húmedo de raíz

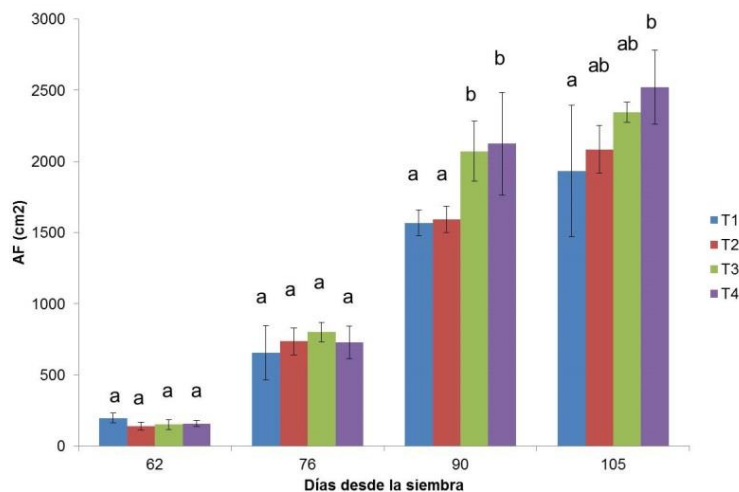
Dosis compost T1: 0 t/ha; T2: 10 t/ha; T3: 30 t/ha; T4: 50 t/ha.  
Columnas en un mismo grupo con distinta letra difieren estadísticamente ( $p \leq 0,05$ ).



**Figura 4.12** Peso seco de raíz

Dosis compost T1: 0 t/ha; T2: 10 t/ha; T3: 30 t/ha; T4: 50 t/ha.  
Columnas en un mismo grupo con distinta letra difieren estadísticamente ( $p \leq 0,05$ ).

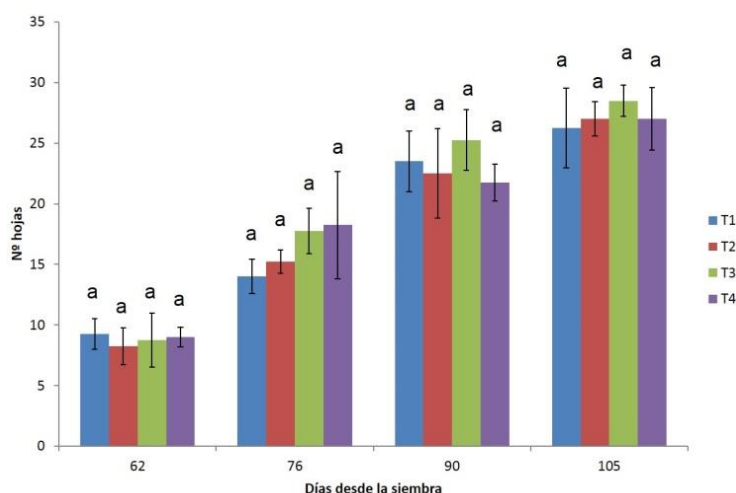
El AF presentó el mismo comportamiento que el PHBF, a los 90 días de la siembra, T3 y T4 superaron a T1 y T2 en un 25%, y a los 105 días de la siembra T4 superó a T1 en un 23% ( $p \leq 0,05$ , Figura 4.13).



**Figura 4.13** Área foliar

Dosis compost T1: 0 t/ha; T2: 10 t/ha; T3: 30 t/ha; T4: 50 t/ha.  
Columnas en un mismo grupo con distinta letra difieren estadísticamente ( $p \leq 0,05$ ).

El nº de hojas fue en aumento a lo largo del ciclo del cultivo para todos los tratamientos, sin diferencias significativas entre ellos ( $p > 0,05$ , Figura 4.14).



**Figura 4.14** Número de hojas

Dosis compost T1: 0 t/ha; T2: 10 t/ha; T3: 30 t/ha; T4: 50 t/ha.  
Columnas en un mismo grupo con distinta letra difieren estadísticamente ( $p \leq 0,05$ ).

## 4.5 Ensayo de fertilización en maíz

No se observaron diferencias en número de plantas/ha, ni en prolificidad debidas al tratamiento ( $p > 0,10$ , Tabla 4.10).

**Tabla 4.10** Parámetros productivos de maíz fertilizado con diferentes fuentes y dosis de nitrógeno

Tratamientos	Plantas/ha	Prolificidad Espig/planta	1000 sem. g*	Rendimiento Kg/ha*
<b>Testigo</b>	67949±3640	0,99±0,00	263±11 <sup>B</sup>	8195±633 <sup>C</sup>
<b>N25</b>	70513±4743	0,99±0,07	265±9 <sup>B</sup>	9903±106 <sup>ab</sup>
<b>N50</b>	68590±555	0,97±0,04	276±6 <sup>AB</sup>	9938±632 <sup>ab</sup>
<b>N75</b>	71795±4441	1,01±0,02	277±7 <sup>AB</sup>	10345±989 <sup>ab</sup>
<b>N100</b>	66987±5294	1,01±0,06	285±4 <sup>A</sup>	10816±896 <sup>a</sup>
<b>C50</b>	70192±10039	0,98±0,02	260±20 <sup>B</sup>	8667±734 <sup>C</sup>
<b>C100</b>	66346±7871	0,99±0,06	275±14 <sup>AB</sup>	9839±421 <sup>b</sup>
<b>Probabilidad</b>	0,38	0,90	0,10	<0,01
<b>CV (%)</b>	4,60	4,35	3,73	5,18

Medias ± SD con distinto superíndice difieren estadísticamente (a,b:  $p \leq 0,05$ ; A,B:  $p \leq 0,10$ ).

\* Datos estandarizados al 88% de materia seca; sem.: semillas; Espig.: Espigas.

El tratamiento N100 presentó una tendencia ( $p \leq 0,10$ ) a mayor peso de mil semillas respecto del Testigo, N25 y C50, mientras que el resto de los tratamientos no se diferenciaron del Testigo ni de N100 ( $p > 0,10$ ).

Esta tendencia positiva de la fertilización nitrogenada también se manifestó sobre el rendimiento. Los menores rendimientos se lograron con el Testigo, difiriendo significativamente de todos los tratamientos ( $p \leq 0,05$ ), excepto por el C50. En tanto que, C100 presentó mayor rendimiento que los grupos Testigo y C50, pero no alcanzó a N100 ( $p \leq 0,05$ ). Los rendimientos de los tratamientos N25 al N75 estuvieron entre los de N100 y C100, no difiriendo estadísticamente de ninguno de ellos ( $p > 0,05$ ).

No se encontraron diferencias en EMV o en la EMV/EB debidas a la fertilización nitrogenada ( $p > 0,10$ , Tabla 4.11).

**Tabla 4.11** Contenido energético y utilización de la energía de maíz fertilizado con diferentes fuentes y dosis de nitrógeno

Tratamientos	EMV	EMV/EB
	Kcal/kg*	%
<b>Testigo</b>	3542±14	91,28±0,37
<b>N25</b>	3531±41	90,48±1,06
<b>N50</b>	3510±53	90,25±1,36
<b>N75</b>	3528±78	91,08±2,00
<b>N100</b>	3571±23	91,13±0,57
<b>C50</b>	3507±37	90,08±1,94
<b>C100</b>	3532±52	91,25±1,35
<i>Probabilidad</i>	0,56	0,64
<i>CV %</i>	1,33	1,32

Medias ± SD estandarizados al 88% de materia seca (\*).  
EMV: energía metabolizable verdadera; EB: energía bruta.

