



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE  
FACULTAD DE INGENIERIA  
MAESTRIA EN INTERVENCIÓN AMBIENTAL

## TESIS

“Estandarización del proceso de compostaje de residuos verdes urbanos de la ciudad Neuquén, y su evaluación como enmienda orgánica para suelos de la región”.

Autor: Ing. Agr. Raúl Alfonso Guasco

Directora: Dra. Marina Gonzalez Polo

Neuquén, Marzo 2022

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAGISTER EN INTERVENCIÓN  
AMBIENTAL CON ORIENTACIÓN EN: INGENIERÍA AMBIENTAL.

## **AGRADECIMIENTOS**

- ✓ A mi familia, quienes me acompañaron y entendieron en cada momento en que debí dedicar el tiempo a los ensayos y redacción de la tesis. Gran parte de este tiempo en cuarentena, viajando a tomar datos y muestras a Neuquén. Gracias por estar siempre presentes y dar aliento! Aldi, Stefito y toda la flia del sur (mamá y papá, mis hermanos, tíos... a todos!).
  
- ✓ A Marina, mi directora de tesis quien me acompañó, aconsejó y entendió, y siempre estuvo ahí alentándome y mostrándome el camino para entender y resolver los problemas que se presentaron. Por su enorme paciencia, y su predisposición para ayudarme con los análisis de las muestras. A Marina y equipo, GRACIAS!!.
  
- ✓ A las autoridades de la Secretaría de Capacitación y Empleo de la Municipalidad de Neuquén, por la ayuda en la gestión de materiales, y por entender y permitirme realizar el trabajo como herramienta importante del área en la que trabajo.
  
- ✓ A las cervecerías Crafter y Kumpel por el aporte del bagazo de malta, y a Aertz, Owe, Klover, Aitue, y Conexa, por los aportes de información.
  
- ✓ A la avícola Granja Achagual (Ernesto) por su predisposición, y el aporte de datos, y el guano de ponedoras utilizado en los distintos intentos de inicio, y ensayos finales. Al Ing. Agr. Ignacio Llorens por la buena predisposición para aportar información ligada a la actividad avícola.
  
- ✓ A Mariano Junco de SENASA por su buena predisposición.
  
- ✓ Al Rugby Club de Neuquén, por brindarme la posibilidad de utilizar el césped cortado para los ensayos.

- ✓ Al Ing. Agr. Guillermo Lobos por la gestión de los residuos hortícolas del mercado concentrador.
- ✓ Al área de Limpieza Urbana de la Municipalidad de Neuquén por el aporte del chip de poda en un inicio.
- ✓ A la Ing. Agr. Myrian Barrionuevo por sus contribuciones a través del envío de información y colaboración.
- ✓ Al Ing. Agr. Julio Poliserpi por la colaboración en el aporte del espacio físico en el vivero municipal para el desarrollo de los ensayos.
- ✓ A Amalia y José del Vivero Municipal, quienes me ayudaron enormemente con la logística para la toma de datos cumpliendo los protocolos, la utilización del sistema de riego para humedecer las pilas, préstamos de materiales y la buena onda de siempre!
- ✓ A quienes me acompañaron y ayudaron en el armado de las pilas, toma de muestras, ensayos de germinación y crecimiento. Y sobre todas las cosas, que se interesaron aprendiendo, consultando, y contribuyendo con aportes a las distintas tareas (Mónica, Celinda, Paola, Valeria, Nelly y Alberto). Un gran equipo!
- ✓ A Jagger y Tina por su compañía de cada tarde, noche o mañana, echados al lado de mi mesa de trabajo, muchas veces sin entender mis conversaciones con la compu, pero siempre brindando su amor perruno.

## INDICE

1.	Introducción.....	13
1.1.	Problemática mundial de los residuos.....	13
1.2.	Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU).....	14
1.3.	Importancia del tratamiento de los residuos orgánicos.....	17
1.4.	El compostaje como alternativa de tratamiento de los residuos orgánicos.....	18
1.5.	Etapas del proceso de compostaje.....	19
1.6.	Factores que afectan al proceso de compostaje.....	20
1.7.	Indicadores de estabilidad, madurez, y calidad de compost.....	24
1.8.	Antecedentes de compostaje en Argentina y la región Patagónica.....	26
2.	Objetivos e hipótesis.....	29
2.1.	Objetivo general.....	29
2.2.	Objetivos específicos.....	29
2.3.	Hipótesis y predicciones.....	29
3.	Materiales y métodos.....	31
3.1.	Diseño experimental.....	31
3.1.1.	Definición de tratamientos y armado de pilas de compostaje.....	32
3.1.2.	Muestreo de las pilas.....	36
3.2.	Parámetros de seguimiento del compost.....	37
3.2.1.	Humedad.....	37
3.2.2.	Temperatura.....	38
3.2.3.	Densidad Aparente.....	39
3.3.	Metodología de análisis de laboratorio del compost.....	39
3.4.	Experimento de aplicación y crecimiento de la vegetación.....	43
3.5.	Análisis de Datos.....	45
4.	Resultados y discusión.....	46
4.1.	Evolución del proceso, parámetros de estabilidad y madurez del compost.....	46
4.1.1.	Características del material individual y de las mezclas iniciales.....	46
4.1.2.	Perfiles de temperatura y humedad.....	49
4.1.3.	Cambios en los parámetros físico-químicos y biológicos.....	53
4.1.4.	Evolución del CO <sub>2</sub> .....	60
4.1.5.	Indicadores de Estabilidad.....	61
4.1.6.	Mineralización de N: Evolución de NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> y NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	62
4.1.7.	Indicadores de patógenos y de madurez.....	64
4.2.	Evaluación de crecimiento con compost.....	69
5.	Conclusiones.....	70

6. Bibliografia..... 74

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Datos climatológicos Oct20-Set21 (Meteored, Aeropuerto Pte. Perón (SAZN) e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2021.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 2. Croquis de ensayos. Pilas distribuidas en función de espacio disponible, área inundable, defensa, y área forestal. ....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3. Armado de pila de Chip de poda y bagazo de malta. Descarga y medición de volumen de material (a), mezcla inicial de materiales (b), y finalización de armado de pila (c). ....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4. Presencia de aves en pilas de granos (a), protección de pilas con granos (b), y estructuras para disminuir desecamiento en pilas con césped (c). ....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 5. Toma de muestras (a), pesaje de muestras (b), secado en deshidratador solar de alimentos (c).....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 6. Control de humedad con método del puño cerrado (a, b, y c).....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 7. Medición de temperatura (a y b).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 8. Ensayo de Índice de Germinación: muestra de compost (a), extractos 1:10 con agua destilada post agitación (b), filtrado con gaza (c), medición de pH y CE (d), siembra en bandejas (e), e incubación (f). ....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 9. Ensayo de crecimiento vegetal, disposición de las macetas en el pasillo de invernadero.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 10. Extracción y lavado de plantas (a), pesaje de material verde (b), y secado en deshidratador y pesajes (c y d). ....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 11. Curvas de temperaturas de Chip+Bagazo de malta. ....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 12. Curvas de temperaturas de Chip+Guano de ponedoras.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 13. Curvas de temperaturas de Chip+Césped. ....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 14. Curvas de temperaturas Chip+Hortalizas.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 15. Colores iniciales de pilas (a) y oscurecimiento de pilas (b). ....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 16. Vapor de agua sobre pila en etapa termofílica. ....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 17. Organismos presentes en las pilas. Hongos (a, b y c), larvas de mosca (d), larva de mosca soldado (e).....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 18. Tamaño de pilas durante etapa termofílica (a) y pilas al final del proceso (b).....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 19. Evolución en el tiempo de la densidad aparente de los tratamientos. Se indican medias y desvío estándar. ....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 20. Evolución del pH de los tratamientos durante el compostaje. Se indican medias y desvío estándar. ....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 21. Evolución de la CE. ....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 22. Evolución de Carbono orgánico total (COT) (a), Nitrógeno total (NT) (b), y COT/NT (c).59</i>	<i>59</i>
<i>Figura 23. Evolución del Carbono Soluble en Agua (CSA). Se indican medias y desvío estándar..</i>	<i>60</i>
<i>Figura 24. Evolución de CO<sub>2</sub> en distintos tratamientos y muestreos. Se indican medias y desvío estándar. ....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 25. Evolución de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Mg kg<sup>-1</sup>) durante el compostaje. ....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 26. Evolución de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Mg kg<sup>-1</sup>) durante el compostaje. ....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 27. Ensayo de Índice de germinación. Bandejas: Testigo (a), Chip+Bagazo de Malta (b), Chip+Césped (c), y Chip+Guano (d). ....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 28. Intervalos de confianza (95%) para los valores de IG% de muestras analizadas en el ensayo propio.....</i>	<i>67</i>

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla I. Control de armado de pilas. (Vol.=volumen)</i>	34
<i>Tabla II. Información de volteo de pilas.</i>	35
<i>Tabla III. Muestreos realizados y rango de días transcurridos desde armado de primer y última pila muestreada.</i>	37
<i>Tabla IV. Características del material individual. (*) El C/N fue calculado a partir de los valores de COT (%) y NT (%).</i>	47
<i>Tabla V. Características de las mezclas iniciales.</i>	49
<i>Tabla VI. Determinaciones de microorganismos patógenos.</i>	64
<i>Tabla VII. Medias y desvío estándar de germinación relativa de semillas (GRS), crecimiento relativo de raíces (CRR) e índice de germinación (IG), utilizando lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) y rabanito (<i>Raphanus sativus</i>) para los distintos tratamientos a las 48 semanas.</i>	65
<i>Tabla VIII. Comparación de los resultados del ensayo propio de Índice de germinación con los resultados del laboratorio de suelos (LASAF). Solo se indica el valor de las muestras seleccionadas para la comparación.</i>	66
<i>Tabla IX. Parámetros de calidad de los compost. Se indica media y desvío estándar entre paréntesis.</i>	68
<i>Tabla X. Resultados de ensayo de crecimiento.</i>	69

## ANEXOS

<b>Anexo 1 / Figura 1 .</b> <i>Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost (Res 01/2019).</i>	83
<b>Anexo 1 / Figura 2.</b> <i>Niveles de patógenos.</i>	83
<b>Anexo 1 / Figura 3.</b> <i>Parámetros de calidad de compost.</i>	84
<b>Anexo 1 / Figura 4.</b> <i>Materiales inertes.</i>	84
<b>Anexo 2 / Figura 1.</b> <i>Metodología de análisis</i>	85
<b>Anexo 3 / Figura 1.</b> <i>Perfiles de temperatura de todos los tratamientos.</i>	86
<b>Anexo 4 / Figura 1.</b> <i>Análisis IG (%) Laboratorio LASAF.</i>	87
<b>Anexo 4 / Figura 2.</b> <i>Análisis IG (%) Laboratorio LASAF.</i>	88
<b>Anexo 5 / Figura 1.</b> <i>Análisis microbiológico muestras compost (INTI).</i>	89
<b>Anexo 5 / Figura 2.</b> <i>Análisis microbiológico muestras compost (INTI).</i>	90
<b>Anexo 5 / Figura 3.</b> <i>Análisis microbiológico muestras compost (INTI).</i>	91
<b>Anexo 5 / Figura 4.</b> <i>Análisis microbiológico muestras compost (INTI).</i>	92

## LISTADO DE ABREVIATURAS

Vol.: Volumen.

MO.: Materia Orgánica.

COT: Carbono Orgánico Total.

CE: Conductividad Eléctrica.

CSA: Carbono Soluble en Agua.

NMP: Número más probable.

IG: Índice de germinación.

PG: Poder germinativo.

CRR: Crecimiento relativo de raíces.

GRS: Germinación relativa de semillas.

LASAF: Laboratorio de servicios agrarios y forestales.



## **RESUMEN.**

En Neuquén y la región, la problemática ligada al crecimiento poblacional y el consecuente aumento en la generación de residuos, no escapa a la realidad global. Los bajos niveles de materia orgánica de los suelos y las condiciones de aridez que favorecen el avance de la desertificación, hace poner el foco en las grandes cantidades de residuos orgánicos que son desaprovechados cada día poniendo en riesgo el medio ambiente y generando costos de disposición final. El objetivo general del presente trabajo es proporcionar una base de conocimientos para el aprovechamiento de los residuos verdes de la ciudad, a partir de la evaluación de su co-compostaje junto a subproductos de procesos productivos para su utilización como enmienda orgánica. Con este fin, se evaluaron tres mezclas en pilas con volteo manual, utilizando el Chip de poda como principal componente y material estructurante: Chip+Bagazo de malta (C+B), Chip+Césped (C+C) y Chip+Guano de ponedoras (C+G). Se evaluó la dinámica del proceso, parámetros de estabilidad y madurez, y calidad del producto final (mediante variables físico-químicas y un ensayo de crecimiento de Rabanito).

Las características de los materiales iniciales se reflejaron en las mezclas, observándose valores de pH iniciales ácidos (en C+B y C+C) y alcalinos (C+G), con Conductividades Eléctricas variables, y valores de C/N por debajo y arriba del óptimo. Los contenidos de materia orgánica iniciales fueron similares entre las mezclas, y el carbono soluble en agua fue mayor en C+B producto de los azúcares remanentes en la malta, del proceso de elaboración de cerveza. Los nutrientes aportados por los materiales fueron adecuados, destacando C+G por los altos valores característicos (de Ca, K, N, P, Na, y Mg) del guano de ave.

Todos los tratamientos alcanzaron la etapa termofílica con valores cercanos a los 60°C entre el segundo y tercer día de iniciado el proceso, con duraciones de dos semanas (C+C) a 100 días (C+B y C+G). La extensión de la etapa termofílica permitió la higienización del material, dando cumplimiento a la normativa argentina para la producción, registro y aplicación de compost. Durante el proceso se observó la reducción de tamaño de partículas y volumen de las pilas, así como el cambio de

coloración y olor de los materiales tratados. Los cambios de pH fueron más notables en los primeros muestreos, considerando la alcalinización producto de la amonificación de los compuestos nitrogenados, acompañada de la liberación de amoníaco al ambiente (favorecido en tratamientos con baja relación C/N). Las pérdidas de C y N fueron más evidentes cuando se calcularon considerando la mineralización de la materia orgánica, contemplando el aumento de la proporción de cenizas hacia el final del proceso. La relación C/N disminuyó en todos los tratamientos a valores <20.

Se observó que las tres mezclas alcanzaron la estabilidad y madurez entre las 43 y 48 semanas de proceso, considerando para el primer caso los indicadores de actividad biológica por respiración (<120 mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) y el agotamiento del Carbono Soluble en Agua (CSA <10 mg kg<sup>-1</sup>), y en el caso de madurez, el contenido de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (<400 mg kg<sup>-1</sup>) e Índice de Germinación (IG) (>60%).

Los parámetros de calidad para su utilización como enmiendas o fertilizantes orgánicos, mostraron que los compost obtenidos tuvieron características físico químicas adecuadas, y niveles de nutrientes que deberán considerarse de acuerdo a su uso específico. C+B fue mayor en NT, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, y P que C+C, aunque menor en Ca y K. Se deberá tener en cuenta para el compost de C+G de ponedoras (de mayor contenido de Ca, K, P, Mg y Na) los valores de pH (9,2) y CE (3,1 dS m<sup>-1</sup>), y considerar su mezcla con otros componentes. Se recomiendan las mezclas Chip+Bagazo o Chip+Césped, ya que poseen un contenido adecuado de nutrientes, y al mismo tiempo las variables químicas (COT, pH, CE) no generarían ningún impacto negativo en las propiedades del suelo.

**Palabras clave:** Co-compostaje, chip de poda, bagazo de malta, guano de ponedoras, césped verde, residuos de hortalizas.

## **ABSTRACT.**

In Neuquén and the region, the problem linked to population growth and the consequent increase in waste generation does not escape the global reality. The low levels of organic matter in the soil, and the arid conditions that favor the advance of desertification, focus on the large amounts of organic waste that are wasted every day, putting the environment at risk and generating final disposal costs. The general objective of this work is to provide a knowledge base for the use of green waste in the city, based on the evaluation of its co-composting together with by-products of production processes for its use as an organic amendment. To this end, three mixtures in piles with manual turning were evaluated, using pruning Chip as the main component and structuring material: Chip + Malt Bagasse (C+B), Chip + Grass (C+C) and Chip + poultry manure (C+G). The dynamics of the process, stability and maturity parameters, and quality of the final product (by means of physical-chemical variables and a radish growth test) were evaluated.

The characteristics of the initial materials were reflected in the mixtures, observing initial acidic pH values (in C+B and C+C) and alkaline (C+G), with variable Electrical Conductivities, and C/N values below and above the optimum. The initial organic matter contents were similar between the mixtures, and the water-soluble carbon was higher in C+B as a result of the remaining sugars in the malt, from the brewing process. The nutrients provided by the materials were adequate, highlighting C+G due to the high characteristic values (of Ca, K, N, P, Na, and Mg) of poultry manure.

All treatments reached the thermophilic stage with values close to 60°C between the second and third day of the process, with durations from two weeks (C+C) to 100 days (C+B and C+G). The extension of the thermophilic stage allowed the sanitization of the material, complying with Argentine regulations for the production, registration and application of compost. During the process, the reduction in particle size and volume of the batteries was demonstrated, as well as the change in color and odor of the treated materials. The pH changes were more notable in the first samplings, considering the alkalization product of the ammonification of the nitrogenous compounds, accompanied by the release of ammonia into the

environment (favored in treatments with low relation C/N). The losses of C and N were more obvious when they were calculated considering the mineralization of the organic matter, contemplating the increase in the proportion of ashes towards the end of the process. The C/N ratio decreased in all treatments to values <20.

It was observed that the three mixtures reached stability and maturity between 43 and 48 weeks of processing, considering for the first case the indicators of biological activity by respiration (<120 mg kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) and the depletion of Soluble Carbon in Water (CSA <10 mg kg<sup>-1</sup>), and in the case of maturity, the content of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (<400 mg kg<sup>-1</sup>) and Germination Index (GI) (>60%).

The quality parameters for their use as amendments or organic fertilizers, show that the compost obtained had adequate physical-chemical characteristics and nutrient levels that should be considered according to their specific use. C+B was higher in NT, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, and P than C+C, although lower in Ca and K. It should be taken into account for the C+G compost from laying hens (of higher content of Ca, K, P, Mg and Na) the pH (9.2) and EC (3.1 dS m<sup>-1</sup>) values, and consider its mixture with other components. The Chip+Bagasse or Chip+Césped mixtures are recommended, since they have an adequate nutrient content, and at the same time the chemical variables (TOC, pH, CE) would not generate any negative impact on the properties of the soil.

**Keywords:** Co-composting, pruning chip, malt bagasse, poultry manure, green grass, vegetable waste.

## **1. Introducción.**

### **1.1. Problemática mundial de los residuos.**

El crecimiento demográfico mundial, y la alta tasa de extracción y consumo de recursos, han ocasionado el aumento desmedido de los volúmenes de generación de residuos. Existen distintas definiciones de residuo, una de las más completa, los define como "todo producto, material o elemento que tras su producción, manipulación o uso no posee valor de mercancía en unas condiciones históricas, técnicas y económicas (espacio y tiempo) determinadas" (CAM, 1987). La gestión inadecuada de éstos, provoca impactos negativos en el ambiente (suelo, agua y aire) y la salud humana. La contaminación del suelo se produce por acumulación de metales pesados y la presencia de materiales no degradables por microorganismos (ONU Medio Ambiente, 2018). A través de los lixiviados los depósitos de residuos contaminan ecosistemas acuáticos y fuentes superficiales o subterráneas de agua. Además, la descomposición de la fracción orgánica en condiciones de anoxia genera mayor cantidad de gases responsables del efecto invernadero; y la quema de residuos, concentración de gases tóxicos. Por último, esta acumulación de residuos tienen efectos directos sobre la salud humana, ya que estos focos de contaminación y la presencia de organismos vectores de enfermedades como insectos y roedores, entre otros, significan un riesgo potencial para la salud de las personas (Plaza & Zapata, 2011).