Tampoco existieron diferencias en el contenido de lípidos, fibra cruda y cenizas de los granos provenientes de los tratamientos evaluados ( $p > 0,10$ , Tabla 4.12).

**Tabla 4.12** Análisis proximal de maíz fertilizado con diferentes fuentes y dosis de nitrógeno

Tratamientos	Lípidos	Fibra cruda	Cenizas	PC
	%	%	%	%
<b>Testigo</b>	4,00±0,10	2,33±0,15	1,06±0,06	6,39±0,20 <sup>BC</sup>
<b>N25</b>	3,90±0,10	2,60±0,10	1,10±0,10	6,33±0,19 <sup>BC</sup>
<b>N50</b>	4,00±0,00	2,66±0,21	1,13±0,06	6,59±0,21 <sup>AB</sup>
<b>N75</b>	3,86±0,12	2,46±0,12	1,10±0,01	6,66±0,22 <sup>AB</sup>
<b>N100</b>	3,93±0,06	2,33±0,32	1,13±0,00	6,91±0,32 <sup>A</sup>
<b>C50</b>	4,00±0,14	2,55±0,07	1,10±0,00	6,17±0,23 <sup>C</sup>
<b>C100</b>	3,96±0,12	2,50±0,10	1,10±0,00	6,46±0,38 <sup>BC</sup>
<b>Probabilidad</b>	0,35	0,18	0,80	0,09
<b>CV %</b>	2,13	6,61	6,61	4,12

Medias ± SD estandarizadas al 88% de materia seca con diferente superíndice muestran tendencia (A,B,C:  $p \leq 0,10$ ).

El contenido de PC, presentó una tendencia ( $p \leq 0,10$ ) como respuesta a la fertilización, observándose el mayor diferencial entre el tratamiento N100 respecto del Testigo (Tabla 4.12).

El contenido de metionina presente en el grano fue significativamente superior respecto del Testigo cuando se aplicó la dosis mayor de N con urea ( $p \leq 0,05$ , Tabla 4.13), mientras que Metionina+Cistina y Arginina, tendieron a mostrar un comportamiento similar ( $p \leq 0,10$ ).

**Tabla 4.13** Contenido de aminoácidos en maíz fertilizado con diferentes fuentes y dosis de nitrógeno

Tratamientos	Metionina	Met+Cis	Lisina	Arginina
	%	%	%	%
<b>Testigo</b>	0,135±0,004 <sup>bc</sup>	0,289±0,004 <sup>BC</sup>	0,209±0,005	0,309±0,008 <sup>BC</sup>
<b>N25</b>	0,134±0,002 <sup>bc</sup>	0,286±0,004 <sup>BC</sup>	0,213±0,008	0,315±0,014 <sup>ABC</sup>
<b>N50</b>	0,139±0,003 <sup>ab</sup>	0,296±0,003 <sup>AB</sup>	0,215±0,006	0,323±0,009 <sup>AB</sup>
<b>N75</b>	0,140±0,004 <sup>ab</sup>	0,299±0,010 <sup>AB</sup>	0,214±0,003	0,322±0,004 <sup>AB</sup>
<b>N100</b>	0,143±0,007 <sup>a</sup>	0,306±0,006 <sup>A</sup>	0,219±0,006	0,329±0,013 <sup>A</sup>
<b>C50</b>	0,130±0,003 <sup>c</sup>	0,281±0,004 <sup>C</sup>	0,209±0,000	0,304±0,006 <sup>C</sup>
<b>C100</b>	0,135±0,006 <sup>bc</sup>	0,290±0,007 <sup>BC</sup>	0,213±0,004	0,316±0,012 <sup>ABC</sup>
<b>Probabilidad</b>	0,05	0,07	0,19	0,07
<b>CV %</b>	3,14	3,04	2,00	2,89

Medias ± SD estandarizadas al 88% de materia seca con diferente superíndice, difieren estadísticamente (a,b:  $p \leq 0,05$ ; A,B:  $p \leq 0,10$ ).

En todos los casos el tratamiento C50 se comportó de modo semejante al Testigo, y el C100 se ubicó numéricamente entre los tratamientos N25 y N50,

no encontrándose diferencias significativas entre C100 y el resto de los tratamientos (Tabla 4.13).



# **5 Discusión**

## 5.1 Caracterización del material de partida

Los valores de pH registrados para pollitos (pH: 6,65) y para huevos no nacidos (pH: 6,80) resultaron levemente ácidos y son semejantes a los informados por Hamm y Whitehead (1982) para residuos de incubación (pH: 6,50) y se encuentran cercanos a lo notificado por Dávila Patiño (comunicación personal, 2006). Esta condición de acidez resultaría en un beneficio a la hora de su conservación hasta el momento de compostar. En su trabajo de conservación de huevos de descarte, Hamm (1974) encontró que, a medida que disminuye el pH y la T°, la conservación es mayor (menos producción de olores desagradables y mohos), permitiendo esto utilizarlos en la fabricación de alimentos animales. El pH de la CU (pH: 7,55), se asemejó al reportado por Ahamed *et al.* (2007) que fue de 7,90 y al de Sztern y Pravia (1996) que fue de 8,00. Cooperband (2002) señala que el pH ideal de los materiales de origen se debería encontrar entre 6,00 y 7,50, rango ideal para el crecimiento de los microorganismos descomponedores.

La CE para CU fue de 10,50 dS/m, valor superior al reportado por Ahamed *et al.* (2007) que fue de 7,00. De todas maneras, la composición de la CU varía de acuerdo con la categoría de animales que ha albergado, alimentación que recibieron y tiempo de uso (Dávila Patiño, comunicación personal, 2006; Ahamed *et al.*, 2007; Barbaro *et al.* 2013; Maisonnave *et al.* 2015). Respecto a CE en RI, no se encontraron datos bibliográficos.

Los porcentajes de C y NT hallados (Pollitos: C% 50,03 y NT% 8,57; Huevos no nacidos: C%: 33,78 y NT: 5,37) difieren de los publicados por Villa *et al.* (2000)(28% y 6,3%, respectivamente), aunque en su trabajo no hacen diferenciación entre los de pollitos y huevos no nacidos. En cuanto a la C/N, los valores informados y hallados son inferiores a 10 (informado: 4,40 vs. hallados: 5,88 en pollitos y 6,41 en huevos), por lo que están muy alejados del óptimo para iniciar el proceso de compostado. Para alcanzarlo, el grupo de Villa realizó una mezcla con VM (como aporte de C) y Gu como inóculo bacteriano. Por su parte, la C/N de la VM (C/N: 416) encontrada en el presente trabajo resultó dentro de lo esperado (Sztern y Pravia, 1996).

En el caso de los pollitos de descarte, se encontró una elevada concentración de MO, principalmente por la proteína (cadáveres), mientras que

los huevos no nacidos, si bien poseen la misma composición, incluyen además las cáscaras, lo que provoca una disminución de 30 puntos porcentuales (90% vs 60%, para pollitos y huevos no nacidos, respectivamente).

En cuanto al contenido de MO de la CU, se puede observar una disminución de su contenido respecto a la VM base, posiblemente causada por la alta actividad biológica bacteriana y de microfauna presente, lo que produce su descomposición durante el proceso productivo (precompostaje). Durante este periodo, el material sufrió una transformación, como se puede evidenciar además en los valores de NT y la relación C/N. El valor hallado de MO para CU (64,5%) fue superior al informado por Sztern y Pravia (1996) que fue de 41%.

Si bien no se encontraron datos para comparar sobre los hallazgos microbiológicos y fúngicos del material de partida, cabe destacar que la importancia de los resultados microbiológicos radica en que las salas de incubación comerciales reciben huevos para incubar de distintas parvadas de reproductores y, a pesar de que se aplican procedimientos de desinfección antes de introducir los huevos a las incubadoras, éstos son de acción superficial. Muchos microbios sobreviven a esta exposición o eluden estos tratamientos al estar ubicados en el interior del huevo, e incluso logran sobrevivir a la incubación sin destruir la viabilidad del huevo (Wales y Davies, 2020).

McMullin (2009) resalta que los agentes infecciosos con tal potencial incluyen bacterias como son aquellas asociadas con el entorno de las granjas, (*Pseudomona sp.*, *Proteus sp.*, *Escherichia coli*, estafilococos y enterococos), hongos como *Aspergillus fumigatus* y virus como el de Newcastle. Las Salmonelas específicas de las aves (*S. Pullorum* y *S. Gallinarum*) y los dos serotipos de relevancia para la salud humana (*S. Enteritidis* y *S. Typhimurium*) son de radical importancia, debido a sus implicancias económicas y zoonóticas. Este autor cataloga los niveles de contaminación de los distintos componentes de las salas de incubación con cruces, dando un signo “+” en aquellos casos donde encuentra 1-10 colonias de coliformes (ligeramente contaminado), hasta 3 o más signos “+” para recuentos con más de 100 colonias (muy contaminado) y sostiene que los niveles de contaminación tienden a aumentar desde el extremo inicial del circuito (huevo a incubar) hacia el final del mismo (pollitos),

posiblemente debido a la recontaminación del proceso y la falta de actividad residual de los agentes desinfectantes utilizados en las plantas.

## **5.2 Compostado de residuos de incubación en caseta con aireación estática**

Si bien las T° de todos los cajones fueron variables, se mantuvieron por encima de las T° medias ambientales, demostrando su independencia (Cooperband, 2002) y superando las necesarias para el saneamiento del material (entre 65 y 70 °C). Los ciclos de días continuos con T° ≥55 °C variaron entre 1 y 7 (SCMA y SENASA, 2019). Esta variabilidad pudo deberse a que el llenado de los cajones fue en distintas épocas del año y con distinta cantidad de sustrato añadido (Cooperband, 2002).

Un detalle a tener en cuenta fue lo engorroso del desarmado de los cajones para la obtención del compost.

### **5.2.1 Compost obtenido**

Los parámetros de calidad del compost obtenido estuvieron dentro de los indicados por la normativa nacional para un compost Clase A, a excepción de la CE, la cual presentó un valor muy elevado (SCMA y SENASA, 2019). Esto se debe al hecho de que este sistema de compostado no se regó durante el proceso, lo que pudo haber causado concentración de las sales minerales provenientes de la CU y cáscaras (Glatz *et al.*, 2011; Prabakaran y Ezhil Valavan, 2021), como consecuencia de la pérdida de H° (vapor de agua) y de la descomposición de MO (en forma de CO<sub>2</sub>) (Cooperband, 2002).

## **5.3 Compostado de residuos de incubación por apilado**

Se observó que, en ambas pilas, las T° registradas resultaron superiores a las ambientales durante todo el ensayo y fueron suficientes para sanear el material (SCMA y SENASA, 2019). El efecto del volteo fue claramente positivo, ya que se manifestaron aumentos de T° posteriores a los mismos, debido a la incorporación de aire que contribuye a acelerar el proceso microbiológico y a la incorporación del material de la superficie, aún sin compostar (Cooperband, 2002).

Si bien la masa y la relación inicial de C/N fueron similares (alrededor de 500 kg RI y 28 kg VM; C/N 25-30) en ambas pilas, la proporción de restos de RI triturados (huevos no nacidos, cáscaras y plumón) fue mayor en la pila 1 (pila 1: 65,87% vs. pila 2: 43,66%). Esta diferencia en las proporciones posiblemente causó que en la Pila 1, donde el resto de RI fue más abundante, la masa a compostar se compactara más y existiera, en consecuencia, menor altura y menos espacio con aire en el interior, lo que pudo haber ocasionado un retraso de la fase termófila, como se puede ver en la Figura 4.5, donde recién se alcanzan los 50 °C a los 50 días.

La Pila 2 resultó de mayor altura y volumen como consecuencia de la menor cantidad de restos de RI, que pudo haber ocasionado menor compactación, mayor espacio ocupado por aire, mayor intercambio de aire con el exterior y un mejor efecto chimenea en comparación con la Pila 1. Además, como se observa en la Figura 4.6, la llegada a la fase termófila fue más rápida ocurriendo ésta al 5° día y manteniéndose en esta fase durante más tiempo (100 días) que la Pila 1 (65 días).

En estos tipos de compostaje es fundamental la incorporación controlada de agua para mantener la H° en valores de 50-60%, ya que existe la pérdida de ésta por la gran superficie de la pila al aire libre y los volteos, los cuales favorecen la pérdida de calor y vapor de agua (Cooperband, 2002).

En la Pila 1, a diferencia de la Pila 2, ocurrió un abrupto aumento de la T° en el día 116, pasando de 37 °C a 50 °C al día 123, esto pudo haber ocurrido por la falta de H°, provocando que se detenga el proceso microbiológico, el cual se reactivó luego de la incorporación de agua a través del riego (Sztern y Pravia, 1996). En esta pila a los 141 días, se encontró que la H° fue del 39% (Tabla 4.6), razón por la cual fue corregida a 60% por medio de riego, con el fin de proporcionar un ambiente adecuado para que continúe el proceso de compostado.

A partir del día 190, en ambas pilas, se llegó a lo que correspondería ser la etapa final (maduración), donde las T° descendieron y se mantuvieron estables y semejantes a las ambientales. Es aquí, cuando ocurre la transformación de sustancias húmicas con degradación de aquellas que producen fitotoxicidad, y el producto se vuelve estable biológicamente, con disminución de la actividad metabólica de los microorganismos (Haug, 1993).

Como era de esperar, el porcentaje de MO fue disminuyendo con el correr del tiempo. En la pila 1, a los 141 días resultó en un 40%, y a los 212 días se encontró en un 31%, representando una disminución del 22,5% en los 70 días de seguimiento de esta última etapa. En concordancia con esta disminución, la tasa de RB también fue disminuyendo, hasta alcanzar un valor de 10,5 mg CO<sub>2</sub>/g MO/día en el día 212; no obstante, no alcanzó al valor establecido por la normativa (SCMA y SENASA, 2019), lo que indicaría que todavía poseía actividad microbiana (Acosta *et al.*, 2006). Sin embargo, el IG resultó ser mayor al 60% desde el inicio, lo que demuestra que ya en esta etapa el compost no presentaba fitotoxicidad (Sobrero *et al.*, 2004) atributo que se mantuvo hasta el final de la prueba.

En la pila 2, la MO pasó del 40% en el día 127, al 26% en el día 199, lo cual representa una disminución del 35% en los 72 días de evaluación. La tasa de RB al día 127 no pudo ser determinada, ya que la trampa alcalina se saturó, pudiendo ser calculada recién al día 150, en el cual se obtuvo un valor de 31,3 mg CO<sub>2</sub>/g MO/día. A partir de esta determinación, los valores fueron bajando, llegando a 16,2 mg CO<sub>2</sub>/g MO/día al día 199 y, al igual que con la Pila 1, no se alcanzaron los valores sugeridos por la normativa vigente (SCMA y SENASA, 2019). Aquí también, la disminución de la MO fue acompañada por un descenso en la RB, indicando que el proceso se mantenía activo (Acosta *et al.*, 2006).