Por el contrario, la apropiada gestión de los residuos garantiza una disminución en las cantidades a disponer (reduciendo los efectos negativos), un aprovechamiento de los mismos con la consecuente reducción en el uso de recursos naturales y un importante avance hacia la mitigación del cambio climático. Esto implica priorizar las opciones de conversión de los residuos en recursos y energía para su reinsertión en el ciclo de producción, tal como propone el paradigma de la economía circular (ONU Medio Ambiente, 2018). La economía circular emplea los residuos como materia prima, reduciendo así los desechos generados y minimizando el impacto ambiental (Banco de desarrollo de América Latina, 2018).

## 1.2. Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

La generación de residuos a escala mundial en 2015 se estimó en 7 a 10 billones de toneladas de residuos de hogares, comercio, industria y construcción (UNEP & ISWA, 2015). Los residuos sólido urbanos (RSU) o municipales en el mundo se calcularon en 2,01 billones de toneladas en 2016 y se pronostica para 2050 un incremento a 3,4 billones de toneladas (WBG, 2018). La región de Norte América (que incluye Canadá, Estados Unidos y Bermudas), es la de mayor generación per cápita alcanzando los 2,21 kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Los valores más bajos se sitúan en región África Sub Sahariana (0,46 kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>), y el promedio mundial en 2016 se estimó en 0,74kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Los países de altos ingresos (Estados Unidos, Japón, Alemania, Reino Unido, entre otros), que concentran solo el 16% de la población mundial, generan un 34% de la totalidad de residuos. Se estima que los países de medianos a bajos ingresos (África subsahariana, sur de Asia y Oriente Medio, y África del norte) tripliquen la generación de residuos para mediados de siglo, manteniéndose los niveles de los países de altos consumos. Nuestra región, América Latina y el Caribe, genera aproximadamente solo el 10% de los residuos generados a nivel global, y si bien ha existido una mejora en los sistemas de recolección y gestión de los residuos en las últimas décadas, más de 40 millones de personas (7%) carecen aún de acceso a un servicio básico de recolección. Asimismo, es alarmante que alrededor de una tercera parte de los residuos generados, unas 145.000 toneladas al día, acaben en basurales a cielo abierto (ONU Medio Ambiente, 2018). Según estimaciones, los 50 basurales a cielo abierto más grandes del mundo afectan la vida de 64 millones de personas (una población del tamaño de la de Francia) y alojan *in situ* más de 50.000 recicladores informales (UNEP & ISWA, 2015).

En la actualidad, la gestión de residuos en Argentina es de carácter municipal, y no hay información precisa actualizada ligada a la generación total de residuos a nivel nacional. La generación de RSU en nuestro país es de 1,02 kg hab<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup> totalizando unas 45 mil toneladas diarias, equivalente a unos 16,5 millones de Tn año<sup>-1</sup> según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAyDS, 2016). La mayoría de las provincias cuentan con sistema de recolección con cobertura superior al 80%, y

en los casos donde no se cubre la totalidad de las ciudades es común que la gente utilice sitios de disposición temporaria o final, o basurales a cielo abierto para disponer sus residuos. En el país solo un 61% de los habitantes disponen sus residuos en un relleno sanitario<sup>1</sup>. En cuanto al tratamiento de desechos potencialmente reciclables son pocos los municipios con plantas de separación y sistemas de recolección diferenciada (MAyDS, 2016).

En la región del Alto Valle del Río Negro, la mayoría de los municipios disponen sus residuos en vertederos a cielo abierto. Neuquén capital es la ciudad que más volumen de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) genera en la zona, representando alrededor de un 50% del volumen total regional. En 2015, se estimaba una generación diaria de 1 Kg hab<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup>, alcanzando unas 260 Tn día<sup>-1</sup> (ADI, 2009). La ciudad posee un sistema de recolección diario con segregación en residuos secos y húmedos en distintos días de la semana, dos centros de transferencia municipales para residuos de poda y voluminosos, y un centro de tratamiento y disposición final en rellenos sanitarios, denominado Complejo Ambiental Neuquén (CAN).

Respecto a la composición de estos residuos, un 50% de los RSU de la región corresponde a residuos orgánicos. De esa fracción, un 41% son restos de alimentos, y el 9 % restante restos de poda y otros (ADI, 2009). Actualmente la recolección de poda, residuos voluminosos, operativos puntuales, y centros de transferencia, lo realiza la Municipalidad, y se estimaron para el 2021 aproximadamente 62.100 Tn anuales (Subsecretaría de Limpieza Urbana (M.N), 2022). Entre los restos de poda, los resultantes de las actividades de mantenimiento de espacios verdes municipales y arbolado urbano, y la poda de jardines particulares llevada a centros de transferencia, son un importante y potencial recurso. Asimismo, hay residuos orgánicos provenientes de actividades comerciales y agropecuarias, cuya disposición final genera complicaciones para los generadores (comunicación

---

<sup>1</sup> El relleno sanitario, de acuerdo con la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), es una “técnica para la disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública. Este método utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en el menor área posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, y cubriendo la basura allí depositada con una capa de tierra con la frecuencia necesaria al fin de cada jornada” (Meléndez, 2004), Noguera, K., & Olivero, J. (2010).

personal del Personal de Limpieza Urbana y Cervecedores). Entre los residuos más abundantes de actividades comerciales, se encuentran restos de frutas y hortalizas de mercados y ferias, y el bagazo de malta utilizada en la producción de Cerveza, actividad que ha crecido en los últimos años. En 2017 existían más de 90 marcas de cervezas habilitadas en la provincia con una producción de más de 1,7 millones de litros anuales (Centro PyME - ADENEU, 2022). En consecuencia, y considerando que por cada litro de cerveza elaborado se genera un promedio de 600 g de bagazo (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca [MAGyP], 2019), se habrían generado ese año más de 1000 Tn de bagazo de malta. El destino principal, es la utilización para alimento de animales, aunque la logística muchas veces genera complicaciones por los olores que se producen en el corto tiempo. En cuanto a la producción agropecuaria de gran escala, actualmente, en la zona existen unas 6 granjas avícolas de producción de huevos (SENASA, 2022), de entre 30 y 120 mil gallinas cada una (Comunicación productores avícolas locales), que generarían en total unas 100 Tn diarias, considerando  $0,230 \text{ kg dia}^{-1} \text{ gallina}^{-1}$ . El residuo de esta producción, el guano de gallinas ponedoras, ha dejado de tener demanda como fertilizante desde establecimientos de producción frutícola debido a la crisis del sector y la disminución de superficie en producción, lo que significa que la disposición final pase a ser un problema para los productores. En la actualidad, ha surgido la demanda para la utilización en la producción de energía a través de digestión anaeróbica (comunicación personal productor local). Por otra parte, la industria juguera ligada a la fruticultura, genera anualmente grandes cantidades de orujo de fruta (pera y manzana) en el Alto Valle, el cual es destinado en parte a alimentación animal, biocombustibles, y compostaje (Aramberri, 2018). Asimismo, existen numerosos establecimientos agropecuarios de producción familiar en la región (Plottier- Senillosa), donde más de la mitad de los productores no tratan sus residuos, existiendo un gran desaprovechamiento de estos dado su valor como enmienda y fertilizante una vez tratados (Ejarque et al., 2019).



### **1.3. Importancia del tratamiento de los residuos orgánicos.**

Mientras grandes cantidades de materia orgánica son descartadas y dispuestas como residuos, hay una demanda constante de abonos y enmiendas orgánicas para mejorar condiciones de los suelos y los cultivos. El 75% del territorio de nuestro país presenta un régimen árido a semiárido. En particular, en la provincia de Neuquén los suelos tienen bajo contenido de materia orgánica debido a las características de aridez pronunciada y la vegetación presente, con aportes bajos de material orgánico, y una baja mineralización y humificación (Mussini et al., 1984). Además, nuestra región presenta señales de degradación ambiental, con alta susceptibilidad y tendencia a la desertificación en zonas de meseta, y la pérdida de suelos productivos en los valles por falta de drenaje y consecuente salinización por avance de la urbanización (FAO. Aspectos Ambientales de la Provincia del Neuquén, 2015).

Existen diversas tecnologías para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos orgánicos, las cuales deben ser adecuadas técnicamente a las características locales, ser viables económicamente, y sustentables ecológicamente. Considerando estas bases de sostenibilidad, es posible validar, adecuar y promover, tecnologías de tratamiento que representen una solución efectiva y ajustada a cada realidad (Sztern & Pravia, 1999). Entre los posibles usos beneficiosos de los residuos orgánicos se encuentra la alimentación animal, la generación de energía, y la producción de abonos orgánicos. Como ejemplo de usos en alimentación animal, hay muchos residuos provenientes de la industria de frutas y legumbres, cerealera, láctea, y azucarera. En particular, el bagazo de malta, en Patagonia Norte se recomienda para alimentación de ovinos, y caprinos en el último mes de gestación (Giraud et al., 2006). Otro de los usos beneficioso de los residuos es la generación de energía, aprovechando la biomasa a través de procedimientos que Stout (1980), clasifica en dos grandes grupos: procedimientos por vía seca y por vía húmeda. Los procedimientos por vía seca implican un tratamiento físico químico con transformación a altas temperaturas. Se pueden nombrar dentro de este grupo la combustión directa, carbonización, pirólisis, y gasificación. En lo que se refiere a procedimientos por vía húmeda, son procesos bioquímicos mediados por microorganismos. Dentro de este grupo, se encuentra la degradación anaerobia

y la fermentación alcohólica. La primera, implica la descomposición de materia orgánica con generación de biogás y un sobrenadante rico en nutrientes. En cambio, en la a fermentación alcohólica, se genera alcohol etílico a partir de residuos orgánicos con alto contenido de azúcares fermentables a través de levaduras. Finalmente, el uso de residuos orgánicos como abonos, implica en muchos casos la necesidad del acondicionamiento previo para garantizar la estabilidad de los componentes orgánicos, y evitar procesos anaerobios de acidificación, movilización y pérdida de nutrientes (Sztern & Pravia, 1999).

#### **1.4. El compostaje como alternativa de tratamiento de los residuos orgánicos.**

De acuerdo a un informe del Banco Mundial, solo el 19% de los residuos se recuperan, siendo el compostaje responsable de un 5,5%. El compostaje es una de las prácticas de manejo más importantes para el aprovechamiento y transformación de sub-productos orgánicos, en productos de valor agrícola (Costa et al., 1991; Lavado, 2012).

En comparación a otros tratamientos, es una tecnología relativamente simple y de bajo costo, que permite mantener la materia orgánica dentro del ciclo natural, sin la destrucción o la inmovilización como en el caso de la incineración o relleno sanitario respectivamente (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008; Sztern & Pravia, 1999). Al mismo tiempo que colabora en la gestión de los residuos sólidos, el compostaje es el sistema que más respeta el ciclo de conservación de la materia y el que mayor aplicación encuentra en agricultura (Soliva, 2001). Además, trae aparejado la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero, la reducción en cantidad y calidad de los lixiviados en el vertedero, y la merma en la velocidad de llenado del relleno sanitario aumentando su vida útil (Díaz et al., 2007).

En términos generales, el compostaje es un proceso de biodegradación de una mezcla de sustratos, realizada por una comunidad de microorganismos, en condiciones aeróbicas y en estado sólido (Díaz et al., 2007). Haug (1993) lo define como la descomposición biológica y la estabilización de sustratos orgánicos, bajo

condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termofílicas, como resultado del calor producido biológicamente.

El compost es el producto orgánico estable, higienizado, y maduro, resultante del proceso de compostaje. Una definición más completa, define al compost como materia orgánica que ha sido estabilizada hasta transformarse en un producto parecido a las sustancias húmicas del suelo, que está libre de patógenos y de semillas de malas hierbas, que no atrae insectos o vectores, que puede ser manipulada y almacenada sin ocasionar molestias, y que es beneficiosa para el suelo y el crecimiento de las plantas (Haug, 1993). Por las características del compost puede utilizarse como sustrato, abono y/o enmienda orgánica en agricultura y jardinería (Rynk et al., 1992), en restauración de suelos degradados o taludes (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008), para control de erosión de suelos (Risse & Faucette, 2009), entre otros posibles usos. La incorporación de compost al suelo mejora sus propiedades físicas, químicas y biológicas, aumentando la retención de humedad, evitando la erosión, regulando la temperatura del suelo, además, incorpora microorganismos al mismo, y facilita la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Cooperband, 2002).

### **1.5. Etapas del proceso de compostaje.**

El proceso de compostaje se puede dividir en las siguientes etapas (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008):

1) Etapa inicial: considerada desde el armado de las pilas hasta que se constata el aumento de la temperatura. Esta fase dura de uno a tres días, dependiendo de la relación C/N inicial, estado de los materiales al inicio, características de las pilas, carga microbiana, condiciones externas, entre otros factores.

2) Etapa mesófila, con un rango de 10 a 45°C, se caracteriza por la actividad de bacterias y hongos que descomponen compuestos sencillos solubles, con producción de ácidos orgánicos que hacen descender el pH hasta valores de 4 - 4,5. Por la acción microbiana y la baja disipación del calor continúa elevándose la

temperatura, y los microorganismos termófilos latentes se activan aumentando su población a medida que baja la actividad de los mesófilos (Lavado, 2012).

3) Etapa termófila: caracterizada por un rango de 45 a 75°C, donde los microorganismos que proliferan son bacterias termófilas y se produce la degradación de ceras, proteínas y hemicelulosas. Al degradarse las proteínas, con la consecuente formación de amonio, hay un aumento de pH con alcalinización del medio. Además, en esta etapa se produce la higienización, ya que la elevada temperatura elimina patógenos mesófilos, hongos, esporas, semillas, larvas de insectos y la mayoría de los organismos indeseables. A medida que los compuestos carbonados se consumen y aumentan los niveles de CO<sub>2</sub>, la flora termófila disminuye (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008). La duración de esta etapa puede ser de días a meses.

4) Etapa mesófila o de enfriamiento: las temperaturas se encuentran por debajo de 40°C y aparecen nuevamente microorganismos mesófilos, que actúan sobre restos de los compuestos más difíciles de degradar como celulosa y lignina (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008). El pH tiende a descender, aunque el medio permanece levemente alcalino.

5) Etapa de maduración: se da con una disminución de la temperatura cercana a la del ambiente, y reacciones de condensación y polimerización de los compuestos orgánicos que dan como resultado la formación de sustancias húmicas, y eliminación de sustancias fitotóxicas. Su duración depende de diversos factores y al final el material se presenta biológicamente estable (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008).

### **1.6. Factores que afectan al proceso de compostaje.**

Las variables que afectan los sistemas de compostaje se clasifican en: parámetros relativos a la naturaleza del sustrato y parámetros de seguimiento. Los parámetros relativos a la naturaleza del sustrato son aquellos que se miden y corrigen al inicio del proceso (Madejón et al., 2001), entre los que se pueden destacar el tamaño de

partícula, las relaciones C/N y C/P, los nutrientes, la materia orgánica y la conductividad eléctrica. Por otro lado, los parámetros de seguimiento son aquellos que se controlan durante el desarrollo del proceso y se ajustan si es necesario (Jeris et al., 1973); entre los que se encuentran la temperatura, la humedad, el pH, la aireación y el espacio de aire libre (Márquez et al., 2008).

Las características físicas y químicas del sustrato inicial determinan la evolución y velocidad del proceso, y la calidad del producto final (Golueke, 1991). En cuanto a las físicas, son especialmente importantes la porosidad, la estructura y la textura, ya que afectan al proceso por su influencia sobre la aireación. La porosidad es una medida del espacio aéreo del sustrato, mientras que la estructura se refiere a la resistencia de las partículas a la compactación y apelmazamiento; una buena estructura previene la pérdida de porosidad (Rynk et al., 1992). Por otra parte, la textura se refiere a la superficie de sustrato disponible para el ataque microbiano. La disminución del tamaño de partícula determina una mayor superficie por unidad de masa expuesta al ataque microbiano (Golueke, 1991; Rynk et al., 1992).

La composición relativa de la materia orgánica original y los cambios del sustrato durante el proceso de compostaje regulan la composición, tamaño y actividad de la comunidad microbiana, la cual varía en el tiempo (Stratton et al., 1995). Además, características químicas del sustrato (la complejidad y naturaleza de la estructura molecular) determinan la asimilación de los nutrientes por parte de los microorganismos y, por lo tanto, su capacidad de metabolizar el sustrato y aumentar fuertemente su actividad. La asimilación está dada por la capacidad de generar enzimas que degraden polímeros, y luego utilizar los elementos para sintetizar nuevo material celular (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008; Díaz et al., 2007). Otro aspecto importante es que ciertos polímeros debido a su complejidad estructural son muy resistentes a la descomposición microbiana. Esto hace que ciertos materiales tengan una degradación más lenta, como es el caso de la lignina o quitina. Además, para lograr un compostaje con buen aprovechamiento y retención del N y C, es necesario que los materiales iniciales cuenten con una relación C/N adecuada. El metabolismo microbiano utiliza unas 30 partes de C por

cada una de N, por lo que una relación inicial teóricamente óptima sería en el rango de 25 a 30 (Jhorar et al., 1991). Si la relación C/N es muy alta, la actividad microbiana podría estar limitada por N (Golueke, 1977). En cambio con una relación C/N menor de 20, habría una alta actividad biológica pero con grandes pérdidas de N amoniacal. En consecuencia se produce olor (al liberarse el amoníaco), contaminación atmosférica, y pérdidas importantes de nitrógeno. En un proceso adecuado, la relación disminuye constantemente, debido a la mineralización biológica de los componentes carbonados, y a liberación de CO<sub>2</sub> (Díaz et al., 2007). La relación C/N del producto final es importante, ya que el agregado al suelo de un compost con una relación C/N muy alta (mayor a 20), podría desencadenar la inmovilización de N por parte de los microorganismos del suelo de manera no disponible para las plantas. En cambio un compost con relación C/N muy baja, produce alta disponibilidad de amonio en el suelo podría generar fito toxicidad en raíces (Zucconi et al., 1981). Por último, el P también es importante luego del C y el N, y es necesaria su presencia en cantidades adecuadas para que se desarrolle el proceso de compostaje. La relación C/P para el compostaje es óptima entre 75 - 150, mientras que para N/P el óptimo se encuentra entre 5 -20 (Márquez et al., 2008).

En relación a las variables de seguimiento, la evolución de la temperatura representa muy bien el proceso de compostaje, y es el indicio más claro de la actividad microbiana y la degradación de la materia orgánica. El incremento de temperatura es producto del calor liberado por los microorganismos al romper las estructuras químicas de la materia orgánica. Las poblaciones de microorganismos poseen rangos óptimos de temperatura para su desarrollo y degradación de la materia orgánica, por lo que los incrementos y disminuciones de la temperatura, generan la sucesión de diversas poblaciones microbianas. Las variaciones en la temperatura, además del calor generado por la actividad microbiana, estarán relacionadas con el tamaño de la pila, condiciones climáticas, incorporación de aire, y remoción o volteo de la pila (Márquez et al., 2008). La masa crítica para garantizar las pérdidas excesivas del calor generado por los microorganismos rondaría el metro cúbico, aumentando en climas fríos y ventosos (Díaz & Savage, 2007).