### **5.3.1 Compost obtenido**

Los resultados en la composición del compost obtenido de estas pilas fueron satisfactorios. Los parámetros de pH (6,8), CE (3,4 dS/m), MO (27%), C/N (9), H (31%) e IG (80) se encontraron dentro de los establecidos por la normativa (SCMA y SENASA, 2019). La aplicación de MO biológicamente inestable en el suelo produce la competencia por oxígeno entre la biomasa microbiana y las raíces de las plantas, limitando el consumo de oxígeno por parte de estas últimas.

El valor de RB encontrado en el presente ensayo (4,6 mg CO<sub>2</sub>/g MO/día) fue superior a lo establecido por la normativa ( $\leq$ 2,9 mg CO<sub>2</sub>/g MO/día, SCMA y SENASA, 2019), e incluso mayor a lo indicado por Thompson *et al.* (2001), para un compost moderadamente estable (con valores de RB entre 2 y 4 mg

CO<sub>2</sub>/g MO/día), con lo que se garantizaría un mínimo a nulo impacto en la dinámica del C y N edáficos. En base a esto, el valor hallado indicaría que el material se encontraba con algo de actividad metabólica por parte de los microorganismos heterótrofos aerobios presentes en el proceso (Iannotti *et al.*, 1993).

En cuanto a las determinaciones microbiológicas, los resultados fueron satisfactorios. Si bien, en este caso no se pudo establecer la carga bacteriana inicial, los hallazgos de coliformes fecales (21 NMP/g MS) estuvieron dentro de lo establecido por la normativa nacional como valor límite (<1000 NMP/g MS), lo que indicaría la posibilidad de utilizarlo sin riesgo de contaminación como fertilizante vegetal. La ausencia de *Salmonella sp.*, es una condición obligatoria en granjas de reproductores (SENASA, 2002), por lo que aquí además se confirma que el material no sufrió contaminación durante el proceso de compostaje al estar al alcance de aves silvestres.

Los resultados obtenidos califican al compost como Clase A según la normativa nacional (SCMA y SENASA, 2019).

#### **5.4 Ensayo de fertilización en lechuga**

Si bien la producción de esta hortaliza ha aumentado a nivel mundial, la misma se basa en un incremento de la superficie cultivada y no en la aplicación de tecnologías desde la siembra hasta la cosecha (FAO, 2013). En Argentina, la provincia de Buenos Aires se destaca tanto en la producción a campo como bajo invernadero (con el 36 y el 87%, respectivamente) (Viteri *et al.*, 2013).

Si bien no se hallaron datos de fertilización en este cultivo con compost de RI, cabe destacar que es habitual la aplicación de residuos avícolas, comúnmente CU, como alternativa a los fertilizantes nitrogenados, en dosis que van de las 30 a las 60 t/ha (Paterlini *et al.*, 2019), y existen dudas de los efectos de esta práctica sobre la seguridad de este producto que habitualmente se consume fresco o como ensalada, debido a la propagación de patógenos transmitidos por la materia fecal (Marti *et al.*, 2013). Pizarro *et al.* (2019) demostraron la importancia de la fertilización con CU compostada vs. la no compostada, donde la CU compostada no solo no perdió su poder fertilizante, sino que se redujo el número e incidencia de patógenos presentes en el producto final. Kroupitski *et al.* (2009) demostraron la internalización mecánica

de *Salmonella enterica* en cultivos de lechuga según la iluminación y T° que recibía el cultivo. En base a esto, se pone de manifiesto la importancia de la aplicación de fertilizantes de origen natural de calidad microbiológica controlada.

A lo largo de este ensayo no hubo evidencias de fitotoxicidad a causa del compost aplicado, ya que el cultivo de lechuga se comportó de manera favorable durante todo el período.

El número de hojas fue aumentando en todos los tratamientos sin evidenciar diferencias significativas, alcanzando su máximo en la última etapa, en coincidencia a lo expresado por Tarigo *et al.* (2004).

El PHBF promedio de todos los tratamientos presentó un crecimiento exponencial hasta transcurridos 90 días desde la siembra, en coincidencia con lo publicado por Galván y Rodríguez (1999), estabilizándose hacia los 105 días transcurridos desde la siembra, por encontrarse en la fase final del cultivo (Paterlini *et al.*, 2019). El PSBF acompañó este crecimiento. En concordancia con esto, los PHT y PST también presentaron un crecimiento exponencial a lo largo del ensayo, lo cual coincide con lo expuesto por Premuzic *et al.* (1995).

El AF, principal indicador de rendimiento, presentó el mismo comportamiento que el PHBF, siendo que a los 90 días de la siembra T3 y T4 superaron a T1 y T2 en un 25% y a los 105 días de la siembra T4 superó a T1 en un 23%. Mrabet *et al.* (2012) demostraron incrementos significativos en este parámetro en suelos con aplicación de compost y Lee *et al.* (2004) además indicaron que con la adición de compost aumentó el contenido de macro y micronutrientes, que contribuyó a un mayor contenido de MO y mayor acumulación de peso fresco en lechuga.

## **5.5 Ensayo de fertilización en maíz**

Durante la campaña 2020/2021 se sembraron en Argentina 9.742.230 ha de maíz, obteniéndose una cosecha de alrededor de 60.525.805 t (MAGyP, 2021).

El maíz es uno de los cultivos con mayores demandas a nivel nutricional (básicamente N, P y K) y, si bien, la planta absorbe los nutrientes durante toda su vida, uno de los periodos más importantes radica durante la primera etapa, que abarca desde la emergencia hasta la aparición de inflorescencia femenina



(Beg, 2000). La fertilización se basa en la aplicación de fuentes de N como urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio, fosfato diamónico y todas sus combinaciones. Como fuentes de P se aplican las rocas fosfóricas, superfosfatos y fosfatos mono y diamónico. El K es suministrado en forma de cloruros, sulfatos o nitratos y sus combinaciones (Beg, 2000).

Todas estas fuentes fertilizantes son costosas y causan desequilibrio ambiental, razón por la cual ha cobrado importancia la fertilización con abonos de fuentes orgánicas, atendiendo además a la necesidad de preservar la MO en los sistemas agrícolas (Escobar Escobar *et al.*, 2013).

Si bien no se encontraron estudios sobre la fertilización en cultivo de maíz con compost de RI, existen numerosos ensayos con la aplicación de compost de distintos orígenes. Ejemplos de estos son los estudios realizados por Daza Torres (2014) con compost de residuos de flores, Escobar *et al.* (2013) con residuos de la industria cafetera, Matheus (2004) con residuos provenientes de la industria azucarera, entre otros. En todos los casos, se observó un beneficio en la producción, derivado de la aplicación de los compost sobre este cultivo. Los residuos avícolas comúnmente utilizados para este fin son la CU y el Gu (Maisonave *et al.*, 2015).