Otro factor de seguimiento muy importante es la humedad, ya que regula fuertemente la actividad biológica (Márquez et al., 2008), por esta razón es un criterio indispensable a tener en cuenta para la optimización del proceso. Se considera adecuado un valor entre 45- 60% de humedad en los materiales iniciales, por debajo de estos valores disminuye la actividad biológica. Sin embargo, niveles superiores de humedad, disminuyen el contenido de oxígeno (debido a que los poros son ocupados por agua), desencadenando procesos fermentativos anaeróbicos (Rynk et al., 1992; Díaz et al., 2007). En relación a la aireación, es fundamental proveer de oxígeno a los microorganismos periódicamente para garantizar su actividad metabólica, ya que los niveles de este elemento disminuyen y aumenta el contenido de CO<sub>2</sub> en los espacios inter partículas. Un concepto de utilidad en relación a la aireación es el de espacio de aire libre expresado por Shulze (1962), que da idea de las cantidades relativas de agua y aire en las pilas de compost. Se establece que con valores de espacio de aire libre de entre 30-35% se acelera el proceso de compostaje, independientemente de la naturaleza del residuo (Jeris & Regan, 1973).

Por último, respecto al pH, materiales orgánicos con pH de 3 a 11 pueden ser compostados, aunque el rango óptimo es de 5,5 a 8, valores en que hay mayor desarrollo de microorganismos (De Bertoldi et al. 1983). Las bacterias proliferan en un rango de pH entre 6 a 7,5, mientras que los hongos toleran un rango más amplio de entre 5,5 y 8 (Casco & Bernat, 2008). La actividad microbiana durante las distintas etapas del compostaje genera modificaciones en los valores de pH, el cual inicialmente, depende de la composición de los materiales. Pravia & Sztern (1999) describen una sucesión natural del pH, que es necesaria para el proceso y que es acompañada por una sucesión de grupos fisiológicos. De modo que, en las primeras etapas del proceso (inicial y mesófila), el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. Luego, en la fase termófila el pH aumenta y se alcaliniza el medio por conversión de amonio en amoníaco, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro (Román et al., 2013). Al descender la temperatura y con el pasaje de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a NO<sub>3</sub><sup>-</sup> puede volver a acidificar levemente el sustrato (Sánchez Monedero et al., 2001).

### **1.7. Indicadores de estabilidad, madurez, y calidad de compost.**

Los conceptos de estabilidad y madurez suelen ser utilizados indistintamente, aunque su significado hace mención a distintas características (Mazzarino et al., 2012). Incluso hasta 1985 no estaban establecidos sus significados, ni se conocían las metodologías para su estimación (Brinton, 2000). La estabilidad está relacionada con la descomposición de la materia orgánica, y la actividad biológica. Un compost se vuelve estable cuando disminuyen el carbono fácilmente degradable y la actividad microbiana. La madurez, hace referencia a la finalización del proceso de compostaje, implica la eliminación de sustancias fitotóxicas y la aptitud para el crecimiento vegetal (Mazzarino et al., 2012). Por último, el concepto de calidad, está relacionado a las características y propiedades agronómicas del producto, enfocado generalmente en el valor como fertilizante o enmienda orgánica. Es de destacar que el concepto de calidad está en estrecha relación con el uso que se le dará al producto final.

Para la determinación de los estados del proceso de compostaje mencionado (estable y maduro) se utilizan indicadores. Se podría inferir que un compost está estabilizado por la disminución de su temperatura, el olor a “tierra húmeda”, y el viraje a una coloración más oscura (Costa et al., 1991; Rynk et al., 1992), pero es necesario complementar con indicadores químicos, físicos y/o biológicos determinados en el laboratorio. En nuestro país se encuentra aprobado el Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost por Res. conjunta 01/2019 de la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental [SCyMA] y el Servicio Nacional de Seguridad y Calidad Agroalimentaria [SENASA]. En el mismo, se establecen los requisitos que debe cumplir el proceso para permitir su registro y aplicación (ver anexo 1 / figuras 1, 2, 3, y 4). Entre los indicadores de estabilidad que se recomiendan se encuentran los siguientes:

- Concentración de C soluble en agua (CSA), que indica el carbono fácilmente degradable remanente. Se expresa como valor absoluto, o por unidad de N total ( $<10 \text{ gr kg}^{-1}$ ).



- Concentración de amonio ( $<400 \text{ mg N-NH}_4 \text{ kg}^{-1}$ ) y relación Amonio/Nitratos ( $<0,3$ ), la cual al disminuir, indica la reducción de actividad biológica y finalización de etapa termofílica. La acumulación de  $\text{NH}_4^+$  es característica de la etapa termofílica, ya que los microorganismos específicos que transforman el N orgánico en  $\text{NO}_3^-$  requieren de pH adecuado, humedad y temperaturas mesófilas.
- Actividad respiratoria: Evolución de  $\text{CO}_2$  durante 72 h ( $<120 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )

Para madurez, se evalúa desarrollo vegetal y presencia de los productos potencialmente tóxicos (amonio, fenoles y ácidos grasos volátiles) (Mazzarino et al., 2012). Por ejemplo, la relación amonio/nitratos se utiliza con este fin, al igual que los niveles de amonio, cuyo límite máximo ha sido definido en función de la toxicidad para las plantas. En EEUU y Europa un indicador de madurez muy utilizado es el test de Solvita que consiste en dos geles que en contacto con  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_3$  liberados del compost cambian de color. Sin embargo, la realización de bioensayos con plantas, como el índice de germinación o Test de Zucconi, son fundamentales para evaluar propiedades fitotóxicas de los residuos. Además de su utilidad, es un método práctico y económico (Fain Binda et al., 2018). Por último, en el caso de fitotoxicidad, es importante realizar una evaluación de los parámetros de calidad evaluados, y descartar posible exceso de sales solubles, lo cual no varía durante la madurez (Mazzarino et al., 2012)

La normativa actual mencionada, agrupa los indicadores y establece la utilización de por lo menos uno por grupo en el caso de estabilidad, y por lo menos un indicador para madurez además del test de germinación (ver anexo 1 / figura 1). Además, la norma establece los requisitos de proceso, y límites tolerables de patógenos en el producto final (ver anexo 1 / figura 2) para garantizar la seguridad sanitaria del compost (SCyMA & SENASA, 2019).

Finalmente, entre los indicadores de calidad (ver anexo 1 / figura 3) se establecen parámetros que determinan la aptitud para la utilización del compost, de acuerdo al nivel de los mismos. Se contemplan variables físico químicas (pH, Olores, H%,

Conductividad Eléctrica, Relación C/N, MO%), y contenido de elementos potencialmente tóxicos (Cd, Cu, Cr total, Hg, Ni, Pb, Zn, As). También se establecen los niveles permitidos de material inerte que puede contener el compost para cumplir con los requisitos de calidad (ver anexo1 / figura 4).

### **1.8. Antecedentes de compostaje en Argentina y la región Patagónica.**

Existen numerosas experiencias de compostaje a nivel nacional, producto de la búsqueda de soluciones a la problemática de los diversos residuos orgánicos generados en distintas regiones del país.

El aprovechamiento de Residuos Fruti Hortícolas (RFH) generados durante la cadena de distribución, comercialización y consumo de los mismos, es llevado a cabo en diversas ciudades por instituciones públicas, organizaciones sociales, y privados. La elaboración de compost con los residuos no consumibles, es la alternativa del Programa de Reducción de Pérdidas y Desperdicios y Valorización de Residuos del Mercado Central de Buenos Aires. A través del mismo se reducen entre un 55 y 60% las pérdidas, aprovechando entre 5 y 10 toneladas diarias (dependiendo de la estación del año) tanto para alimento humano, como para producción de compost (Corporación del Mercado Central de Bs. As., 2021). Del mismo modo, desde 2015 en la Universidad Nacional de Córdoba (UNC), se desarrollan ensayos de compostaje a partir del Programa de Gestión de Áreas Verdes de esa institución, utilizando el Chip de poda junto a RFH de comedores de la Universidad. De acuerdo a los datos obtenidos, el compost generado fue considerado apto para sustrato, y proponen poner atención en factores como la oxigenación y la humidificación, el tamaño de pila, el trozado del material, y el mezclado de las capas agregadas, como posibles causantes de enlentecer el proceso (Ringuelet et al., 2019). Por otro lado, estudios con RFH en la Cooperativa de Provisión de Servicios Mercado Concentración Santiago del Estero Limitada (COMECO), también concluyeron que el compostaje y lombricompostaje de los RFH es tecnológicamente realizable, permitiendo disminuir la acumulación descontrolada de residuos y el consecuente daño ambiental (Sánchez de Pinto et

al., 2005). Asimismo, existen campañas de acopio y tratamiento orientadas a los consumidores, como es el caso de los Puntos Verdes en espacios barriales y ferias, propuesto por el Ministerio de Espacio Público e Higiene Urbana de la ciudad de Buenos Aires. A través de este sistema, se propone el acopio, tratamiento y uso en suelos de parques y plazas de la ciudad, además de la entrega de chip de madera y compost a quienes depositen sus residuos orgánicos.

Las actividades agropecuarias son generadoras de grandes cantidades de residuos orgánicos, muchos de los cuales han sido estudiados para su aprovechamiento a través del compostaje, que varían de acuerdo a las regiones e insumos utilizados. En relación a la producción avícola, el estiércol de gallinas y cama de pollos, mezclados con estructurantes adecuados, han demostrado resultados positivos en la producción de enmiendas y fertilizantes a través del compostaje, y su utilidad para estabilizar estos residuos y disminuir su impacto en el ambiente (Leconte, 2010; Riera et al., 2014; Barrionuevo et al., 2016). En la región Patagónica, existen numerosos trabajos de compostaje ligados a distintos tipos de residuos orgánicos. Desde 1994 el grupo de suelos de la Universidad del Comahue con sede en Bariloche (CRUB), ha trabajado en la investigación del proceso de compostaje con residuos como: la fracción orgánica de RSU, biosólidos, y eviscerados de pescados, entre otros (Mazzarino, et al., 2012). A través de distintos sistemas de compostaje, y el uso de materiales estructurantes adecuados, han logrado establecer índices confiables de estabilidad y madurez, y obtener productos de calidad, los cuales han demostrado las ventajas de su utilización para distintas aplicaciones, en proporciones y mezclas adecuadas (Varela & Basil, 2011). Del mismo modo, en la zona del Alto Valle, el orujo de peras y manzanas es aprovechado por empresas jugueras a través del compostaje (Aramberri, 2018). Se ha demostrado que la utilización de este compost ha incrementado rendimientos de cultivos en suelos con elevada salinidad y sodicidad, en cantidades adecuadas (Maldonado et al., 2018). El compostaje en clima templado frío, también fue estudiado a pequeña escala y a través de la evaluación de distintos diseños de compostadores domiciliarios, demostrando el cumplimiento de los estándares de saneamiento y estabilidad (Arrigoni, 2016).

Las experiencias realizadas en todo el país han ayudado a determinar las condiciones más adecuadas para el compostaje de residuos orgánicos de diferente origen, establecer índices sencillos y confiables de madurez de compost, transferir resultados a empresas locales y nacionales, y han sido precursores fundamentales en el establecimiento de regulaciones nacionales sobre la producción, registro y aplicación de compost.

Considerando que es necesario generar herramientas con experiencias locales para reducir el vertido de residuos orgánicos al relleno sanitario, y que el compostaje se presenta como una alternativa sencilla para el tratamiento y aprovechamiento de los mismos, en el presente trabajo se plantea evaluar la utilización de residuos provenientes del mantenimiento de espacios verdes junto a otros residuos orgánicos, para la elaboración de compost que pueda ser utilizado en espacios productivos de la ciudad.

## **2. Objetivos e hipótesis.**

### **2.1. Objetivo general.**

- Proporcionar una base de conocimientos para el aprovechamiento de los residuos verdes de la ciudad, a partir de la evaluación de su co-compostaje junto a subproductos de procesos productivos para su utilización como enmienda orgánica.

### **2.2. Objetivos específicos.**

2.2.1. Evaluar el desarrollo y duración del proceso de compostaje de cuatro mezclas de materiales, utilizando como principal insumo en todos los casos chip de poda. Para este fin se desarrollará un ensayo de co-compostaje con distintos materiales, y se procederá al seguimiento y cuantificación de indicadores de proceso.

2.2.2. Evaluar la estabilidad, madurez y calidad de los distintos compost producidos, a través de diversos índices y un ensayo de crecimiento de cultivo.

### **2.3. Hipótesis y predicciones.**

Hipótesis: La calidad de los compost estará relacionada a los materiales incluidos en cada tratamiento.

Predicciones:

- El compost derivado de la mezcla con guano de gallinas ponedoras contendrá mayores niveles de nutrientes, como así también mayor pH y CE.

- El compost derivado de la mezcla con Bagazo de Malta contendrá importante contenido de N, considerando el alto contenido inicial de proteínas de este material.
- El compost obtenido de la mezcla con Césped contendrá importantes valores de P y K, además de N.

### 3. Materiales y métodos.

#### 3.1. Diseño experimental.

El ensayo se realizó en la ciudad de Neuquén capital, Provincia de Neuquén, en el predio del vivero municipal, (38°57'12.78"S, 68° 9'35.00"O; 270 msnm). El experimento comenzó en primavera 2020 y finalizó en primavera 2021. Las temperaturas medias para ese período variaron entre 7 y 24°C, las precipitaciones totales fueron de unos 167 mm (figura 1), y en todos los meses se registraron ráfagas de viento que superaron los 60 km/h.

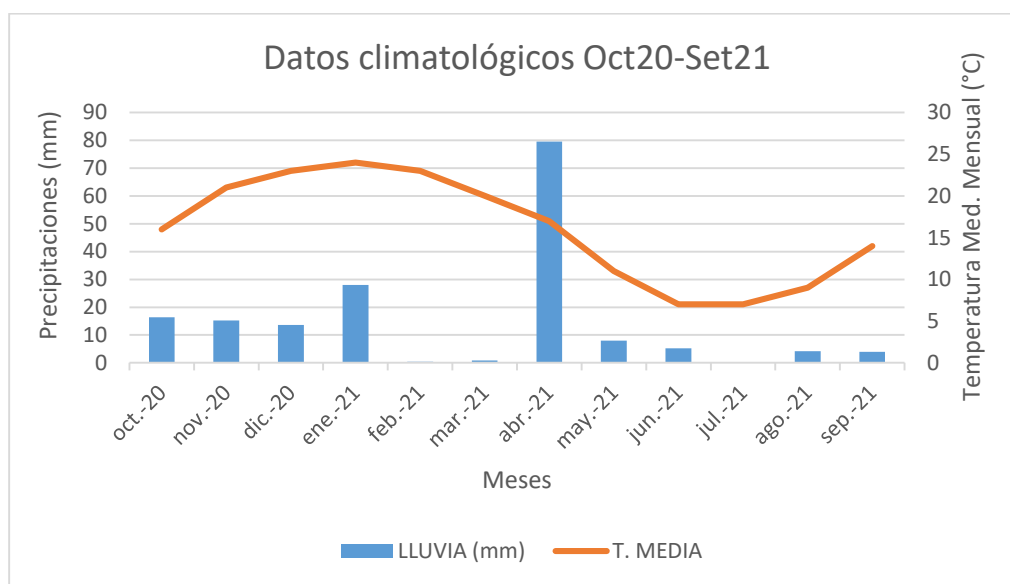


Figura 1. Datos climatológicos Oct20-Set21 (Meteored, Aeropuerto Pte. Perón (SAZN) e Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2021).

El ensayo se estableció en un predio de 75 m por 30 m. La ubicación de las pilas en el predio estuvo determinada por la posibilidad de inundación y anegamiento. En el cuadro del ensayo se encuentra un rodal de árboles que deben ser regados semanalmente, por esta razón para evitar el ingreso de agua al sector de los ensayos, se realizó una contención sobre la entrada de agua de la acequia (figura 2). Se dispusieron 12 posiciones iniciales y se sorteó la posición de cada pila de compostaje.

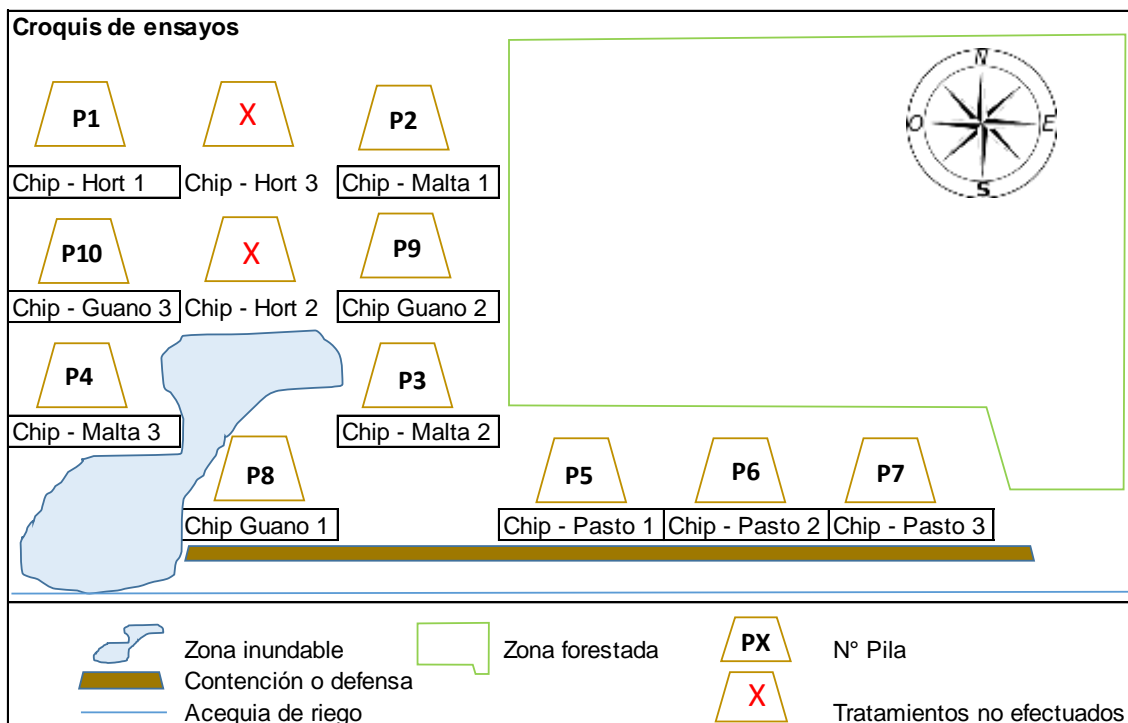


Figura 2. Croquis de ensayos. Pilas distribuidas en función de espacio disponible, área inundable, defensa, y área forestal.

### 3.1.1. Definición de tratamientos y armado de pilas de compostaje.

Los materiales que se utilizaron son residuos abundantes en la región: chip de poda, guano de gallinas ponedoras, césped cortado, bagazo de malta y restos de hortalizas. El chip de poda utilizado fue provisto por el área de Limpieza Urbana de la Municipalidad de Neuquén, y se utilizó como material en común para todos los tratamientos. El guano de gallinas ponedoras (mezcla de excretas, huevos rotos y plumas) fue provisto por una avícola ubicada en el ejido de la ciudad, la cual posee un sistema automático de recolección y descargas por cintas, lo que permitió el envío de un camión con todo el material necesario. El césped cortado fue facilitado por el Club de Rugby Neuquén cuyo predio es lindante al vivero. El material fue extraído de una gran parva realizada una semana antes de iniciadas las pilas. El bagazo de malta utilizado lo aportó una cervecería de la ciudad de Cipolletti y otra de Neuquén. Por último, se utilizaron restos de hortalizas provistos por el Mercado Concentrador del Neuquén, pero su volumen fue insuficiente para realizar



repeticiones por lo cual solo se informa de manera exploratoria ya que no fue posible realizar los análisis estadísticos.

En octubre/noviembre 2020, se armaron pilas de entre 1,6 y 3,5 m<sup>3</sup>. Las diferencias en los volúmenes totales entre tratamientos, se debieron a problemas en la disponibilidad de algunos materiales y de logística al momento del armado de las pilas. Para esta tarea se utilizó una carretilla de volumen conocido, la cual sirvió como referencia para equilibrar las mezclas iniciales (figura 3).

Los tratamientos fueron los siguientes:

- 1) Chip de poda + Bagazo de malta (en relación v/v 1:1 y volumen total de pilas de 1,6 m<sup>3</sup>);
- 2) Chip de poda + Césped verde (en relación 1:1 y volumen total de pilas de 2 m<sup>3</sup>);
- 3) Chip de poda + Guano de gallinas ponedoras (en relación 1,2:1 con volumen total de pilas de 2,2 m<sup>3</sup>).
- 4) Chip de poda + Residuos de hortalizas (en relación v/v 1:0,75 y volumen total de pila de 3,5 m<sup>3</sup>)



*Figura 3. Armado de pila de Chip de poda y bagazo de malta. Descarga y medición de volumen de material (a), mezcla inicial de materiales (b), y finalización de armado de pila (c).*

Durante el armado de las pilas, se humedeció el material para lograr una humedad inicial de la pila de un 50-65 %, de acuerdo al método del puño (descrito luego en punto 3.2.1). Esto fue especialmente necesario en el Chip de poda, cuyo nivel inicial de humedad fue de 17,8 %.

La secuencia de armado de las pilas, se realizó en función de la disponibilidad de los materiales, y capacidad operativa en el contexto de pandemia (tabla I).

<b>Fecha</b>	<b>N° Pila</b>	<b>Material 1</b>	<b>Vol. (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Material 2</b>	<b>Vol. (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Vol. Total (m<sup>3</sup>)</b>
14-oct	2	Chip Poda	1,5	Bagazo de malta	1,5	3
17-oct	3	Chip Poda	0,8	Bagazo de malta	0,8	1,6
19-oct	4	Chip Poda	0,8	Bagazo de malta	0,8	1,6
22-oct	5	Chip Poda	1	Césped verde	1	2
22-oct	6	Chip Poda	1	Césped verde	1	2
23-oct	7	Chip Poda	1	Césped verde	1	2
9-nov	8	Chip Poda	1,2	Guano de ponedoras	1	2,2
10-nov	9	Chip Poda	1,2	Guano de ponedoras	1	2,2
27-nov	10	Chip Poda	1,2	Guano de ponedoras	1	2,2

*Tabla I. Control de armado de pilas. (Vol.=volumen)*

Se realizaron volteos manuales con horquilla y pala periódicamente con el objetivo de controlar la temperatura, homogeneizar las muestras, y agregar humedad por la deshidratación debido a los vientos, altas temperaturas ambientales, y baja humedad relativa. Se realizaron entre 5 y 8 volteos durante el período del ensayo (tabla II).

N° Pila	Tratamiento	Cantidad volteos	Días desde armado de pila
1	Chip+Hotalizas	3	14,34, 191
2	Chip+Bagazo de Malta	5	37,47, 62, 89, 187
3	Chip+Bagazo de Malta	5	35, 45, 60, 87, 184
4	Chip+Bagazo de Malta	5	32, 42, 57, 84, 182
5	Chip+Césped	5	16, 18, 34, 84, 197
6	Chip+Césped	5	16, 18, 34, 84, 197
7	Chip+Césped	5	15, 17, 33, 83, 196
8	Chip+Guano de Ponedoras	8	3, 11, 17, 24, 36, 65, 105, 161
9	Chip+Guano de Ponedoras	8	3, 10, 16, 23, 35, 64, 104, 160
10	Chip+Guano de Ponedoras	5	6, 18, 47, 87, 143

*Tabla II. Información de volteo de pilas.*

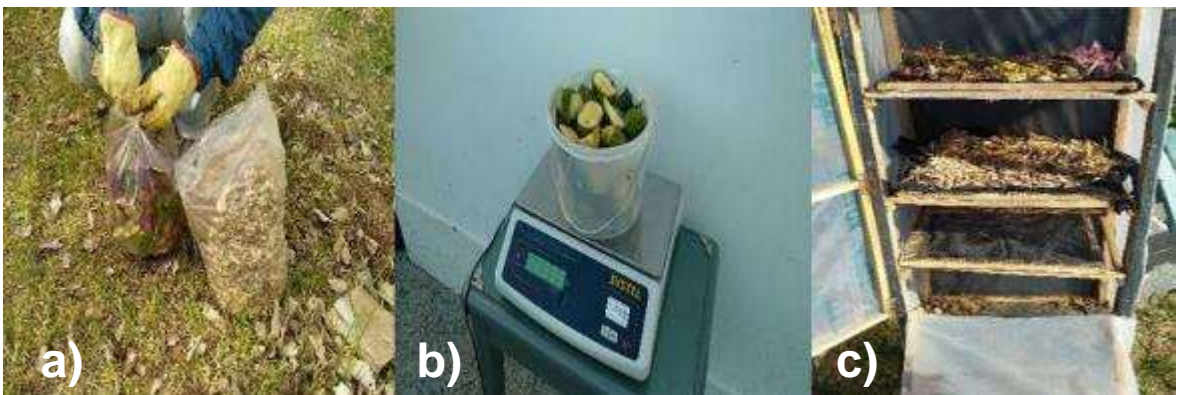
Durante el desarrollo del proceso, se han modificado las condiciones de algunas pilas por situaciones imprevistas. En el caso de las pilas que contenían bagazo de malta, se colocó una media sombra para evitar que los pájaros disminuyeran la cantidad de material, ya que se observaron bandadas muy grandes sobre las pilas los primeros días (figura 4 a y b). Respecto a las pilas con pasto verde, ante la observación de la gran deshidratación que sufrían las pilas, se armaron estructuras de contención y sombreado con pallets y media sombra, con el fin de evitar la gran pérdida de humedad (figura 4 c).



*Figura 4. Presencia de aves en pilas de granos (a), protección de pilas con granos (b), y estructuras para disminuir desecamiento en pilas con césped (c).*

### 3.1.2. Muestreo de las pilas.

Para la caracterización de los materiales iniciales se tomaron muestras de los materiales individuales formadas por tres sub muestras tomadas de las pilas de acopio. Para la caracterización de los tratamientos a lo largo del tiempo, se tomaron tres sub muestras de cada una de las pilas ( $n=3$ ). Las mismas fueron pesadas, y secadas en horno y en deshidratador solar de alimentos (figura 5).



*Figura 5. Toma de muestras (a), pesaje de muestras (b), secado en deshidratador solar de alimentos (c).*

Se muestrearon las pilas una vez observados cambios en la textura de los materiales, y finalizada la etapa termofílica en todas las pilas. Dado que las pilas

fueron armadas en distintas fechas, y los muestreos realizados para todas las pilas el mismo día, en la tabla III se indica la fecha de toma de muestras, y el tiempo transcurrido (días) desde el armado de la primer y última pila muestreada. De cada pila se tomó una muestra compuesta de tres sub muestras, extraídas de entre 20 y 40 cm de profundidad.

<b>Muestreos</b>	<b>Fechas</b>	<b>Rango de días de muestreo (posteriores al armado)</b>
Muestreo inicial	10/10 al 27/11	1
Muestreo 2	3/3/2021	96 - 144
Muestreo 3	28/5/2021	182 - 230
Muestreo 4	12/8/2021	258 - 306
Muestreo 5	14/9/2021	291 - 339

*Tabla III. Muestreos realizados y rango de días transcurridos desde armado de primer y última pila muestreada.*

Las muestras fueron tamizadas (1 cm de malla), secadas al aire y analizadas para pH, conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), N Kjeldahl, amonio, nitratos y Carbono Soluble en Agua (CSA). Además, en las muestras obtenidas en los muestreos 2, 3, 4 y 5, se guardó una porción fresca para evaluar actividad respiratoria (ver Sección 3.3). La determinación de madurez se realizó a través del índice de germinación, y niveles de amonio. Finalmente, en las muestras de producto final se evaluaron microorganismos patógenos (ver Sección 3.3).

### **3.2. Parámetros de seguimiento del compost.**

#### **3.2.1. Humedad.**

En cada volteo, se agregó agua en las cantidades necesarias para garantizar entre un 50-65% de humedad. Los riegos fueron manuales con manguera, evitando que haya excedentes que generen lixiviados. Se controló la humedad a través del método del puño cerrado (FAO, 2013) diariamente durante los primeros meses, y



luego dos veces por semana. Brevemente, el método consiste en introducir la mano en la pila, sacar un puñado de material y abrir la mano. El material debe quedar apelmazado pero sin escurrir agua (figura 6).

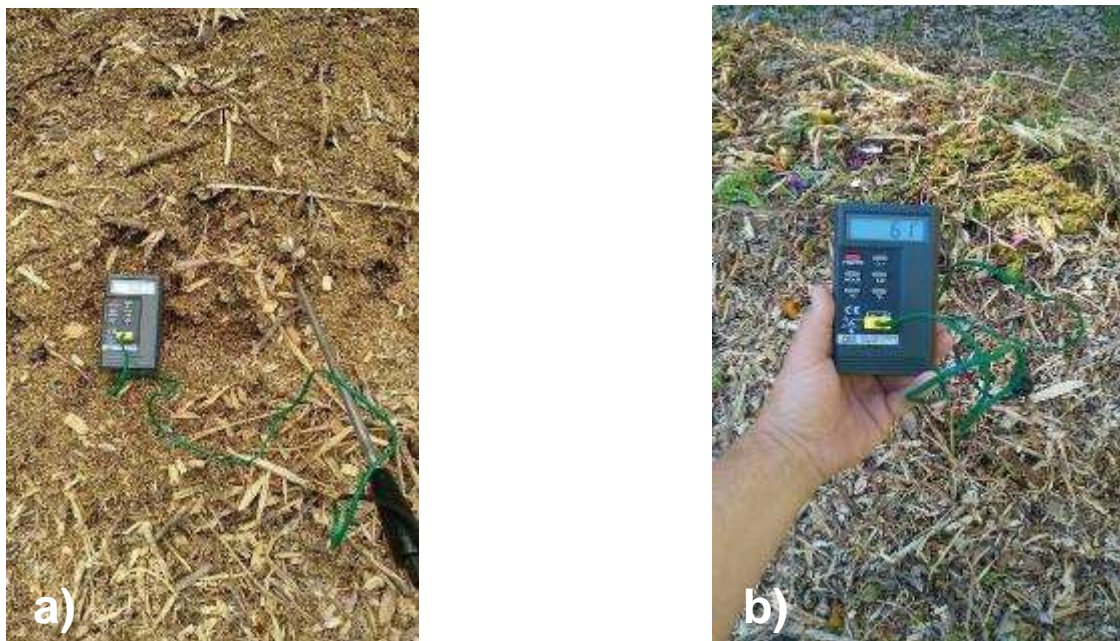


*Figura 6. Control de humedad con método del puño cerrado (a, b, y c).*

Además, en los meses de mayores temperaturas se realizaron riegos superficiales una vez por semana para evitar la excesiva deshidratación. Se regó en forma de lluvia con manguera garantizando el ingreso de agua a la pila, y evitando la escorrentía superficial y los lixiviados.

### 3.2.2. Temperatura.

Durante los primeros dos meses, se midió la temperatura diariamente y luego se midió día por medio. En los últimos meses de proceso, la temperatura se controló de una a dos veces por semana. Se utilizó para la medición un Termómetro TES 1310, con termocupla Tipo K, de 1 m de longitud (figura 7). En cada pila se tomaron 6 mediciones: a una altura de mitad de pila en sus dos extremos y medio, y en dos profundidades (30 y 50 cm).



*Figura 7. Medición de temperatura (a y b).*

### 3.2.3. Densidad Aparente.

Este parámetro relaciona la masa del material sólido y el volumen que ocupa en condiciones determinadas incluyendo el espacio poroso entre partículas. Para esto se pesó una cantidad determinada de material contenido en volumen conocido, sin compactarlo. Se calculó la densidad de las muestras iniciales y de los sucesivos muestreos.

### 3.3. Metodología de análisis de laboratorio del compost.

El análisis de las muestras fue realizado por el Laboratorio de Agua y Suelos del Centro Regional Universitario Bariloche (Grupo de suelo - CRUB).

La humedad se determinó por método gravimétrico, en deshidratador solar, hasta peso constante. La conductividad eléctrica (CE), pH y CSA se determinaron en extracto acuoso (1:10) (García et al., 1991; Laos et al., 2002). El CSA se determinó como demanda química de oxígeno (DQO) por digestión ácida y posterior determinación espectrofotométrica (APHA, 1992).

La MO se determinó calcinando la muestra en mufla a 550°C, como la diferencia del peso de la muestra y el de cenizas. El COT se determinó usando el factor 2 para convertir materia orgánica a carbono (Rynk, 1992; Barrington et al., 2002). De la ignición para determinación de C, se determinaron por espectrometría de absorción atómica: Mg, Ca, K y Na, y P con el método del molibdato-ácido ascórbico (Richards, 1993), en los materiales iniciales individuales y en mezcla, y muestreo final. El nitrógeno se midió por el método de micro-Kjeldahl (N orgánico más N-NH<sup>+</sup><sub>4</sub>). Además se determinó N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y N-NH<sup>+</sup><sub>4</sub> (1:10 solución KCl 2N) por reducción en columna de Cd y por la reacción de Berthelot, respectivamente (Sparks et al. 1996). El NT se calculó como la suma de N Kjeldhal más nitratos. Las pérdidas de COT y NT durante el compostaje, fueron calculadas en base a la materia seca inicial (t<sub>0</sub>) y final (t<sub>240</sub>). Para eliminar el efecto concentración de nutrientes debido a la pérdida de materia seca, las pérdidas fueron calculadas también, por el contenido de cenizas. Para lo cual se aplicó una ecuación para pérdidas de COT (o pérdidas de NT), usando el contenido inicial (X<sub>i</sub>) y final (X<sub>f</sub>) de cenizas (García-Gómez et al., 2003):

$$\text{Pérdida de COT (\%)} = 100 - 100 [(X_i \text{ COT}_f) / (X_f \text{ COT}_i)]$$

La actividad respiratoria como índice de estabilidad, se evaluó a través de la evolución de CO<sub>2</sub> (Anderson 1982; Cooperband & Middleton, 1996). Se utilizaron muestras frescas tamizadas. Una parte de la muestra se usó para determinar humedad por gravimetría, y el resto se mantuvo en una bolsa abierta a temperatura ambiente (24 h). En un envase plástico (250 mL) se colocaron 10 g de muestra (equivalente peso seco aproximadamente). Las muestras se ajustaron a 50-60% de humedad gravimétrica, y se colocaron en frascos herméticos de 1,5 L. En estos frascos también se colocó un recipiente con 10 mL de NaOH 1 N (trampa de CO<sub>2</sub>) y otro con 10 mL de agua destilada (para mantener el ambiente húmedo). Los frascos se sellaron con cinta de embalar e incubaron a 25°C durante 72 horas. Siguiendo el mismo procedimiento, pero sin agregado de muestra de compost, se realizó un blanco. A las 24, 48 y 72 h se tituló el exceso de NaOH con HCl 0,5 N, previo precipitado de carbonatos con BaCl<sub>2</sub> (3N). Los frascos con las muestras de



compost se airearon durante 30 minutos antes de reponer la trampa de CO<sub>2</sub>, sellar y volver a incubar. La cantidad de CO<sub>2</sub> producida se calculó a partir de la diferencia de gasto de HCl de la muestra, y el blanco. La tasa respiratoria promedio (mg C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), corregida por humedad, se calculó a partir del promedio de la producción de C-CO<sub>2</sub> de los últimos dos días de incubación (Hue & Liu, 1995).

Al final del proceso, de acuerdo con las exigencias de la normativa nacional, se evaluó el número más probable (NMP) de Coliformes fecales en Chip+Bagazo de malta, Chip+Césped y Chip+Hortalizas, en una muestra compuesta por tratamiento (por cuestiones de costo), y *Salmonella* (APHA, 1999) en cada repetición del tratamiento Chip+Guano. Finalmente, se determinó el índice de germinación (IG%) utilizando semillas de Lechuga (*Lactuca sativa*) y Rabanito (*Raphanus sativus*) (Adaptado de Zucconi et al., 1981). Para esto, se realizaron extractos 1:10 (compost : agua), con agitación manual de 40 minutos, en cuatro series de 10 minutos por cada descanso de igual tiempo. Se filtró la fracción líquida con gazas plegadas, y se midió pH y CE. Luego se humedeció un papel absorbente en cada bandeja y se sembraron 10 semillas por especie, realizando cada tratamiento por duplicado para cada tipo de compost y el control (con agua destilada). Las bandejas se incubaron a 26-28°C dentro de bolsas de polietileno y recubiertas por bolsas oscuras de residuos para evitar el ingreso de luz (figura 8).



Figura 8. Ensayo de Índice de Germinación: muestra de compost (a), extractos 1:10 con agua destilada post agitación (b), filtrado con gaza (c), medición de pH y CE (d), siembra en bandejas (e), e incubación (f).

A los 4 días para rabanito y 7 para lechuga, se midió y registró el porcentaje de germinación y largo de la raíz para realizar el cálculo del índice de germinación. Este índice relaciona el porcentaje de semillas germinadas con el largo de raíz de las semillas y se calcula según la fórmula:

$$\frac{GRS \times CRR}{100}$$

Siendo el porcentaje de Crecimiento de Raíz Relativo (%CRR) calculado como:

$$\frac{\text{Longitud Raíces extracto compost}}{\text{Longitud Raíces testigo}} \times 100$$

y el porcentaje de Germinación Relativo de Semillas (%GRS) calculado como:

$$\frac{N^{\circ} \text{ semillas germinadas extracto compost}}{N^{\circ} \text{ semillas germinadas testigo}} \times 100$$

De cada tratamiento, se envió una muestra a Laboratorio de Servicios Agrarios y Forestales (LASAF) para validar los resultados obtenidos en este ensayo, debido a que para esta determinación, no se utilizaron instalaciones de laboratorio.

Todas las determinaciones fueron desarrolladas tal como lo establece el Marco Normativo para la Evaluación y Producción de Compost de la RESFC-2019-1-APN-SECCYMA#SGP (ver anexo 2 / figura 1).

### **3.4. Experimento de aplicación y crecimiento de la vegetación.**

El ensayo de crecimiento fue realizado en el invernadero de la Dirección de Agricultura Urbana de la Municipalidad de Neuquén. El diseño fue completamente aleatorizado, se utilizaron macetas plásticas con fondo perforado, y dispuestas en espacio con homogeneidad de entrada de luz, riego, temperatura, y fuera de los bancales de producción para evitar efectos externos (figura 9 a). El compost utilizado fue el resultante del tamizado con malla de 1 cm. Como especie indicadora se utilizó Rabanito (*Raphanus sativus*), por su alta sensibilidad a la fito toxicidad, y rápido crecimiento. Se sembraron 20 semillas por maceta distanciadas aproximadamente a 5 cm entre sí. El sustrato incluyó en todos los casos un 50% de “arena de voladura”, y 50% de compost. Cada muestra, estuvo compuesta por tres sub muestras provenientes de las repeticiones de los ensayos de compostaje. Todos los tratamientos se realizaron por triplicado (salvo el Chip+Hortalizas, el cual no fue evaluado estadísticamente durante el proceso de compostaje). El tratamiento testigo fue realizado por triplicado, y solo incluyó “arena de voladura”. El método de riego fue por micro aspersion con una frecuencia de 3 veces por día (cada 6 h desde las 8.30 h) y una intensidad de 6 minutos.