En el caso del ensayo llevado adelante en esta tesis, en general, hubo respuesta a la fertilización nitrogenada a nivel del cultivo, y se obtuvo el mayor peso de 1000 semillas y rendimiento (kg/ha) con la dosis de 100 kg/ha de N aportados con urea. No obstante, con la dosis de 100 kg/ha de N aportados con compost (C100) los resultados de peso de 1000 semillas y rendimiento (kg/ha) se ubicaron entre los tratamientos con 50 y 75 kg/ha de N aportados con urea (N50 y N75, respectivamente). Esto coincide con lo expresado por Bande *et al.* (2009), los cuales estudiaron la eficiencia de la aplicación de CU deshidratada en maíz forrajero, donde los resultados obtenidos mostraron que es posible obtener los mismos niveles de producción, calidad nutritiva y digestibilidad de maíz que con los abonados con fertilizantes inorgánicos. Por otra parte, en el presente ensayo, no se observaron diferencias en plantas sobrevivientes por hectárea, ni en prolificidad debidas a fuente y/o dosis de fertilizante.

En la calidad del grano, si bien los niveles de PC fueron superiores en N100, los alcanzados por C100 fueron semejantes a los de N75, lo que denota

su equivalencia en este cultivo. Lo mismo ocurrió en el caso de los aminoácidos estudiados (metionina, metionina+cistina, arginina).

No hubo diferencias entre tratamientos en el contenido de EMV, ni en la utilización de la EB (EMV/EB), aun cuando hubo mejoras en el rendimiento. Este no es un punto menor, dado que, aumentaría el rendimiento en kilocalorías producidas por hectárea.

# 6 Conclusiones

## **6.1 Caracterización de los residuos a compostar**

Resultó sumamente dificultoso el procesamiento para la caracterización de los RI debido a la heterogeneidad que presentan, su manipulación, procesamiento y conservación.

Los valores obtenidos en la caracterización de los RI mostraron que para ser compostados es necesario balancear adecuadamente la relación C/N, dado que los mismos poseen una relación extremadamente baja. Por otro lado, los niveles de C en VM resultaron ser más apropiados como cosustrato en el proceso de compostado de RI que la CU.

## **6.2 Ensayo de compostado de residuos de incubación en caseta con aireación estática**

Para la implementación de este tipo de compostado es necesaria una inversión importante en las instalaciones, aunque mucho menor en comparación con sistemas de incineración con tratamiento de gases o autoclave.

Si bien, éste sería un buen método de compostado, en función de las dimensiones de las instalaciones probadas, es aplicable a pequeñas salas de incubación debido a la baja capacidad en kg por cajón.

En todos los casos se alcanzaron las T° necesarias para el saneamiento del material, siendo las mismas independientes y superiores a las ambientales gracias a la actividad microbiana.

Los resultados de los análisis químicos y físicos que se realizaron al compost obtenido estuvieron dentro de los parámetros de calidad que lo encuadra en Clase A según la normativa nacional (resolución conjunta 1/2019, SCMA y SENASA), a excepción de la CE.

Si bien se utilizó CU en esta experiencia por su disponibilidad, la cantidad de C aportada por ésta fue menor a la requerida por el proceso de compostado (20-30/1), lo que derivó en largos tiempos de tratamiento. Debido a esto sería recomendable realizar futuras experiencias con otros tipos de sustratos que presenten una mejor relación C/N y cuyo C sea más disponible. A su vez, sería importante incorporar el riego a los cajones, a los efectos de mejorar la H° en todos los estratos y garantizar el desarrollo microbiano.

### **6.3 Ensayo de compostado de residuos de incubación en pilas a cielo abierto y con volteo manual**

Las T° registradas y los ciclos en los que las mismas se presentaron son las necesarias para realizar el saneamiento del material, siendo independientes y superiores a las T° ambientales. Luego de cada volteo, las T° disminuyeron para luego aumentar.

Desde el inicio del seguimiento, la Pila 1 mostró ausencia de fitotoxicidad (IG >60%), mientras que en la Pila 2, el IG superó el 60% a partir de los 150 días de iniciada la pila.

La producción de CO<sub>2</sub> tuvo un comportamiento decreciente a lo largo del seguimiento de ambas pilas, habiéndose registrado en el último muestreo 4,6 mg CO<sub>2</sub>/g MO/día, sobrepasando el indicado en la normativa nacional para un compost Clase A. Sin embargo, no se observaron problemas ocasionados por esto en el ensayo de fertilización en lechuga.

La relación C/N alcanzada en el último muestreo indica que este compost puede ser agregado al suelo sin alterar su equilibrio microbiológico. En el material obtenido al final del proceso era visibles las cáscaras de huevo, pero el resto del material poseía aspecto, color y olor a tierra.

Basándonos en el IG se podría decir que son necesarios al menos 4 meses para alcanzar la maduración de este material.

Los valores microbiológicos y fisicoquímicos encontrados, determinan que el compost obtenido por este método es apto para su aplicación en el suelo.

A pesar de no haber alcanzado los valores de estabilidad establecidos en la normativa actual, el compost resultó apto para uso agronómico como fertilizante orgánico.

### **6.4 Ensayo de fertilización en lechuga**

Se lograron diferencias significativas en el rendimiento con dosis de compost de 30 y 50 t/ha, respecto del testigo sin compost.

El compostaje es un tratamiento viable para este tipo de residuos pudiéndose obtener un producto con valor agregado como fertilizante orgánico.

Sería apropiado realizar ensayos con sustratos inertes (que no aporten nutrientes al cultivo) para una mayor expresión del aporte de nutrientes realizado por este tipo de compost.

## **6.5 Ensayo de fertilización en maíz**

La fertilización en maíz con compost de RI resultaría ser una alternativa viable y económica. Queda planteado establecer el momento óptimo para la aplicación del mismo al cultivo, ya que la incorporación de los nutrientes en la etapa V6 y las dosis empleadas en base al N aportado, no fueron suficientes para alcanzar los rindes obtenidos con la aplicación mayor de urea (equivalente a 100 kg de N/ha) pero fueron superiores al tratamiento testigo y no se diferenciaron de los de 25, 50 y 75 kg de N/ha aportados a través de la urea.

No existieron diferencias significativas entre los valores obtenidos de EMV/EB ni de lípidos, fibra cruda y cenizas en los granos de maíz. El contenido de PC, metionina+cistina y arginina presentaron una tendencia respecto de la cantidad de N proporcionada.

# **7 Bibliografía**

- Abiola SS, Radebe NE, Westhuizen CvD, Umesiobi DO. 2012. Whole hatchery waste meal as alternative protein and calcium sources in broiler diets. *Archivos de zootecnia* 61(234): 229-234.
- Acosta Y, Cayama J, Gómez E, Reyes N, Rojas D, García H. 2006. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias*, 6(3): 220-227.
- Ahmed M, Idris A, Omar SS. 2007. Physicochemical characterization of compost of the industrial tannery sludge. *Journal of Engineering Science and Technology*, 2(1): 81-94.
- Alders R. 2005. Historia de la producción avícola doméstica. En: Producción Avícola por Beneficio y por Placer. Dirección de Sistemas de Apoyo a la Agricultura, Food and Agriculture Organization (FAO), Roma, Italia. On line: <https://www.fao.org/3/y5114s/y5114s04.htm>. Acceso: 29-may-2017.
- Alegre M, Kaufmann II, Llorente RT, Ferrere P, Butti M, Messa JC, Contreras CI. 2018. Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa: metodología WISDOM Provincia de Buenos Aires. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. *Colección Documentos Técnicos* Nro. 10. 106 pp.
- Andrade F, Cirilo A, Uhart S, Otegui M. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. La Barrosa (ed.) Dekalb Press, INTA, FCA-UNMP, Balcarce, Argentina.
- Arbiza H. 2005. *Manejo de aves muertas. Compost*. Asociación de Médicos Veterinarios de Entre Ríos (AMEVEA), Entre Ríos, Argentina. 21 pp.
- ASTM International. 1987. Standard D 2015-85. Standard test method for gross calorific value of coal and coke by the adiabatic bomb calorimeter. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Athar M, Saima M, Makhdoom A, Abdul W, Saima S. 2015. Effect of Different Processing Techniques on Protein Quality of Hatchery Waste Meals. *Pakistan Journal of Zoology*, 47(5): 1319:1324.