*Figura 9. Ensayo de crecimiento vegetal, disposición de las macetas en el pasillo de invernadero.*

Se evaluó a los 7 días el poder germinativo (PG%) en función de la cantidad de plántulas emergidas y la altura de las mismas. Posteriormente se midió longitud de las plantas a los 14, 21, y 28 días. En la última fecha de medición, se extrajeron las plantas, se lavaron con agua (figura 10 a), y se pesó el material fresco (figura 10 b). Posteriormente en deshidratador solar se secó el material hasta peso constante (figura 10 c) y se determinó la materia seca.



*Figura 10. Extracción y lavado de plantas (a), pesaje de material verde (b), y secado en deshidratador y pesajes (c y d).*

### **3.5. Análisis de Datos**

Las variables analizadas durante el proceso de compostaje (Densidad aparente, pH, CE, COT, NT, COT/NT, CSA, C-CO<sub>2</sub>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, P extractable, y elementos totales) fueron evaluadas entre tratamientos a través de un análisis de varianzas (ANOVA), y habiéndose constatado los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Además, en los casos necesarios se compararon las medias mediante test de Tukey. Para evaluar posible relación entre variables indicadoras de estabilidad (CSA (%)) y respiración (Mg Kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> CO<sub>2</sub>), se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r), para cada punto de muestreo considerando los tres tratamientos. Los resultados del índice de germinación (IG%) de este estudio fueron comparados estadísticamente con los informados por el laboratorio externo, para esto se calculó media e intervalo de confianza del 95%. Para el ensayo de evaluación de uso de los compost, se tuvieron en cuenta las variables PG, altura de plantas, materia verde y materia seca. En cada fecha de muestreo se realizó un análisis de varianza ANOVA para comparar los tratamientos.

Se utilizó el software Infostat para los análisis estadísticos.

## 4. Resultados y discusión.

### 4.1. Evolución del proceso, parámetros de estabilidad y madurez del compost.

#### 4.1.1. Características del material individual y de las mezclas iniciales

La caracterización individual de los materiales utilizados para el armado de las mezclas a compostar se observa en la Tabla IV. Los valores iniciales de humedad del Chip de poda y el Césped fueron bajos debido a las características del material, y a que permanecieron a la intemperie previo al armado de las pilas (aproximadamente un mes, y una semana, respectivamente). El pH predominante de los materiales fue ácido, siendo el guano de gallinas ponedoras el único material alcalino ( $\text{pH}=7,8$ ) similar al medido en trabajos con estos materiales (Leconte, 2010; Rizzo, 2020). El mayor valor de CE también lo registró el Guano de ponedoras ( $5,07 \text{ dS m}^{-1}$ ), el cual según Burton & Turner (2003), presenta una medida directa de las sales solubles, siendo los iones principales:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , y  $\text{SO}_4^{2-}$ . Los valores de COT (%) fueron similares entre tratamientos. Respecto a Chip de madera, es característico un alto contenido de carbono en este material (Rynk et al. 1992), con valores de relación C/N dependiente de las especies, partes de la planta incluidas, y estación del año. El valor de C/N para el chip de poda de arbolado urbano utilizado fue de 97,8, desconociéndose las especies que lo componen.

En relación a los nutrientes, el Bagazo de malta presentó un alto % de NT debido a su alto contenido de proteínas; mientras que el guano de ponedoras concentró los mayores contenidos de P ( $8,2 \text{ g kg}^{-1}$ ) y Ca ( $93,2 \text{ g kg}^{-1}$ ) mostrando la misma tendencia que distintos autores en cuanto a la concentración de nutrientes totales:  $\text{Ca}>\text{K}>\text{Na}>\text{Mg}$  (Rizzo, 2020). Por otro lado, los valores coinciden con los descritos por Leconte (2010), excepto en fósforo total y disponible, siendo inferiores en este trabajo ( $0,8$  y  $2,1 \text{ g kg}^{-1}$  vs.  $1,3$ - $1,6$  y  $4,2 \text{ g kg}^{-1}$ ). A pesar de que el contenido de P total en Guano de ponedoras duplicó al de Césped, el P extractable fue mayor en este último ( $2,7 \text{ g kg}^{-1}$ ). En cuanto al CSA, Bagazo de Malta ( $77,3 \text{ g kg}^{-1}$ ) y Césped ( $78,7 \text{ g kg}^{-1}$ ), muestran valores mucho más altos que el Chip de poda ( $8,7 \text{ g kg}^{-1}$ ) y Guano de ponedoras ( $28,4 \text{ g kg}^{-1}$ ). Esto estaría asociado a la presencia de azúcares remanentes en el grano de malta (luego del macerado), y a la composición celular

de carbohidratos de bajo peso molecular del césped verde, diferente al C presente en el Chip de poda relacionado a estructuras más complejas de difícil degradación como la lignina.

Variable	Chip poda	Bagazo malta	Césped	Guano ponedoras
Contenido de agua (%)	17,8	75,1	17,2	78,2
Densidad (g mL <sup>-1</sup> )	0,18	0,63	0,09	0,97
pH	5,2	4,8	5,8	7,8
CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,58	0,95	2,81	5,07
COT (%)	48,9	47,0	44,6	30,0
NT (%)	0,5	3,5	2,5	1,8
C/N (*)	97,8	13,4	18,1	16,7
CSA (g kg <sup>-1</sup> )	8,7	77,3	78,7	28,4
P extractable (g kg <sup>-1</sup> )	0,13	0,26	2,7	2,1
Elementos totales (g kg <sup>-1</sup> )				
P	0,8	5,5	3,8	8,2
Ca	6,5	1,7	5,5	93,2
Mg	0,9	2,1	2,0	3,6
K	2,7	1,6	28,0	20,3
Na	0,5	0,3	3,6	4,7

Tabla IV. Características del material individual. (\*) El C/N fue calculado a partir de los valores de COT (%) y NT (%).

Las características de la fracción fina (<1cm) de las mezclas iniciales de materiales de los cuatro tratamientos se encuentran en la Tabla V. Las mezclas iniciales presentaron pH ácidos (4,6 a 6), salvo el Chip+Guano, que presenta un pH alcalino debido al efecto predominante del guano en la fracción fina analizada. Además, la mezcla Chip+Guano presenta los valores más altos de CE (4,77 dS m<sup>-1</sup>) debido al contenido de sales solubles presentes en el Guano de ponedoras (Bárbaro et al., 2013). El CSA fue muy superior en la mezcla Chip+Bagazo, relacionado a los azúcares remanentes del proceso de macerado y lavado del grano (Ferrari et al.,

2017). La relación C/N de los tratamientos mostró valores adecuados para el inicio del proceso de compostaje en la mezcla Chip+Césped (31,5), y algo inferiores en el caso de Chip+Bagazo (19,8) y Chip+Guano (19,7) respecto al rango recomendado (25-35) (Márquez et al., 2008). Esto pudo haber sido el causante de pérdidas de N en forma de amoníaco (se percibió el olor), al ser desaprovechado por los microorganismos debido a la alta proporción de este nutriente en la mezcla de compostaje.

La pila compuesta por Chip+Hortalizas presentó valor bajo de pH, y una relación C/N más alta que los otros tratamientos (48,1), incluso elevada para el valor de máxima de C/N=40 sugerido por Rynk, (1992).

<b>Variable</b>	<b>Chip + Hortalizas</b>	<b>Chip + Bagazo Malta</b>	<b>Chip + Césped</b>	<b>Chip + Guano Ponedoras (*)</b>
Contenido de agua (%)	75,2	59,4 (4,27)	58,3 (4,33)	60,6
Densidad (g mL <sup>-1</sup> )	0,29	0,38 (0,04)	0,22 (0,03)	0,41
Fracción <1cm (%)	47,1	68,5 (9,85)	67,7 (4,11)	55,8
pH	6	4,6 (0,58)	5,9 (0,31)	7,8
Conduct. Elctr. (dS m <sup>-1</sup> )	2,7	0,9 (0,22)	2,6 (0,35)	4,8
COT (%)	46,8	48,1 (0,22)	46,8 (0,44)	35,3
NT (%)	1	2,4 (0,12)	1,5 (0,33)	1,8
C/N	48,1	19,8 (0,89)	31,5 (7,17)	19,7
CSA (g kg <sup>-1</sup> )	19,1	68,1	31,2	18,8
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	145,0	62,7	64,8	180,8
P extractable (g kg <sup>-1</sup> )	0,27	0,33	0,59	1,61
Elementos totales (g kg <sup>-1</sup> )				
P	1,3	3,6	1,8	7,7
Ca	10,8	5,2	9,8	53,3
Mg	1,5	1,7	1,4	4,0
K	7,5	8,2	11,4	15,4
Na	1,2	1,2	1,2	4,3



*Tabla V. Características de las mezclas iniciales. (\*) Ch+G no tuvo repeticiones en inicio. Se indican media, y desvío estándar entre paréntesis.*

#### 4.1.2. Perfiles de temperatura y humedad.

En todos los tratamientos se alcanzó la etapa termofílica ( $T > 45^{\circ}\text{C}$ ) entre el segundo y tercer día de iniciado el proceso (ver anexo 3 / figura 1), tal como describe Cooperband, (2002). Esto se produce por la liberación de energía de los microorganismos que comenzaron rápidamente la descomposición de los materiales más lábiles, siendo reemplazados o sucedidos en el corto plazo por microorganismos termófilos. Además, fue perceptible en el ambiente sobre las pilas el olor a amoníaco, producto de la degradación de las proteínas, y volatilización de amonio (Díaz et al., 2007; Casco & Bernat, 2008; Zubillaga et al., 2004).

La duración de la etapa termofílica está ligada a la disponibilidad de materiales degradables, y al aumento de la proporción de  $\text{CO}_2$  que puede limitar la población de microorganismos termófilos (Lavado, 2012). El aumento de temperatura por encima de las óptimas para la actividad microbiana ( $45\text{-}59^{\circ}\text{C}$ ), podría ser el motivo de la inhibición en el desarrollo o la eliminación de microorganismos, reduciendo la descomposición microbiana (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008). La muerte de la población mesófila retrasa según Díaz et al. (2007), la posterior colonización de estos organismos cuando se reduce la temperatura. Según De Bertoldi et al. (1987), una etapa termofílica de más de 5-6 semanas es excesiva, lo que refleja una descomposición extensiva y una transición tardía a la etapa de estabilización, por lo que en los tratamientos en que se observaron altas temperaturas y extendidas etapas termofílicas podríamos estar en presencia de procesos de baja eficiencia.

En Chip+Bagazo se observó un aumento rápido, llegando a temperaturas de  $50^{\circ}\text{C}$  al segundo día de iniciado el proceso pero sin superar las temperaturas óptimas, por lo que el primer volteo se realizó a luego de 7 semanas sin observar descensos de temperatura previos, ni posteriores. El objetivo fue homogeneizar e hidratar el material. La etapa termofílica se extendió unos 100 días aproximadamente (figura 11). Chip+Guano tuvo un incremento inmediato de temperaturas desde la finalización del armado de la pilas, llegando al segundo día a temperaturas superiores a  $65^{\circ}\text{C}$  y manteniéndose unos 95 días por encima de los  $40^{\circ}\text{C}$ , a pesar

de los sucesivos volteos (desde el tercer día y hasta la semana 7, cada una semana, y luego menos frecuentes) (figura 12). Se observó la desaparición de larvas de mosca presentes en el material original, luego de los sucesivos volteos. Con las elevadas temperaturas estos organismos migraban a la capa externa (3-5 cm) pero luego del segundo a tercer volteo, no se volvieron a observar. El comportamiento de la curva de temperatura es similar al que describe Leconte (2010), en compostaje de Aserrín de madera+Estiercol de gallina. En el caso de Chip+Césped en que la relación C/N (31,5) fue la más cercana al rango óptimo y la disponibilidad inicial de CSA fue mayor que en otros materiales ( $31,2 \text{ g kg}^{-1}$ ), esto posiblemente fue la causa de una muy elevada actividad biológica inicial, con temperaturas que alcanzaron los  $68^{\circ}\text{C}$  al segundo día. Durante dos semanas se observaron descensos y aumentos consecutivos hasta los  $60^{\circ}\text{C}$ , hasta que, a pesar de voltear las pilas, no volvió a aumentar la temperatura finalizando la etapa termófila prácticamente a los 20 días (figura 13).

Por último, la mezcla Chip+Hortalizas, alcanzó rápidamente la etapa termófila (figura 14), con temperaturas que superaron los  $70^{\circ}\text{C}$  al tercer día. Se observó una extensa etapa mesófila desde los 15 días hasta los 205 días aproximadamente, sin aumentos de temperatura ( $>40^{\circ}\text{C}$ ) a pesar de los volteos. La corta etapa termofílica, y posterior extensión de la actividad biológica para lograr la degradación del material orgánico, puede estar relacionado una relación C/N=48,1 elevada desde un inicio, que según Díaz et al., (2007), reduce la actividad biológica, extendiendo los tiempos para alcanzar una relación C/N apropiada. Es de destacar que este tratamiento es solo exploratorio ya que no cuenta con las repeticiones para su análisis estadístico.

Se han logrado alcanzar tanto en Chip+Bagazo, como en Chip+Guano, los 15 días con temperaturas mayores o iguales a  $55^{\circ}\text{C}$  y por lo menos 5 volteos, tal como requiere el marco normativo vigente en nuestro país en su Anexo IV para el control de patógenos (SCyMA & SENASA, 2019).

A continuación, se presentan las curvas de cada tratamiento, indicándose los momentos de volteo de las mismas. En los puntos de volteo se corrigió la humedad a través del método del puño a valores de entre 45 y 60%. Se observó el aumento

de temperatura posteriormente al volteo y agregado de agua, donde se había reducido excesivamente la humedad por las temperaturas y las condiciones meteorológicas. Lo mismo describe Leconte (2010), ante la intervención por déficit hídrico en las pilas.

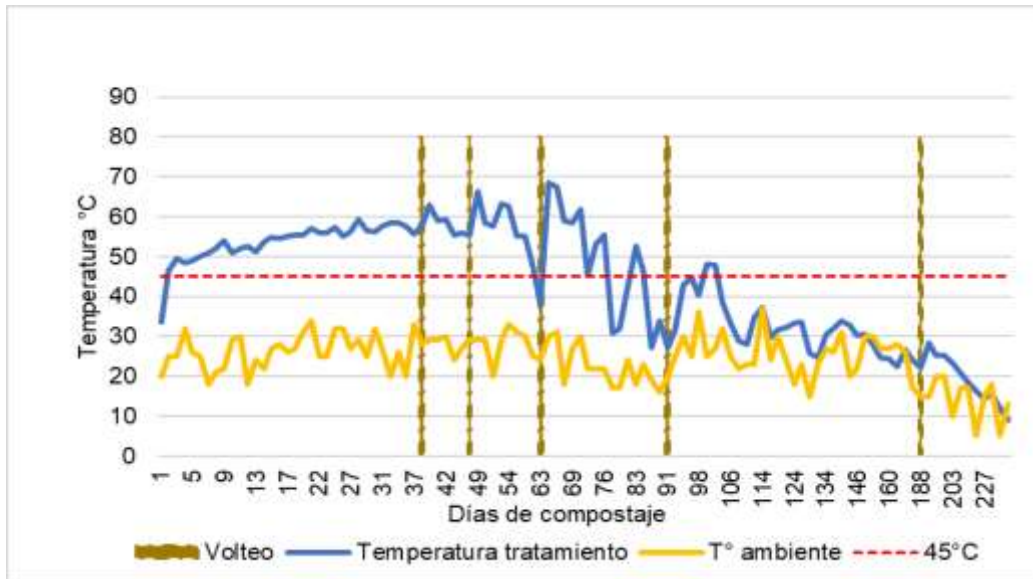


Figura 11. Curvas de temperaturas de Chip+Bagazo de malta.

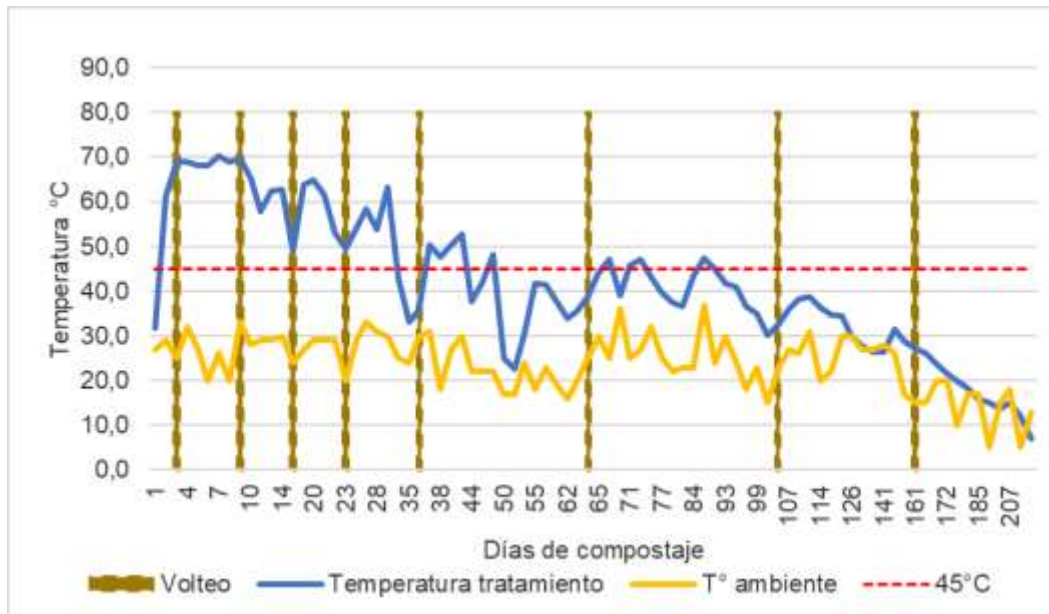


Figura 12. Curvas de temperaturas de Chip+Guano de ponedoras.

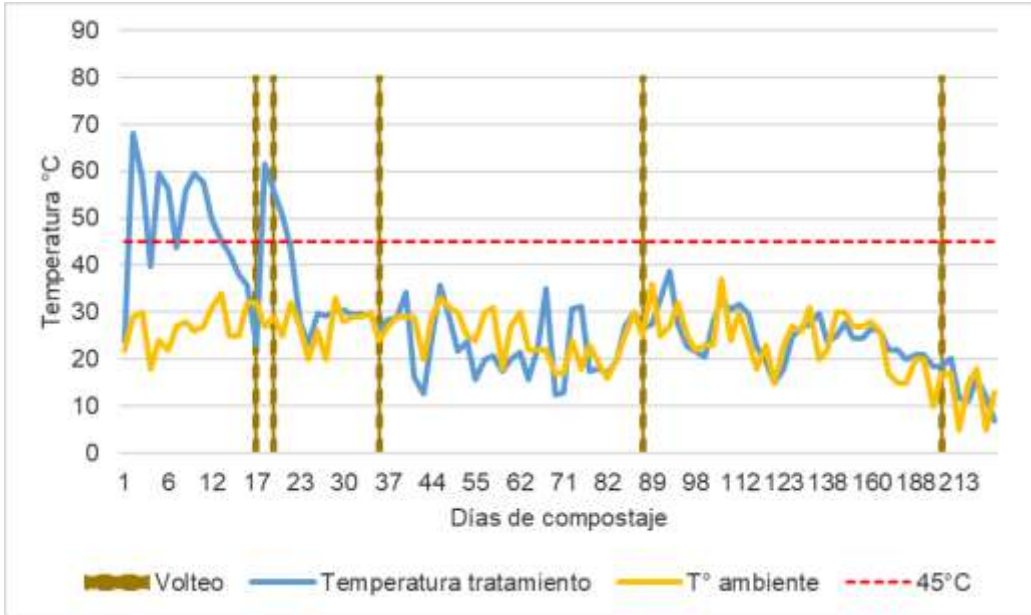


Figura 13. Curvas de temperaturas de Chip+Césped.

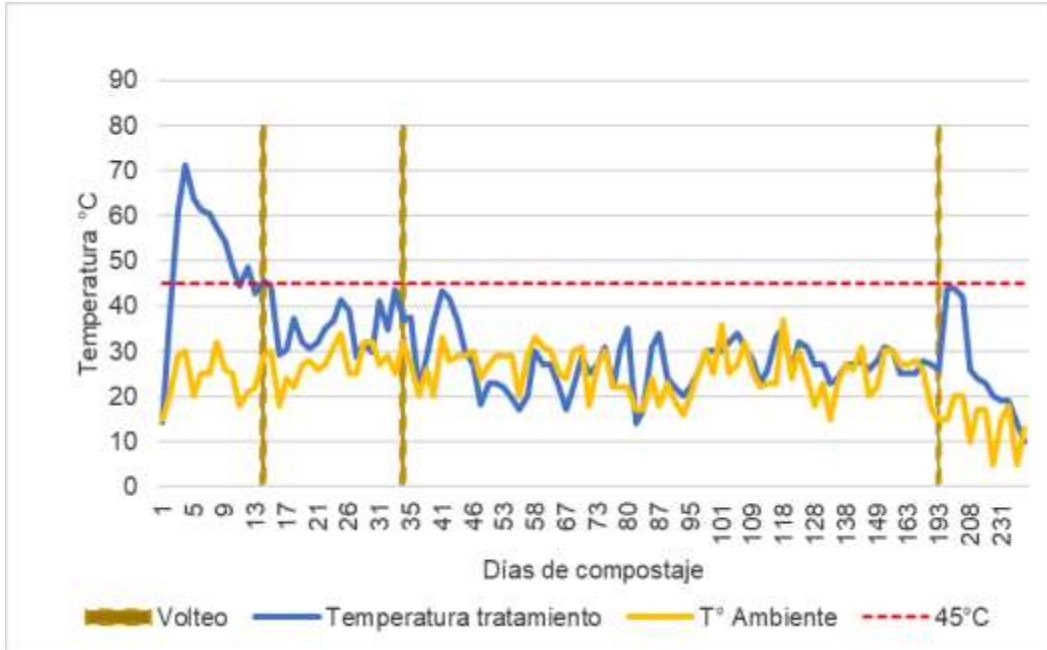


Figura 14. Curvas de temperaturas Chip+Hortalizas.

#### 4.1.3. Cambios en los parámetros físico-químicos y biológicos.

Con el avance del proceso de compostaje se observaron cambios en la coloración del material, virando del color inicial a tonos más oscuros y al final del proceso a un marrón o gris oscuro (figura 15).



*Figura 15. Colores iniciales de pilas (a) y oscurecimiento de pilas (b).*

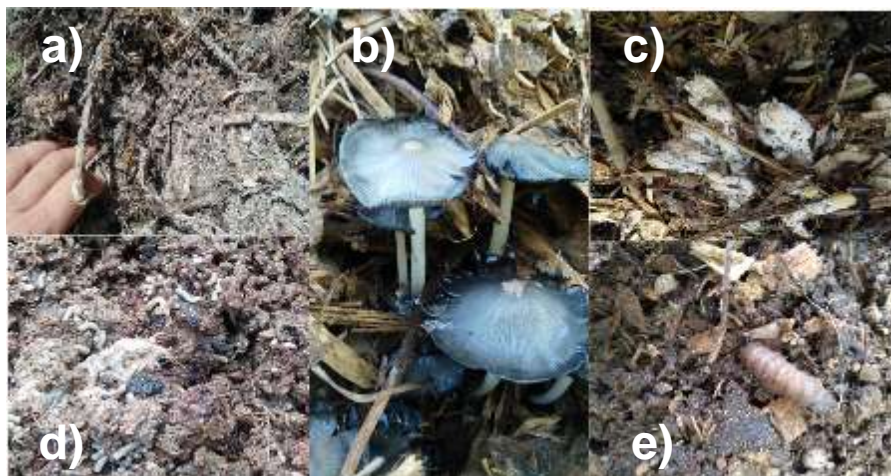
En cuanto a los olores, al comienzo, se correspondieron con los materiales constitutivos de las pilas. A partir de los 2 o 3 días, se detectó olor a amoníaco en todos los tratamientos. Se observó vapor de agua en la mayoría de las pilas una vez alcanzada la etapa termofílica (figura 16). Luego con el trascurso del proceso los olores disminuyeron, adquiriendo al final del proceso un olor agradable a “tierra negra”.





*Figura 16. Vapor de agua sobre pila en etapa termofílica.*

Se observaron cambios en la biología de las pilas, pudiendo identificarse distintas especies de hongos (micelio y estructuras reproductivas) en los diferentes tratamientos (figura 17 a y b). Además, se registró la presencia y posterior eliminación de larvas de mosca en Chip+Guano durante los primeros días (figura 17 c), y otros artrópodos que colonizaron las pilas una vez alcanzadas temperaturas mesófilas, como bichos bolita, moscas soldado (larvas (figura 17 e) y adultos), larvas de coleópteros, cien pies, entre otros. También una vez estabilizadas las pilas, se observó presencia de anélidos (lombrices).



*Figura 17. Organismos presentes en las pilas. Hongos (a, b y c), larvas de mosca (d), larva de mosca soldado (e).*

Se observó una reducción notoria en el volumen de las pilas con el avance del proceso de descomposición, estimada visualmente en un 50% menos respecto al inicial (figura 18). Existe una tendencia al aumento de la densidad aparente (figura 19) a través de los muestreos, aunque solo Chip+Césped muestra diferencias significativas entre el inicio y final del proceso. Esto podría estar debido a la variabilidad entre repeticiones, y/o a que no fueron eliminadas las partículas mayores a 1cm previo al pesaje, considerando que no se realizó compactación del material.



Figura 18. Tamaño de pilas durante etapa termofílica (a) y pilas al final del proceso (b).

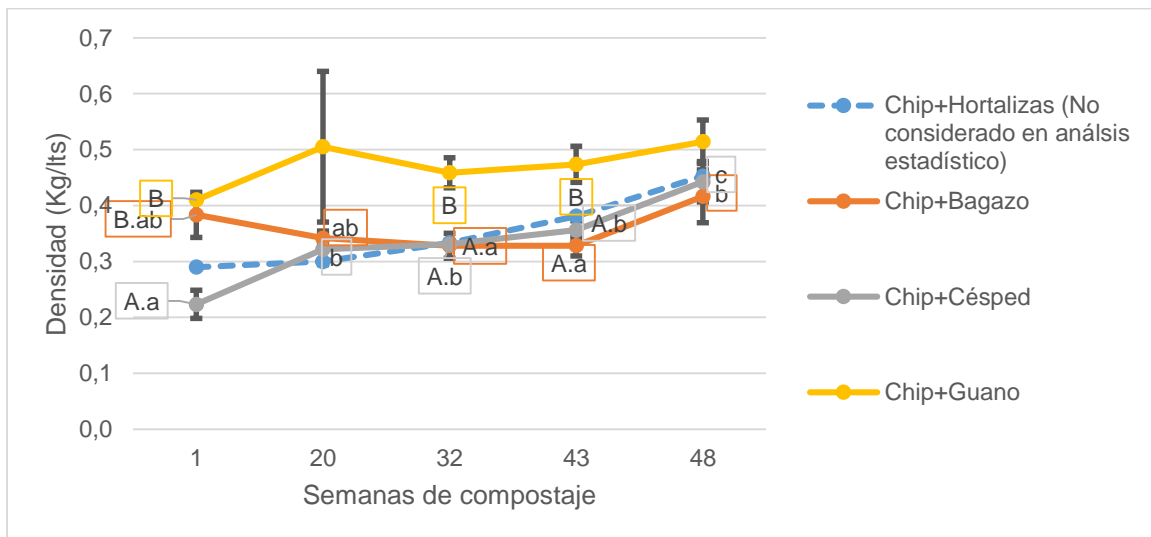


Figura 19. Evolución en el tiempo de la densidad aparente de los tratamientos. Se indican medias y desvío estándar.

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para una misma fecha, y letras minúsculas distintas indican diferencias en el tiempo para un mismo tratamiento (ANOVA:  $p < 0,05$ ; Test de Tukey).

En relación al pH, salvo la mezcla Chip+Guano (pH= 7,8), los demás tratamientos presentaron valores ácidos (figura 20). Con el avance del proceso (0-20 semanas), los valores se incrementaron en todos los casos, producido por la alcalinización del medio que genera la proteólisis, con generación de amoníaco, y la pérdida de ácidos orgánicos, tal como describen algunos autores (Pagans et al., 2006; Márquez et al., 2008). En Chip+Bagazo y Chip+Césped hubo un incremento significativo hasta las 43 semanas y luego una tendencia a disminu. En Chip+Guano se observó un aumento significativo de 7,8 a 9,9 a las 20 semanas, y luego una disminución a 9,2 a las 48 semanas de proceso, aunque la misma no fue significativa. El descenso de los valores podría estar relacionado a la producción de compuestos húmicos, y el pasaje de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$  (Sánchez Monedero et al., 2001). A pesar de esta disminución, los valores finales son superiores a los descritos en trabajos similares (Leconte, 2010; Riera et al., 2014; Delgado Arroyo et al., 2019). Esto podría estar relacionado a una menor lixiviación de sales respecto a estos trabajos, producto de diferencias en las condiciones climáticas entre los lugares en que fueron realizados.

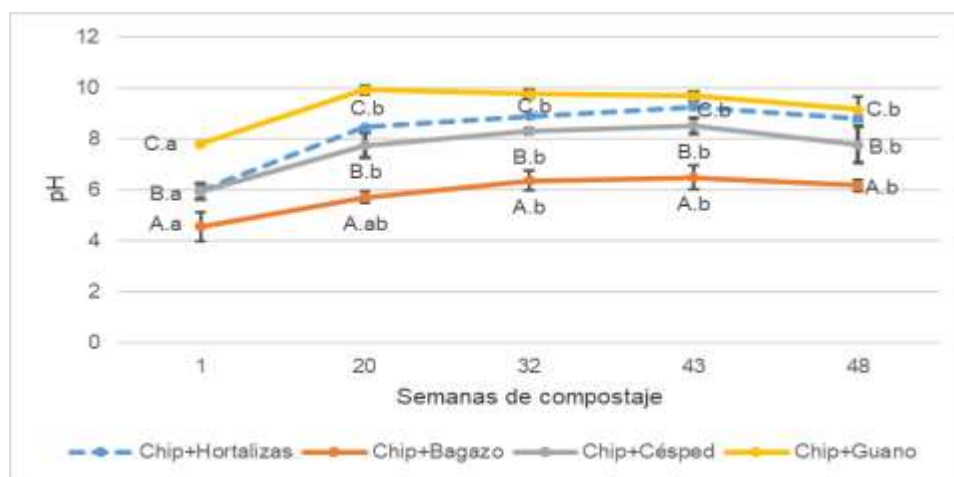


Figura 20. Evolución del pH de los tratamientos durante el compostaje. Se indican medias y desvío estándar.

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para una misma fecha, y letras minúsculas distintas indican diferencias en el tiempo para un mismo tratamiento (ANOVA  $p < 0,05$ ; Test de Tukey).



Los niveles de CE no mostraron cambios significativos en el tiempo, salvo en Chip+Césped donde disminuyó de 2,58 al inicio a 1,39 dS m<sup>-1</sup> a las 20 semanas (figura 21). En Chip+Bagazo se notó una tendencia al aumento en el segundo muestreo (20 semanas), que se corresponde con un crecimiento en los niveles de amonio. En los otros tres tratamientos (Chip+Guano, Chip+Hortalizas y Chip+Césped) en que la CE inicial fue más alta, como así también la concentración inicial de amonio, la CE tendió disminuir en el segundo muestreo (semana 20), producto de la nitrificación y posible lavado de sales. El comportamiento de los tratamientos es normal considerando el tiempo transcurrido entre el inicio y primer muestreo por lo anteriormente nombrado, pudiendo haberse registrado un aumento de CE durante las primeras semanas, por la liberación de amonio producto de la degradación de proteínas. Finalizado el proceso no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en cuanto a CE, aunque las mismas podrían no evidenciarse por la alta variabilidad registrada de los tratamientos.

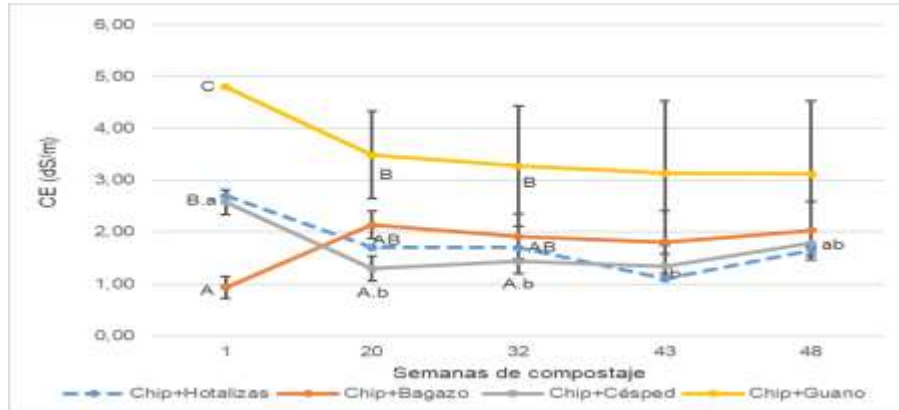


Figura 21. Evolución de la CE.

Se indican medias y desvío estándar. Las letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para una misma fecha, y letras minúsculas distintas indican diferencias en el tiempo para un mismo tratamiento (ANOVA:  $p < 0,05$ ; Test de Tukey).

El COT disminuyó significativamente en todos los tratamientos, en un 7,9% en Chip+Bagazo, 8,7% en Chip+Césped y 15,1% en Chip+Guano a las 48 semanas

de proceso respecto al muestreo inicial (figura 22 a). Al calcular las pérdidas de COT% por unidad de ceniza, estas pérdidas son mucho más evidentes alcanzando valores de entre 74,5-83,6%. Es importante considerar la fracción > 1 cm que no ha sido analizada, y la cual corresponde principalmente a material carbonado. La degradabilidad de los chips de madera, depende en gran parte del contenido de lignina por la resistencia de este material al ataque microbiano. Haug (1993), plantea para la celulosa y hemicelulosa un 70% de degradabilidad a corto plazo, mientras para la lignina un 0%. Es necesario para lograr que los primeros componentes se descompongan, que enzimas ligninolíticas actúen sobre parte del material más recalcitrante (Moreno Casco & Moral Herrero, 2008). Los menores valores de degradación de COT observados en Chip+Bagazo, estarían relacionados a la baja degradación de las cáscaras del grano de cebada malteada, por su considerable contenido ligno celulósico (Rivera & Leal, 2004).

La mezcla con mayor NT inicial y a lo largo del proceso fue Chip+Bagazo de malta producto del alto contenido de proteína bruta de degradabilidad moderada que aportó el bagazo de malta (Ferrari et al., 2017). Contrariamente a COT, se observó que con el transcurso del proceso, el NT fue aumentando su concentración (figura 22 b), alcanzando la mezcla Chip+Bagazo los mayores valores (3,33%), seguido por Chip+Césped (2,35%). Chip+Guano (1,6%) no ha mostrado cambios significativos. Hansen et al., (1989), reportaron una disminución del 33 % de nitrógeno durante el compostaje de estiércol de ave de corral y también encontraron que la volatilización del nitrógeno de residuos avícolas aumenta cuando los valores de pH superan a 7. Las pérdidas de N están relacionadas a las altas temperaturas iniciales y alto pH que favorecen la volatilización del amonio (Velasco-Velasco, (2016); Zucconi & de Bertoldi. 1987). En el presente estudio no hubo pérdidas de N, detectándose una concentración en aumento del N total por unidad de material, en concordancia con otros estudios (Leconte et al., 2010). Sin embargo, al calcular la concentración de NT por unidad de ceniza, se observa una disminución importante de este nutriente (Chip+Bagazo: 72,9%, Chip+Césped: 57,9%, Chip+Guano: 60,5%, y Chip+Hortalizas: 42,2%). Esto se debe a la concentración que se produce de N debido a la descomposición y mineralización del material carbonado.

En todos los tratamientos la relación C/N disminuyó desde el comienzo hasta finalizar el proceso (figura 22 c), alcanzando valores de 12 para Chip+Bagazo, 16 en Chip+Césped, 13 en Chip+Guano y 19 en Chip+Hortalizas. En todos los casos se cumple con la normativa nacional para compost clase A (ver anexo 1 / figura 3), que establece valores menores o iguales a 20 para evitar la inmovilización de N en biomasa microbiana cuando se aplica al suelo (NRCS, USDA. 2011).

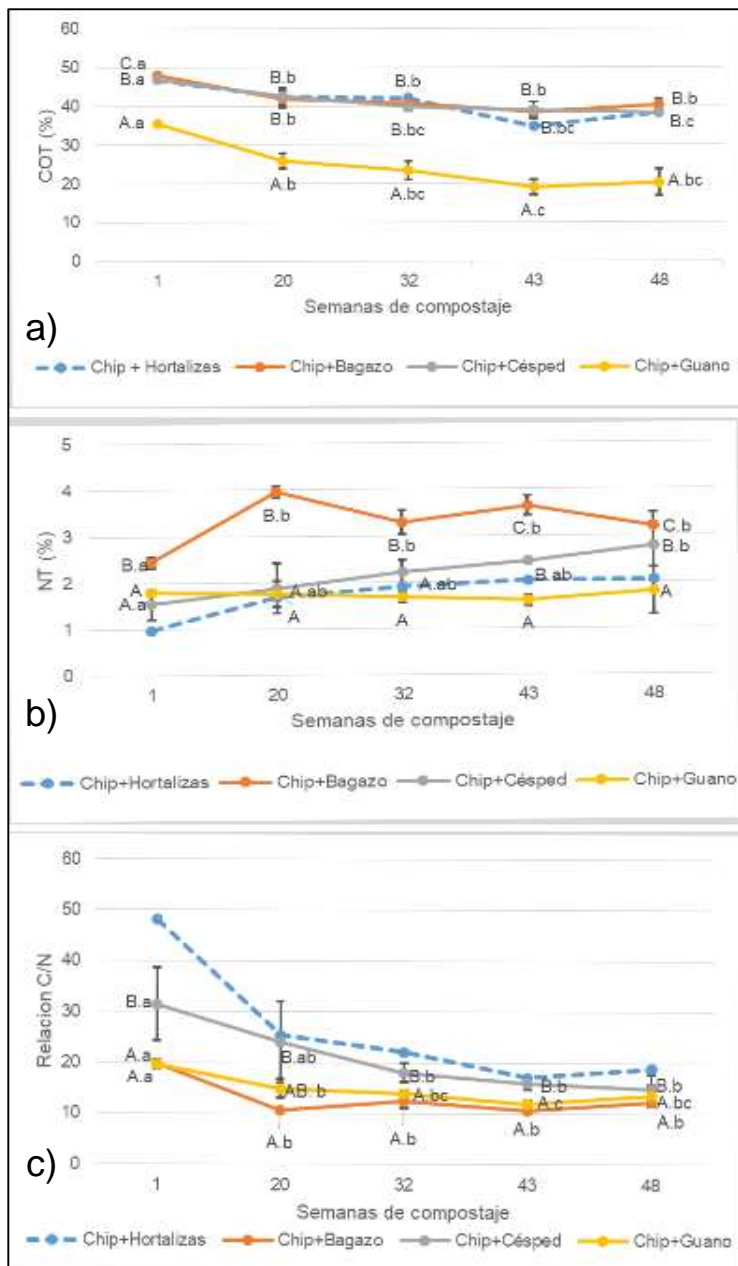


Figura 22. Evolución de Carbono orgánico total (COT) (a), Nitrógeno total (NT) (b), y COT/NT (c).