- Bande M, López-Mosquera M, Sainz M. 2009. Producción y calidad nutricional del cultivo de maíz forrajero abonado con estiércol deshidratado de pollo. En: *La Multifuncionalidad de los Pastos: Producción Ganadera Sostenible y Gestión de los Ecosistemas*, Reiné R, Barrantes O, Broca A, Ferrer C (Eds.). Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Pp. 221-227.
- Barbaro LA, Karlanian M, Mata DA. 2018. *Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los Sustratos para Plantas*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. 12 pp.
- Barbaro LA, Karlanian MA, Morisigue DE, Rizzo PF, Riera NI, Della Torre VV, Crespo DE. 2011. Compost de ave de corral como componente de sustratos. *Revista Ciencia del Suelo*, 29(1): 83-90.
- Barbaro LA, Karlanian MA, Rizzo PF, Riera NI, Della Torre VV, Beltrán M, Crespo DE. 2013. Compost de guano de gallina en la composición de sustratos para la producción de plantines florales. *AgriScientia*, 30(1): 25-35.
- Barrena Gómez, R., Vazques Lima, F., Sánchez Ferrer, A. 2006. The use of respiration indices in the composting process: a review. *Waste Management & Research* (24), 37-47.
- Beg DM. 2000. Fertilización del cultivo maíz. *Fonaiap Divulga*, 66: 27-29
- Berge AC and Glanville TD. 2011. Composting of animal carcasses. A safe and environmentally sound approach to take care of animal mortalities. On line: <https://en.engormix.com/poultry-industry/articles/composting-of-animal-carcasses-t34794.htm>. Acceso: 1-nov-2021.
- Berge ACB, Glanville TD, Millner PD, Klingborg DJ. 2009. Methods and microbial risks associated with composting of animal carcasses in the United States. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 234(1): 47-56.

- Bernal MP, Paredes C, Sánchez-Monedero MA, Cegarra J. 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*, 63(1): 91-99.
- Bernigaud IIC y Gange JM. 2016. *Informe Técnico n°2: Tratamiento de la cama de pollo mediante apilado: evaluación en granja comercial*. INTA-EEA Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina. 9 pp.
- Bernigaud IIC, Almada N, Gange J. 2017. *Compostaje de aves muertas en granjas de parrilleros*. INTA-EEA Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina. 8 pp.
- Bertsch Hernández F. 2003. Abonos orgánicos. Manejo de la fracción orgánica y de los aspectos biológicos del suelo. En: *Fertilizantes, Características y Manejo*, Meléndez G y Molina E (Eds.). Centro de Investigaciones Agronómicas. Universidad de Costa Rica. Pp 112-130.
- Bidlingmaier W. 1996. Odour emissions from composting plants. In: *The Science of Composting*, de Bertoldi M, Sequi P, Lemmes B, Papi T (eds.). Springer, Netherlands. Pp. 71-80.
- CAPIA, Cámara Argentina de Productores Avícolas. 2021. Estadísticas anuales. Disponible: <https://www.capia.com.ar/estadisticas/precio-del-huevo-anual>. Acceso: 10-feb-2021.
- Carvajal-Muñoz JS y Mera Benavides AC. 2010. Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + Limpia*, 5(2): 77-96.
- Castelló Llobet J. 2009. *Bioseguridad en Avicultura*. 1º ed. Real escuela de avicultura, Barcelona, España. 425 pp.
- CEPA, Centro de Empresas Procesadoras Avícolas. s/f. Evolución de la Avicultura. On Line: <https://aviculturaargentina.com.ar/evolucion-de-la-avicultura/>. Acceso: 2-may-2017.

- Chanyasak V and Kubota H. 1981. Carbon/organic nitrogen ratio in water extract as measure of composting degradation. *Journal of fermentation technology*, 59(3): 215-219.
- Chávez Porras A y Rodríguez González A. 2016. Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia y Virtualidad*, 9(2): 90-107.
- Chiu W and Wei HW. 2011. Optimization of the thermal conditions for processing hatchery waste eggs as meal for feed. *Poultry Science*, 90(5): 1080-1087.
- Cobb-Vantress. 2020. *Cobb Hatchery Management Guide*. [www.cobb-vantress.com](http://www.cobb-vantress.com). 87 pp.
- Cooperband L. 2002. *The art and Science of Composting. A resource for farmers and compost producers*. Center for Integrated Agricultural Systems. 17 pp.
- Das KC, Minkara M, Melear N, Tollner EW. 2002. Effect of poultry litter amendment on hatchery waste composting. *The Journal of Applied Poultry Research*, 11(3): 282-290.
- Daza Torres MC. 2014. Aplicación de compost de residuos en suelos ácidos cultivados con maíz (*Zea mays*). *Revista Ciencia Tecnológica Agraria*, 23(3): 22-30.
- Deshmukh AC and Patterson PH. 1997. Preservation of hatchery waste by lactic acid fermentation. 2. Large-scale fermentation and feeding trial to evaluate feeding value. *Poultry Science*, 76(9): 1220-1226.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzales, L., Tablada, M., y Robledo, C. 2012. InfoStat [software estadístico]. Córdoba, Córdoba, Argentina.

- Escobar Escobar N, Mora Delgado J, Romero Jola N. 2013. Respuesta agronómica de *Zea mays* L. y *Phaseolus vulgaris* L. a la fertilización con compost. *Revista Luna Azul* 37: 18-29.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. "Agricultural Data," <http://faostat3.fao.org/>.
- Galván G y Rodríguez J. 1999. Cultivos de Hoja. *Lechuga generalidades y ecofisiología*. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. 19 pp.
- Glatz PC, Miao Z, Rodda B. 2011. Handling and treatment of poultry hatchery waste: A review. *Sustainability*, 3(1): 216-237.
- Godoy MRB. 2012. Consideraciones sobre riesgos de los residuos pecuarios en los sistemas ambientales. *Revista Geonorte*, 3(4): 578-590.
- Goyal S, Ghull SK, Kapoor KK. 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*, 96:1584-1591.
- Hamm D and Whitehead WK. 1982. Holding techniques for hatchery wastes. *Poultry Science*, 61(6): 1025-1028.
- Hamm D. 1974. Storage and utilization of waste egg meats from egg grading plants. *Poultry Science*, 53(4): 1548-1554.
- Haug RT. 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA. 752 pp.
- Herrero MA y Gil SB. 2008. Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. *Ecología Austral*, 18: 273-289.
- Iannotti DA, Pang T, Toth BL, Elwell DL, Keener HM, Hoitink HAJ. 1993. A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. *Compost Science & Utilization*, 1(3): 52-65.