Se indican medias y desvío estándar. Las letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para una misma fecha, y letras minúsculas distintas indican diferencias en el tiempo para un mismo tratamiento (ANOVA:  $p < 0,05$ ; Test de Tukey).

El CSA mostró una disminución significativa en la semana 20 para Chip+Bagazo y Chip+Césped (figura 23). Este patrón se debe a la degradación del carbono fácilmente disponible o más lábil presente en altas concentraciones en estos materiales (Bernal et al. 1998a; Laos et al., 2002). El análisis de esta variable es fundamental para determinar la estabilidad del material, punto que será discutido en la sección de indicadores de estabilidad.

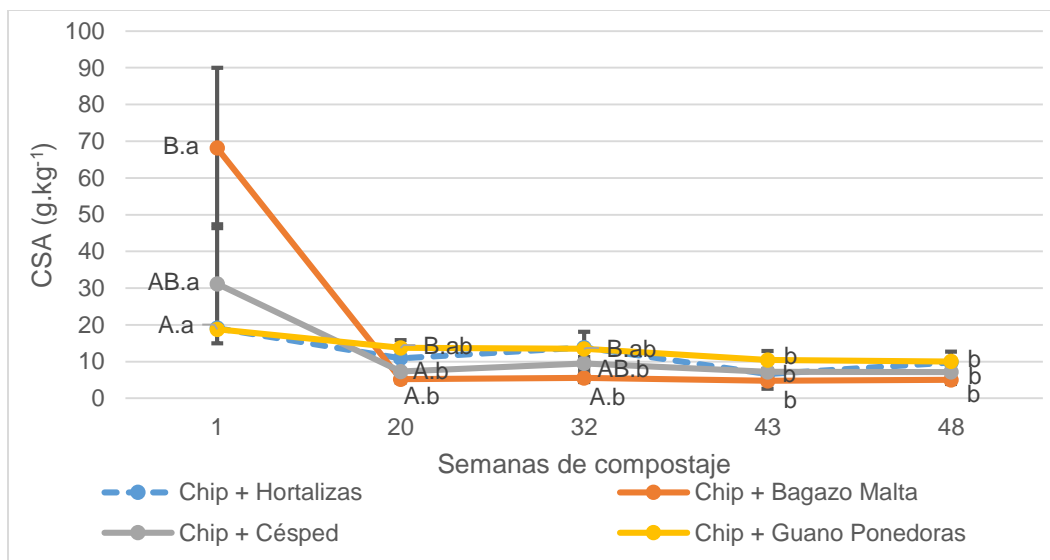


Figura 23. Evolución del Carbono Soluble en Agua (CSA). Se indican medias y desvío estándar.

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para una misma fecha, y letras minúsculas distintas indican diferencias en el tiempo para un mismo tratamiento (ANOVA:  $p < 0,05$ ; Test de Tukey).

#### 4.1.4. Evolución del CO<sub>2</sub>.

Se observó en todos los tratamientos una disminución progresiva de la actividad biológica medida como liberación de CO<sub>2</sub> (figura 24). Chip+Césped mostró mayores niveles de respiración, por ende de actividad biológica, que los demás tratamientos en todas las mediciones. Desde los primeros muestreos, se observó una baja actividad biológica en Chip+Guano, mientras que los demás tratamientos,

continuaron con alta actividad hasta los muestreos finales. Debido a los bajos niveles de CSA, la actividad mesófila registrada hasta la semana 48 en Chip+Hortalizas y Chip+Césped, podría corresponder a la descomposición de estructuras carbonadas más complejas como celulosa y lignina.

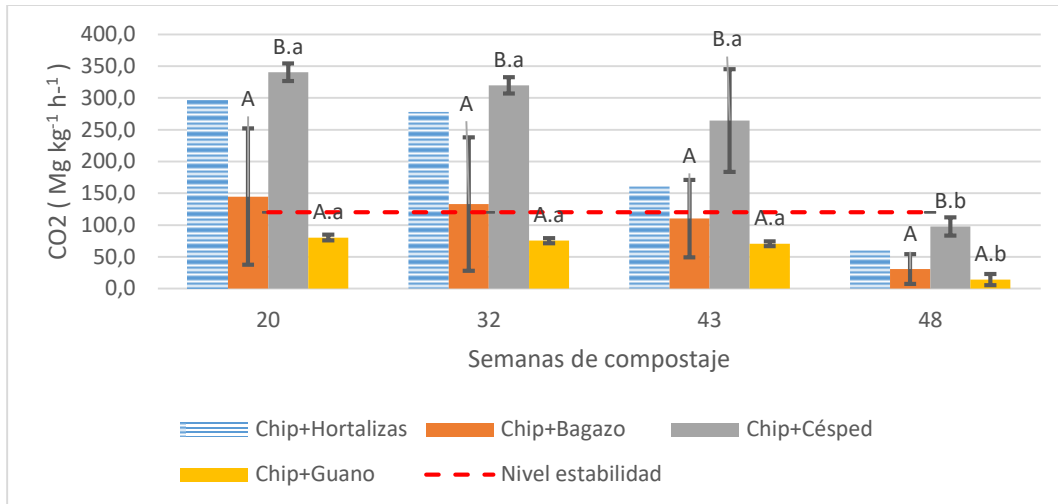


Figura 24. Evolución de CO<sub>2</sub> en distintos tratamientos y muestreos. Se indican medias y desvío estándar.

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para una misma fecha, y letras minúsculas distintas indican diferencias en el tiempo para un mismo tratamiento (ANOVA:  $p < 0,05$ ; Test de Tukey).

#### 4.1.5. Indicadores de Estabilidad

Tanto la disminución del CSA ( $< 10 \text{ g kg}^{-1}$ ), como la actividad microbiana medida como liberación de CO<sub>2</sub> ( $< 120 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ), muestran que los tratamientos han alcanzado la estabilidad de acuerdo a los límites que establece la normativa nacional (ver anexo 1 / figura 1). Sin embargo, el tiempo en alcanzar la estabilidad varió entre tratamientos y según el indicador considerado. Considerando la liberación de CO<sub>2</sub>, el primer tratamiento en alcanzar la estabilidad fue el Chip+Guano (20 semanas), mientras que Chip+Césped y Chip+Bagazo alcanzaron la estabilidad a las 48 semanas. Por el contrario, considerando el CSA, tanto Chip+Césped como Chip+Bagazo previo a la semana 20 alcanzaron los valores de estabilidad, mientras que Chip+Guano hasta la semana 48 mantuvo valores por encima de  $10 \text{ g kg}^{-1}$ .

El análisis de correlación a través del índice de correlación ( $r$ ) y el valor de significancia ( $p$ ) para cada punto de muestreo, mostró que no existe correlación significativa entre CSA y  $\text{CO}_2$  para los distintos tiempos de muestreo ( $r_1= 0,41$ ,  $p=0,27$ );  $r_2= -0,12$ ,  $p=0,75$ );  $r_3= -0,17$ ,  $p=0,67$ );  $r_4= -0,05$ ,  $p=0,89$ ). Esto podría inferir, que la actividad biológica registrada en Chip+Bagazo y Chip+Césped, no tendría relación a carbohidratos de fácil degradación, sino que los microorganismos estarían descomponiendo estructuras más complejas.

#### 4.1.6. Mineralización de N: Evolución de $\text{NH}_4^+$ y $\text{NO}_3^-$

Los niveles de amonio en los tratamientos y momentos muestreados fueron en general bajos respecto al nivel máximo establecido por la normativa nacional (figura 25), para determinar estabilidad ( $\text{N-NH}_4^+ < 400 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Posiblemente, entre el inicio del proceso y el primer muestreo (20 semanas), haya ocurrido un aumento en los valores iniciales de amonio producto de la mineralización del nitrógeno orgánico presente en los materiales iniciales no detectado en este estudio. La emisión del amonio es causada por la amonificación del nitrógeno orgánico (proteínas, aminoácidos entre otros) en la fase termofílica, alcanzando valores máximos dentro de los siete primeros días (Montalvo et al., 2018; Díaz & Savage, 2007). En distintos trabajos también se observa la disminución de los niveles de amonio por debajo del nivel de estabilidad en los primeros 100 días de proceso (Tognetti, 2007; Leconte, 2010; Rizzo, 2009). Luego con la disminución de la temperatura ocurre la transformación de  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$ , por lo que se observa en Chip+Bagazo un aumento significativo de nitratos en el muestreo de la semana 20, y una tendencia al aumento en los demás tratamientos (figura 26).

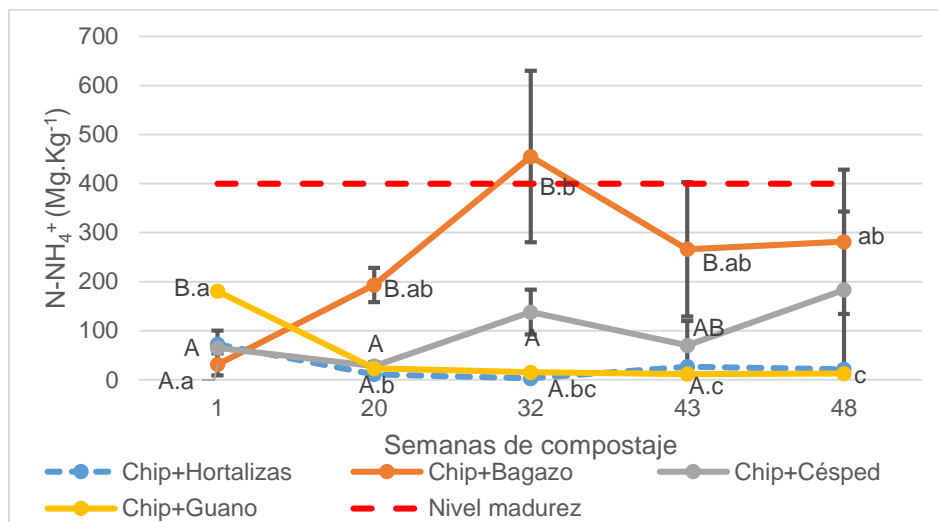


Figura 25. Evolución de  $N-NH_4^+$  ( $Mg\ kg^{-1}$ ) durante el compostaje.

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para una misma fecha, y letras minúsculas distintas indican diferencias en el tiempo para un mismo tratamiento (ANOVA:  $p < 0,05$ ; Test de Tukey).

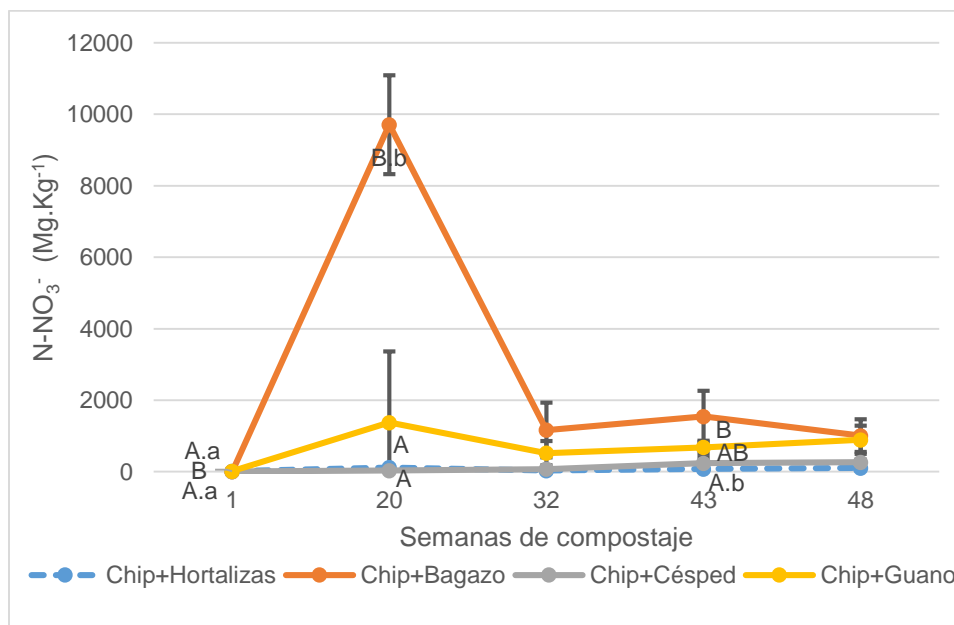


Figura 26. Evolución de  $N-NO_3^-$  ( $Mg\ kg^{-1}$ ) durante el compostaje.

Las letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para una misma fecha, y letras minúsculas distintas indican diferencias en el tiempo para un mismo tratamiento (ANOVA:  $p < 0,05$ ; Test de Tukey).

#### 4.1.7. Indicadores de patógenos y de madurez.

##### 4.1.7.1. Nivel de patógenos.

El NMP de coliformes fecales varió entre  $<0,2$  NMP  $g^{-1}$  de materia seca en Chip+Hortalizas a  $0,5$  NMP  $g^{-1}$  en Chip+Bagazo y Chip+Césped (ver anexo 5 / figuras 1 y 2). En el caso de Chip+Guano donde se evaluó presencia de *Salmonella* los valores obtenidos fueron  $< 0,26$  NMP/4 g de materia seca (ver anexo 5 / figuras 3 y 4). En todos los casos, se cumplió con el valor de referencia que se muestra en la Tabla VI, establecido por la normativa para nuestro país (ver anexo 1 / figura 2).

Tratamientos	Ch+H	Ch+B	Ch+C	Ch+G	Valor de referencia
NMP/Gr MS Fecales	$< 0,2$	0,5	0,5		$< 1000$
NMP/4 Gr MS <i>Salmonella</i> spp.				$< 0,26$	$< 1$

Tabla VI. Determinaciones de microorganismos patógenos.

##### 4.1.7.2. Índice de germinación.

Los resultados obtenidos de los ensayos de germinación con las dos especies utilizadas, Lechuga (*Lactuca sativa*) y Rabanito (*Raphanus sativus*), se observan en la Tabla VII.

Tratamientos	Chip + Hortalizas	Chip + Bagazo Malta	Chip + Césped	Chip + Guano Ponedoras
Ph del extracato 1:10	8,9	6,5	8,2	9,5
CE del extracato 1:10	0,42	0,47	0,68	1,67
<b>Lechuga</b>				



GRS %	157	124 (45,9)	124 (29,7)	138 (29,7)
CRR %	117	102 (17,9)	116 (5,7)	153 (42,8)
IG %	184	125 (48,5)	144 (41,8)	220 (109,6)
<b>Rabanito</b>				
GRS %	95	102 (3,0)	96 (3,0)	89 (9,1)
CRR %	114	230 (32,9)	194 (32,2)	230 (34,1)
IG %	108	234 (29,8)	188 (32,8)	207 (49,5)

*Tabla VII. Medias y desvío estándar de germinación relativa de semillas (GRS), crecimiento relativo de raíces (CRR) e índice de germinación (IG), utilizando lechuga (*Lactuca sativa*) y rabanito (*Raphanus sativus*) para los distintos tratamientos a las 48 semanas.*

Se observó que tanto GRS% como CRR% y por consiguiente el IG% en Lechuga dieron valores mayores a 100%, lo cual indica que la germinación y el crecimiento de raíces fueron mayores que el tratamiento testigo (Tabla VII). En el ensayo con Rabanito, GRS (%) mostró valores cercanos a 100% y los valores de CRR (%) mostraron crecimientos de raíces superiores a las bandejas testigo (figura 27). En términos generales, los valores de IG son mayores a 60% por lo que no existiría fitotoxicidad en los compost de acuerdo a lo establecido en la normativa nacional (ver anexo 1 / figura 1). Además, en todos los casos, los valores están por encima del 100% lo que sugiere que podrían ser considerados fitoestimulantes según Zucconi et al., (1981).



*Figura 27. Ensayo de Índice de germinación. Bandejas: Testigo (a), Chip+Bagazo de Malta (b), Chip+Césped (c), y Chip+Guano (d).*

<b>Muestra / Tratamiento</b>	<b>Análisis</b>	<b>Especie</b>	<b>Valor IG (%)</b>	<b>Prom. Análisis IG (%)</b>
<b>1 Chip+Hotalizas</b>	Propio	Lechuga	177	143
		Rabanito	108	
	Laboratorio	Trigo	176	
		Rabanito	107	
<b>2 Chip+Bagazo de Malta</b>	Propio	Lechuga	177	198
		Rabanito	220	
	Laboratorio	Trigo	201	
		Rabanito	63	
<b>7 Chip+Césped</b>	Propio	Lechuga	132	171
		Rabanito	209	
	Laboratorio	Trigo	192	
		Rabanito	153	
<b>9 Chip+Guano</b>	Propio	Lechuga	183	224
		Rabanito	264	
	Laboratorio	Trigo	172	
		Rabanito	167	

*Tabla VIII. Comparación de los resultados del ensayo propio de Índice de germinación con los resultados del laboratorio de suelos (LASAF). Solo se indica el valor de las muestras seleccionadas para la comparación.*

La comparación de los resultados del IG del ensayo propio con los resultados de las muestras analizadas en laboratorio de suelos (LASAF; ver anexo 4 / figuras 1 y 2) se muestran en la Tabla VIII. En todos los casos, las muestras analizadas en el laboratorio de suelos se encuentran dentro del intervalo de confianza (95%) de los valores determinados en el ensayo propio (figura 28). La excepción fue la Muestra 2 con rabanito, ya que el valor obtenido por el laboratorio estuvo por fuera de rango. Esto sugiere, que en general, ambos análisis (laboratorio y propio) concuerdan con los resultados obtenidos de las muestras analizadas.

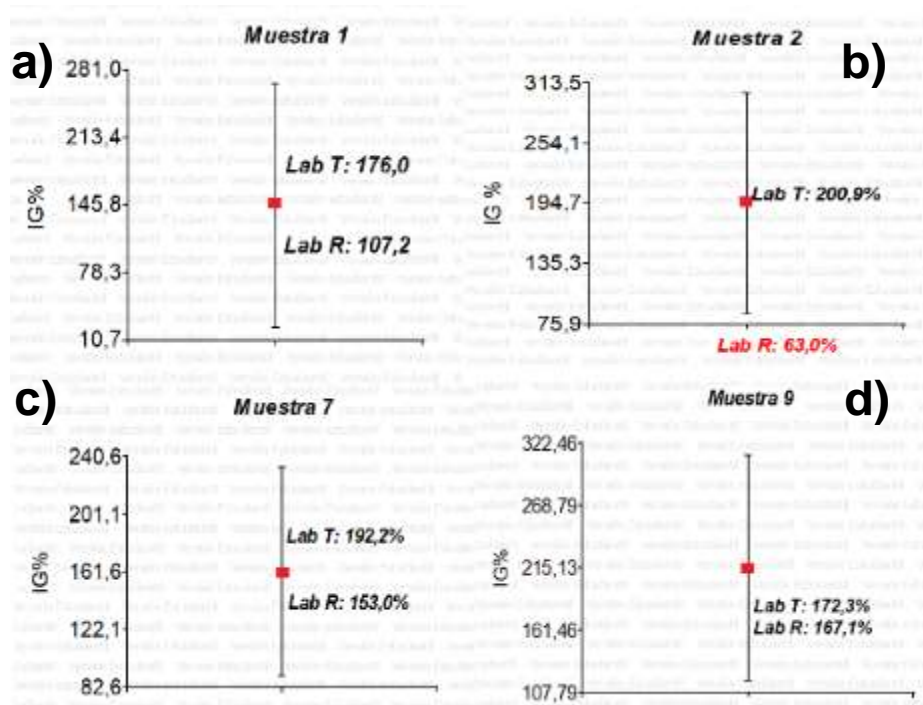


Figura 28. Intervalos de confianza (95%) para los valores de IG% de muestras analizadas en el ensayo propio.