- ICMSF. 2000. Microorganismos de los alimentos 1. Su significado y métodos de enumeración. Segunda edición. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 462 pp.
- Iglesias BF, Ferraguti FJ, Azcona JO, Charrière MV, Schang MJ. 2014. Effect of nitrogen and sulfur fertilization of corn on grain nutrient composition. *Poultry Science* 93(E-Suppl. 1): 148.
- Iglesias Jiménez E. 2014. Aspecto físico-químicos, bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje. Evaluación de la calidad. Unidad temática 4, Instituto Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca, (IRNASA-CSIC), Universitas Miguel Hernández, Salamanca, España. 30 pp.
- Jaramillo Henao G, Zapata Márquez LM. 2008. *Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia*. [Tesis de especialización]. Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Colombia. 115 pp.
- Jarvis B, Wilrich C, Wilrich P-T. 2010. Reconsideration of the derivation of Most Probable Numbers, their standard deviations, confidence bounds and rarity values. *Journal Applied Microbiology*, 109(5)1660-1667.
- Kiehl EJ. 1998. *Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto*. Degaspari, Piracicaba, SP, Brasil. 171 pp.
- Kollvik. s/f. Composting – Industrial plants and special applications. Kollvik – Advance Composting Solutions. On line: <http://www.kollvik.com/products/>. Acceso: 20-nov-2021.
- Kroupitski D, Golberg D, Belausov E, Pinto R, Swartzberg D, Granot D, Sela S. 2009. Internalization of *Salmonella enterica* in leaves is induced by light and involves chemotaxis and penetration through open stomata. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(19): 6076-6086.
- Lamelas K, Mair G, Oliva E, Vidal R. 2021. *Índice del Costo de la Producción de Pollos Parrilleros Sistema Integrado*.

- Lee JJ, Park RD, Kim YW, Kim TH, Kim KY. 2004. Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth. *Bioresource Technology*, 93(1): 21-28.
- Lombrices de California. 2015. Determinación de humedad. Disponible: <http://lombricesdecalfornia.com/blog/medir-la-humedad-del-suelo-al-tacto/>. Acceso: 7-dic-2020.
- Macgregor ST, Miller FC, Psarianos KM, Finstein MS. 1981. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature. *Applied and environmental microbiology*, 41(6): 1321-1330.
- Mair G, Oliva E, Beczkowski G. 2021. *Anuario Avícola 2020*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires, Argentina. Año XXV, N° 83. 24 pp.
- Maisonave R, Lamelas K, Mair G. 2015. *Buenas Prácticas de Manejo y Utilización de Cama de Pollo y Guano. Dirección de Porcinos, Aves de Granja y No Tradicionales*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Ministerio de Agroindustria, Buenos Aires, Argentina. 42 pp.
- Manios VI, Tsikalas PE, Siminis HI, Verdonck O. 1989. Phytotoxicity of olive tree leaf compost in relation to the organic acid concentration. *Biological Waste*, 27(4): 307-317.
- Manso KRdeJ y Ferreira OM. 2007. *Confinamento de bovinos: estudo do gerenciamento dos resíduos*. Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental Universidade, Católica de Goiânia, Goiânia, GO, Brasil. 19 pp.
- Marti R, Scott A, Tien YC, Murray R, Sabourin L, Zhang Y, Topp E. 2013. Impact of manure fertilization on the abundance of antibiotic-resistant bacteria and frequency of detection of antibiotic resistance genes in soil and on vegetables at harvest. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(18): 5701-5709.

- Matheus JE. 2004. Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) *Bioagro*, 16(3): 219-224.
- Mazzarino MJ y Satti P. 2011. *Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso*. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. 348 pp.
- McMullin PF. 2009. Hygiene and microbiological control in hatcheries. *Avian Biology Research*, 2(1-2): 93-97.
- Miller BF. 1984. Extruding hatchery waste. *Poultry Science*, 63(6): 1284-1286.
- MAGyP, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2021. *Estimaciones agrícolas*. On line: <https://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>. Acceso: 18-dic-2021.
- Mrabet L, Belghuyt A, Loukili A, Atarassi B. 2012. Effect of household waste compost on the productivity of maize and lettuce. *Agricultural Science Research Journal*, 2: 462- 469.
- Mustin M. 1987. *Le Compost. Gestion de la Matière Organique*. Editions François Dubusc, Paris, France. 954 pp.
- Negro MJ, Villa F, Aibar J, Alarcón R, Ciria P, Cristóbal MV y otros. 2000. Producción y gestión del compost. *Revista Digital CSIC*, España. 31 pp.
- Ozores-Hampton M. 2010. *Guía para la utilización exitosa del compost en la producción de hortalizas*. Horticultural Sciences, Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. 5 pp.
- Paolilli MC, Iglesias BF, Cabreini SM, Fillat FA, Pagliaricci LO. 2021. La cadena de carne aviar en Argentina. On line: <https://inta.gob.ar/documentos/la-cadena-de-carne-aviar-en-argentina>. Acceso: 25-nov-2021.
- Paredes C, Roig A, Bernal MP, Sánchez-Monedero, MA, Cegarra J. 2000. Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill

wastewater with solid organic wastes. *Biology and Fertility of Soils*, 32: 222-227.

Paterlini H, González MV, Picone LI. 2017. Calidad de la cama de pollo fresca y compostada. *Ciencia del suelo*, 35(1): 69-78.

Paterlini H, González MV, Picone LI. 2019. Producción de lechuga en un suelo con aplicación de compost de cama de pollo. *Ciencia del suelo*, 37(1): 38-50.

Pizarro MD, Céccoli G, Muñoz FF, Frizzo LS, Daurelio LD, Bouzo C A. 2019. Use of raw and composted poultry litter in lettuce produced under field conditions: microbiological quality and safety assessment. *Poultry Science*, 98(6): 2608-2614.

Prabakaran R and Ezhil Valavan S. 2021. Wealth from poultry waste: an overview, *World's Poultry Science Journal*, 77(2): 389-401.

Premuzic Z, de los Ríos AM, Clozza MN, Miniño HJL, Vilella F, Frabrizio de Iorio AR. 1995. Absorción y Distribución de Macronutrientes en Lechuga. *Horticultura Argentina*, 14(37): 68-73.

Prida J. 2021. La pandemia frustró un 2020 prometedor para el sector avícola: a pesar de un aumento en el consumo y la producción, cayeron las exportaciones. *Infobae*, 1 de enero. On line: <https://www.infobae.com/campo/2021/01/01/la-pandemia-frustro-un-2020-prometedor-para-el-sector-avicola-a- pesar-de-un-aumento-en-el-consumo-y-la-produccion-cayeron-las-exportaciones/>. Acceso: 10-jun-2021.

Qiu S, McComb AJ, Bell RW. 2008. Ratios of C, N and P in soil water direct microbial immobilization-mineralisation and N availability in nutrient amended sandy soils in southwestern Australia. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 127(1-2): 93-99.

Ramírez H. 2005. Producción sostenible de hortalizas. En: *Curso-Taller Introductorio Producción Sostenible de Hortalizas*. Posgrado en



Agronomía. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Lara, Venezuela. 51 pp.

Ramoa MV. 2013. Producción de plantines. *Voces y Ecos*, 30: 53-55.

RENAVI, Registro Nacional de Multiplicadores e Incubadores Avícolas. 2021. On line: <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/aves/renavi/>. Acceso: 10-ago-2021.

Riera NI, Della Torre VV, Rizzo PF, Butti M, Bressan FM, Zarate N, Weigandt C, Crespo DE. 2014. Evaluación del proceso de compostaje de dos mezclas de residuos avícolas. *Revista FCA UNCUYO*, 46(1): 195-203.

Ritchie SW and Hanway JJ. 1982. How a Plant Crop Develops. Special Report n° 48. Cooperative Extension Service, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, USA.

Rivera-Cruz MC, Trujillo Narcía A, Córdova Ballona G, Kohler J, Caravaca F, Roldán A. 2008. Poultry manure and banana waste are effective biofertilizer carriers for promoting plant growth and soil sustainability in banana crops. 2008. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(12): 3092-3095.

Rodríguez Romero AJ, Robles Salazar CA, Ruíz Picos RA, López López E, Sedeño Díaz JE, Rodríguez Dorantes A. 2014. Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitorio de la calidad del agua del río Chalma. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(3): 307-316.

Rojas Alvarado CM, Orellana R, Sotomayor FE, Varnero MT. 2005. Fitotoxicidad de extractos de residuos orgánicos y su efecto sobre el índice de germinación de rabanito y pepino. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 5(2), 61-66.

SCMA, Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental y SENASA, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. 2019. Resolución conjunta 1/2019. *Marco normativo para la producción, registro y aplicación de*

compost. On line: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resolucion-1-2019-318692/texto>.

SENASA, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. 2016. *Guía de Sanidad Animal para la Agricultura Familiar*. Módulo 2: Aves. Coordinación de Agricultura Familiar, SENASA, Buenos Aires, Argentina. 29 pp.

SENASA, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. 2015. Granjas Avícolas. On line: [http://www.senasa.gob.ar/prensa/DNSA/Control\\_Gestion\\_y\\_Programas\\_Especiales/Indicadores\\_ganaderos/6\\_Indicadores\\_Avicolas/Avicolas.html](http://www.senasa.gob.ar/prensa/DNSA/Control_Gestion_y_Programas_Especiales/Indicadores_ganaderos/6_Indicadores_Avicolas/Avicolas.html). Acceso: 15-may-2020.

SENASA, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. 2010. Resolución 542/2010. *Requisitos de instalaciones, bioseguridad, higiene y manejo sanitario, para el registro y la habilitación sanitaria de establecimientos avícolas de producción comercial*. On line: <http://www.senasa.gob.ar/normativas/resolucion-5422010>.

SENASA, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. 2013. Resolución 106/2013. *Modificación de la resolución 542/2010*. On line: <http://www.senasa.gob.ar/normativas/resolucion-106-2013-senasa-servicio-nacional-de-sanidad-y-calidad-agroalimentaria>.

SENASA, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Resolución 1699/2019. *Habilitación de establecimientos avícolas de producción comercial. Requisitos de bioseguridad, higiene y manejo sanitario*. Disponible: [http://www.senasa.gob.ar/sites/default/files/r\\_senasa\\_1699-2019.pdf](http://www.senasa.gob.ar/sites/default/files/r_senasa_1699-2019.pdf).

SENASA, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. 2002. Resolución 882/02. *Programa de control de las micoplasmosis y salmonelosis de las aves y prevención y vigilancia de enfermedades exóticas y de alto riesgo en planteles de reproducción*. On line: [http://www.senasa.gob.ar/sites/default/files/normativas/archivos/resolucion-882\\_2002.pdf](http://www.senasa.gob.ar/sites/default/files/normativas/archivos/resolucion-882_2002.pdf).

- Sibbald I. 1976. A bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs. *Poultry Science*, 55(1): 303-308.
- Sobrero M y Ronco A. 2004. Ensayo de toxicidad aguda en semillas de lechuga (*Lactuca sativa*). En: *Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas. Estandarización, Intercalibración, Resultados Y Aplicaciones*. Morales GC (Ed.). Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Ottawa, ON, Canada. Pp 71-79.
- Soliva M y López M. 2004. Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. En: *Curso Formación de Técnicos para el Tratamiento y Gestión de Lodos de Depuradora*. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña. Valsaín, España. 20 pp.
- Soto MG. 2003. Abonos orgánicos: Definiciones y procesos. En: *Abonos Orgánicos: Principios, Aplicaciones e Impactos en la Agricultura*, Meléndez G (Ed.). San José, Costa Rica. Pp. 20-49.
- Swan JE. 1992. Animal by-product processing. In: *Encyclopedia of Food Science and Technology*, Hui YH (ed). Wiley, New York, USA. Pp 42-49.
- Sztern D y Pravia M. 1996. Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos. Oficina de planeamiento y presupuesto, Unidad de desarrollo municipal, Uruguay. Organización panamericana de la salud. 69 pp.
- Tacon AGJ. 1992. Utilization of chick hatchery waste: the nutritional characteristics of day-old chicks and egg shells. *Agricultural Wastes*, 4(5): 335-343.
- Tam N y Tiquia S. 1994. Assessing toxicity of spent pig litter using a seed germination technique. *Resources, Conservation and Recycling*, 11(1-4): 261-274.
- Tarigo A, Repetto C, Acosta D. 2004. Evaluación agronómica de biofertilizantes en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) a campo. Tesis de grado.

Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica, Montevideo, Uruguay. 169 pp.

Tchobanoglous G, Vigil S, Theisen H. 1994. Gestión integral de residuos sólidos. Vol 1. McGraw-Hill Interamericana, Madrid, España. 107 pp.

Tesei, P. 2018. Breve historia de la avicultura argentina. On line: <https://es.linkedin.com/pulse/breve-historia-de-la-avicultura-argentina-pablo-tesei>. Acceso: 14-may-2021.

Thompson WH, Leege PB, Mellner PD, Watson ME. 2001. Test Methods for the Examination of Composting and Compost (TMECC). First Edition. The US Composting Council Research and Education Foundation, The United State Department of Agriculture, USA.

Tiquia SM. 2005. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. *Journal of Applied Microbiology*, 99(4): 816-828.

Torrentó, MS. 2001. Compostatge i gestió de residus orgànics. Diputació de Barcelona. Xarxa de Municipis. Àrea de Medi Ambient. Barcelona, España. 112 pp

Van Depopulierre J, Kanungo HK, Walton H, Cotterill J. 1977. Broiler and egg type chick hatchery by product meal evaluated as laying hen feedstuffs. *Poultry Science*, 56(4): 1140:1144

Varnero MMT, Rojas AC, Orellana RR. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 7(1): 28-37.

Vigliola MI. 2007. *Manual de horticultura*. 1ra edición. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 264 pp.

Villa G, Maya C, Acevedo L, Moreno M, Acevedo M, Wolff M, Morales G, Peláez C. 2000. Los residuos orgánicos de las plantas de incubación como materia prima en el proceso de compostación. *Revista Avicultores*, 71:30-33.

- Viteri ML, Ghezán G, Iglesias D. 2013. Tomate y lechuga: importancia productiva y comercial. *Estudios Socioeconómicos de los Sistemas Agroalimentarios y Agroindustriales*, 14: 12-23.
- Wales A and Davies R. 2020. Review of hatchery transmission of bacteria with focus on Salmonella, chick pathogens and antimicrobial resistance. *World's Poultry Science Journal*, 76(3): 517-536.
- Zione BG. 2008. Valorização energética dos resíduos derivados do sector pecuário. En: 1º Encontro Luso-Angolano de Economia, Sociologia e Desenvolvimento Rural. Universidad de Évora, Portugal. 16 al 18 de octubre.
- Zucconi F, Forte M, Monaco A, De Bertoldi M. 1981a. Biological evaluation of compost maturity. *Biocycle*, 22: 27-29.
- Zucconi F, Pera A, Forte M, De Bertoldi M. 1981b. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle*, 22: 54-57.