Se indica en color el promedio de los valores obtenidos en el ensayo propio. Muestras: Chip+Hortalizas (a); Chip+Bagazo de Malta (b); Chip+Césped (c); Chip+Guano (d). Las leyendas Lab T, y Lab R, hacen referencia a los valores de IG% (Trigo y Rabanito) medidos por el laboratorio LASAF.

#### 4.1.7.3. Parámetros de calidad del producto final.

Las características de los compost obtenidos se encuentran descritas en la Tabla IX. Los productos finales tuvieron pH muy distintos, desde levemente ácido (Chip+Bagazo; pH=6,2) a básicos como Chip+Guano, cuyo pH fue el más alto (9,2). La CE fue alta (entre 1,79 - 3,12 dS m<sup>-1</sup>) superando en Chip+Guano el valor crítico de 2,5 dS m<sup>-1</sup> indicado por Rynk (1992), para su uso como sustrato. La relación C/N final (entre 12 y 19) está por debajo de 20, lo que indica una relación adecuada para su utilización, con valores altos de N total (1,79 a 3,20%). En cuanto a la composición de nutrientes, Chip+Guano duplicó aproximadamente en Na, K, Mg y P a otros tratamientos, y mostró valores muy altos de Ca (128 g kg<sup>-1</sup>), que con pH cercanos a 8 podría estar asociado al Ca formando fosfato de calcio de baja solubilidad (Rizzo, 2009; Mazzarino et al., 2012). Asimismo, tanto los valores de P

extractable de Chip+Guano ( $1,4 \text{ g kg}^{-1}$ ), como los de los demás tratamientos (Chip+Bagazo:  $1,1 \text{ g kg}^{-1}$ ; Chip+Césped:  $0,9 \text{ g kg}^{-1}$ ; Chip+Hortalizas:  $1,2 \text{ g kg}^{-1}$ ), exceden el valor crítico de riesgo de contaminación por lixiviación ( $>60 \text{ mg kg}^{-1} \text{ P Olsen}$ ) en suelos. En Chip+Césped y Chip+Hortalizas, se destacan los contenidos de Ca y K presentes en los materiales verdes iniciales. En cambio en Chip+Bagazo, el N, P y Ca son los elementos en mayor proporción, incorporados los primeros dos por el residuo cervecero, y el Ca por el chip de poda.

<b>Variables</b>	<b>Chip + Hortalizas</b>	<b>Chip + Bagazo Malta</b>	<b>Chip + Césped</b>	<b>Chip + Guano Ponedoras</b>
pH	8,8	6,2 (0,24) c	7,8 (0,71) b	9,2 (0,47) a
CE ( $\text{dS m}^{-1}$ )	1,65	2,0 (0,56)	1,8 (0,58)	3,1 (1,40)
Fracción $<1\text{cm}$ (%)	69,4	67,1 (5,80)	71,7 (4,74)	71,6 (10,51)
COT (%)	38,4	40,2 (1,48) a	38,2 (0,75) a	20,2 (3,45) b
NT (%)	2,0	3,2 (0,05) a	2,8 (0,73) b	1,8 (0,51) c
COT/NT	18,9	12,3 (0,30) b	14,8 (2,83) a	13,5 (2,13) b
CSA ( $\text{g kg}^{-1}$ )	9,8	5,0 (0,35)	7,2 (3,22)	10,0 (2,69)
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	42,9	281,4 (146,91)	183,4 (159,94)	12,8 (2,08)
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	210,6	1006,9 (455,90)	264,5 (73,15)	893,3 (394,43)
P extractable ( $\text{g kg}^{-1}$ )	1,2	1,1 (0,77)	0,9 (0,28)	1,4 (0,31)
Elem. Tot. ( $\text{g Kg}^{-1}$ )				
P	3,9	7,4 (0,36) b	3,5 (0,25) c	13,6 (1,68) a
Ca	31,7	19,0(3,23) b	27,4 (2,29) b	128,0 (19,76) a
Mg	4,1	4,1 (0,28) b	3,4 (0,31) b	7,8 (0,44) a
K	10,7	4,0 (0,32) b	8,9 (1,98) ab	16,7 (6,53) a
Na	3,2	1,4 (0,22) b	2,0 (0,22) b	5,1 (1,23) a

*Tabla IX. Parámetros de calidad de los compost. Se indica media y desvío estándar entre paréntesis.*

*Letras minúsculas distintas, indican diferencias significativas entre tratamientos ( $p < 0,05$ ).*

## 4.2. Evaluación de crecimiento con compost.

El ensayo se realizó sin inconvenientes en los factores externos (riego, organismos fitófagos, temperaturas, etc.), observándose crecimiento en todas las macetas (figura 29). En la Tabla X se pueden observar los resultados obtenidos durante el ensayo de crecimiento de Rabanito utilizando sustratos que incluyen los compost de los distintos tratamientos. En relación al porcentaje de germinación no hubo diferencias significativas, superando en todos los casos el 80% de germinación en las distintas macetas. Tampoco se observaron diferencias significativas en las variables de crecimiento medidas (longitud de planta, biomasa verde, biomasa seca) entre los tratamientos. Es decir, que no se observó efecto de estimulación de crecimiento en ninguno de los casos respecto al testigo, aunque tampoco se vio afectado el crecimiento significativamente a pesar de observar a simple vista mermas en Chip+Guano. Esto es importante, considerando los valores de pH=9,2, CE cercana a 3 dS m<sup>-1</sup>, y la concentración utilizada del 50% en la mezcla. La homogeneidad en el crecimiento del cultivo podría estar ligada a la disponibilidad de los nutrientes necesarios en el corto plazo (28 días), incluso en el suelo utilizado como testigo.

Tratamiento	PG (%)	Long. Sem. 1 (cm)	Long. Sem. 2 (cm)	Long. Sem. 3 (cm)	Long. Sem. 4 (cm)	Peso fresco (gr)	Peso seco (gr)
<b>Testigo</b>	93 (5,8)	1,9 (0,38)	7,3 (1,71)	12,2 (2,04)	16,2 (1,27)	73,7 (17,79)	5,7 (1,53)
<b>Chip+Bagazo de malta</b>	88 (10,4)	1,6 (0,48)	6,6 (3,07)	11,3 (4,94)	16,8 (4,36)	84,7 (36,53)	6,7 (4,73)
<b>Chip + Césped</b>	95 (8,7)	2,2 (0,74)	8,1 (2,91)	12,8 (2,97)	18,0 (1,33)	105,0 (17,09)	9,3 (1,53)
<b>Chip + Guano</b>	92 (10,4)	1,4 (0,51)	4,9 (1,76)	8,8 (2,27)	13,2 (2,21)	53,7 (23,50)	4,0 (1,00)
<b>Chip + Hortalizas</b>	<b>95</b>	<b>1,8</b>	<b>6,52</b>	<b>12,6</b>	<b>16,7</b>	<b>87,0</b>	<b>6,0</b>

Tabla X. Resultados de ensayo de crecimiento.

Long.: indica longitud de la planta medida desde nivel de suelo a extremo de hoja más larga.

## 5. Conclusiones.

Las cuatro mezclas de materiales cumplieron el desarrollo del proceso de compostaje, alcanzado estabilidad y madurez en el producto final. La etapa termofílica fue alcanzada por todos los tratamientos entre el segundo y tercer día desde el armado de las pilas con temperaturas extremas (67° a 71°), excepto Chip+Bagazo que mostró temperaturas óptimas estables de entre 55°- 60°C (Rynk et al., 1992). Respecto a Chip+Césped y Chip+Hortalizas requieren extrema atención para evitar superar los 60°C, situación que ocurrió, y que habría producido la muerte o dormancia de los microorganismos, ralentizando el proceso. Chip+Guano se mantuvo estable con temperaturas altas, garantizando una adecuada higienización del material (>55°C durante 15 días), muy importante para la eliminación de organismos patógenos.

Chip+Bagazo alcanzó la estabilidad y madurez alrededor de las 43 semanas, con un contenido de nutrientes, pH y CE adecuados para su utilidad como abono orgánico. Respecto a Chip+Césped, la mayor duración del proceso (estabilidad a 48 semanas) podría estar relacionada a las altas temperaturas alcanzadas inicialmente, lo que podría haber condicionado posteriormente la actividad biológica.

En relación a la calidad del producto final, Chip+Bagazo y Chip+Césped reúnen características de pH y CE más adecuadas para su uso agronómico como posibles sustratos de producción hortícola u ornamental, y calificarían de acuerdo a la normativa nacional como Compost Clase A (ver anexo 1/ figura 3). Los valores de nutrientes son adecuados, y su utilización deberá ser en función de las necesidades del cultivo objetivo. En cuanto a Chip+Guano los valores de pH, CE y nutrientes fueron altos, lo que podría generar problemas en su utilización en altas proporciones. Por el alto contenido de nutrientes, la mezcla con algún componente ácido y de baja CE, podría mejorar sus posibilidades de uso. Sin embargo, al 50% en sustrato de siembra, no mostró efectos adversos sobre la producción de Rabanito, lo que no significa que a largo plazo pueda modificar las condiciones del suelo para lo que se recomienda un monitoreo periódico en los suelos utilizados. En relación a esto, se recomienda la utilización de compost de guano de gallina con valores de

CE de 1,4 a 2,7 unidades y pH de 8 a 9 al 20% en sustratos para producción de florales , (Barbaro et al., 2013). Por último, el ensayo con la mezcla Chip+Hortalizas (sin repeticiones), también mostró buenos valores de nutrientes principalmente de N, K y Ca, una CE adecuada, y un pH alcalino que determina la necesidad de su uso en mezclas con componentes más ácidos al igual que Chip+Guano. La disponibilidad de P fue muy alta en todos los compost, por lo cual se recomienda el monitoreo de P en el suelo para evitar superar el valor de 60 mg kg<sup>-1</sup> de P-Olsen recomendado como límite para evitar pérdidas por lixiviación (Mazzarino et al., 2012).

### **Recomendaciones y sugerencias.**

- Considerando los resultados obtenidos de proceso y producto final, y el objetivo general de utilizar los residuos verdes urbanos como componente principal de una enmienda orgánica, recomendaría las mezclas Chip+Bagazo o Chip+Césped, ya que poseen un contenido adecuado de nutrientes, y al mismo tiempo las variables químicas (COT, pH, CE) no generarían ningún impacto negativo en las propiedades del suelo. Por lo contrario, el aporte de materia orgánica con niveles importantes de NT, no solo contribuirá a la estructura del suelo, sino que permitirá una nutrición gradual con la mineralización de N. El contenido de Ca es importante para formar los agregados de suelo, por lo que una mezcla de ambos compost, podría significar un sustrato más completo nutricionalmente, ya que Chip+Bagazo aportaría buenos niveles de NT, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, y P, mientras que el Chip+Césped aportaría NT, Ca, y K. Es importante poder contar con productos de distinta composición nutricional para responder a distintas necesidades de uso; y a partir de un análisis de suelo y en función del cultivo, recomendar la dosis de aplicación.

- A partir de los resultados obtenidos por Leconte et al., (2010), y considerando que la fracción >1 cm al final del proceso fue mayor al 10% en Chip+Guano (28,4%), sería importante evaluar el comportamiento de esta fracción, ya que podría contener elevados valores de nitrógeno y fósforo.

- Teniendo en cuenta que los residuos orgánicos evaluados como complementos en la mezcla con Chip de Poda tienen otros posibles destinos (alimento de ganado

y generación de energía principalmente), considero de utilidad los estudios realizados para poder, en función de la disponibilidad de los mismos, llevar adelante el proceso y recomendar la utilización del producto final.

- Considerando los resultados en cuanto a disponibilidad de nutrientes de los distintos compost, se podría realizar un nuevo ensayo de co-compostaje con mezcla de los materiales utilizados. Probablemente agregando Césped a la mezcla Chip+Bagazo, pueda aumentarse el contenido de Ca y K, en caso que quisiéramos lograr un producto con mayor proporción de estos elementos.

- El control de las condiciones de humedad y temperatura podría mejorar realizando el armado de las pilas en otoño. La disminución de los vientos y la temperatura, contribuiría a un mejor manejo del proceso, ya que se evitaría la excesiva pérdida de humedad. Por otro lado, para futuros estudios, considero fundamental comenzar los tratamientos con la menor diferencia posible de tiempo entre sí, y hacer muestreos previos a las 20 semanas con el objetivo de tener mayor información relacionada a actividad biológica, transformación y liberación de compuestos nitrogenados, disponibilidad y utilización de compuestos carbonados menos complejos (CSA).

- La composición del chip de poda puede variar según la estación del año. El compostaje otoño-invernal, podría incluir las hojas secas del arbolado urbano a la mezcla inicial, ya que es un residuo de muy alta disponibilidad estacional. Además, el uso del "Chip" de forma inmediata a la poda (otoñal), favorecería la descomposición más rápida de este material por el mayor contenido de humedad en sus tejidos.

#### Futuros estudios

Existen en la región variados residuos orgánicos, como por ejemplo: orujo de fruta, residuos orgánicos domiciliarios, las hojas otoñales, biosólidos de plantas de tratamiento, entre otros, que podrían aprovecharse mediante compostaje, solos o en mezclas con chip de poda, para generar productos finales de distinta calidad y uso.



Asimismo, el ensayo realizado en el presente trabajo podría ser objeto de estudio modificando las proporciones de los componentes, utilizando otros sistemas de compostaje, e incluso repetir el diseño y proporciones pero en otra época del año. Dentro del mismo esquema podría ampliarse el campo de estudio analizando otras variables que podrían resultar de utilidad, como los componentes carbonados más complejos, que podría ayudar a predecir mejor el comportamiento de los compost en el suelo aplicado a largo plazo respecto de las características agronómicas.

## 6. Bibliografía.

- Agencia de Inversiones del Neuquén [ADI], Proyecto GIRSU, 2009.
- Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. En: Page, A.L., Miller, R.H. & D.R. Keeney (eds). Methods of soil analysis. Part 2. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, EEUU, pp 831-866.
- APHA. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Washington, D.C. USA.
- APHA. 1999. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Ed.
- Aramberri, V., 2018. Análisis ambiental de los residuos de las industrias jugueras. El caso del alto Valle de Rio Negro y Neuquén, Argentina. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Argentina. Disponible en RIDAA-UNQ Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/778>
- Arrigoni, J. P., 2016. Optimización del proceso de compostaje de pequeña escala. Tesis de doctorado. Argentina, Universidad Nacional de Córdoba-Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Banco de Desarrollo para América Latina, 2018. Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina. ©scioteca.caf.com. 2018 Corporación Andina de Fomento.
- Barbaro, L. A., Karlanian, M. A., Rizzo, P. F., Riera, N. I., Della Torre, V., Beltrán, M., & Crespo, D. E. (2013). Compost de guano de gallina en la composición de sustratos para la producción de plantines florales. *Agriscientia*, 30(1), 25-35.
- Barrington, S., Choinière, D., Trigui, M., & Knight, W. (2002). Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. *Bioresource technology*, 83(3), 189-194.
- Bernai, M. P. et al., 1998<sup>a</sup>. En: Mazzarino, M.J.; Satti, P. & L. Roselli. 2012. Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. En: M.J. Mazzarino & P.

Satti (eds.). Compostaje en la Argentina: 13 Experiencias de Produccion, Calidad y Uso. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 13-28.

Brinton, 2000. En: Mazzarino, M.J.; Satti, P. & L. Roselli. 2012. Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost.

Burton, C. H. & Turner, C., 2003. Manure management: Treatment strategies for sustainable agriculture. Bedford, UK: Editions Quae.

CAM, 1987: Cuadernos divulgativos en materia de residuos. Consejería de Ordenación del Territorio, Medio Ambiente y Vivienda. Dirección General de Medio Ambiente y patrimonio Arquitectónico. Madrid. Volúmenes 1,3,4,5,6 y 7. En: Gómez Delgado, M. (1995). El estudio de los residuos: definiciones, tipologías, gestión y tratamiento.

Casco, J. M., & Bernat, S. M., 2008. Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje. Compostaje, 112-39. En: Moreno-Casco J. & Moral-Herrero, R. 2008. Compostaje. Moreno-Casco J. y Moral-Herrero R. (Eds.) Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 570 pp.

Cooperband, L., 2002. The art and science of composting. Center for Integrated Agricultural Systems (CIAS). Madison, Wisconsin, EEUU, 14 pp.

Cooperband, L.R. & J.H. Middleton., 1996. Changes in chemical, physical and biological properties of passively-aerated cocomposted poultry litter and municipal solid waste compost. Compost Science & Utilization 4: 24-34.

Costa, F., García, C., Hernández, T. & A. Polo., 1991. Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)-CEBAS, Murcia, España. 181 p.

Corporación del Mercado Central de Bs. As. Prov. de Buenos Aires. Programa de Reducción de Pérdidas y Valorización de Residuos, 2021. <http://www.mercadocentral.gob.ar/paginas/programa-de-reducci%C3%B3n-de-p%C3%A9rdidas-y-valorizaci%C3%B3n-de-residuos>.

De Bertoldi, M. D., Vallini, G. E., & Pera, A., 1983. The biology of composting: a review. *Waste Management & Research*, 1(2), 157-176.

De Bertoldi, M., Ferranti, M. P., L'hermite, P., & Zucconi, F., 1987. Compost: production, quality and use. Elsevier Applied Science. London,(41145), 853.

Delgado Arroyo, M. D. M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L., & Martín Sánchez, J. V., 2019. Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(4), 965-977.

Díaz & Savage, 2007. En: Díaz, L.F.; de Bertoldi M. & Bidlingmaier, W., 2007. *Compost Science and Technology*. Elsevier Science, Amsterdam, Holanda. 380 pp.

Díaz, L. F., & Savage, G. M., 2007. Factors that affect the process. In *Waste management series* (Vol. 8, pp. 49-65). Elsevier.

Díaz, L.F., De Bertoldi M., & Bidlingmaier, W., 2007. *Compost Science and Technology*. Elsevier Science, Amsterdam, Holanda. 380 pp.

Ejarque, M., Barrionuevo, M. E., Zanovello, L., & Bartucci, S. L., 2019. Prácticas y usos de los residuos pecuarios de productores familiares en un valle de la Patagonia argentina. *Ambiente y Desarrollo*, 23(44). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd23-44.purp>

Ekinci et al., 2004. En: Márquez, P. B., Blanco, M. J. D., & Capitán, F. C., (2008). 4. Factores que afectan al proceso de compostaje. *Compostaje*, 93. En: Moreno-Casco J. & Moral-Herrero, R. 2008. *Compostaje*. Moreno-Casco J. & Moral-Herrero R. (Eds.) Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 570 pp.

Fain Binda, V., Butti, M., & Torti, M. J., 2018. Índice de germinación como indicador de madurez en compost de residuos de incubación. *RTA* 10 (37), 54-57.

Ferrari, J. L., Villagra, S., Claps, L., & Tittonel, P., 2017. Reutilización de bagazo de cebada cervecera por secado y pelletización como suplemento forrajero. *Revista Presencia*, 67, 43-46.

Food and Agriculture Organization [FAO] & PROSAP. Documento de Trabajo N° 9: Aspectos Ambientales de la Provincia del Neuquén, 2015. 62pp.

García, C., Hernández, T. & F. Costa., 1991. Study on water extract of sewage sludge composts. *Soil Science and Plant Nutrition*. 37: 399-408.

Giraud et al., 2006. En: Ferrari, J. L., Villagra, S., Claps, L., & Tiltonel, P., 2017. Reutilización de bagazo de cebada cervecera por secado y pelletización como suplemento forrajero. *Revista Presencia*, 67, 43-46.

Golueke, C.G., 1977. *Biological reclamation of solid wastes*. Rodale Press, Emmaus, Pennsylvania, EEUU, 249 pp.

Golueke, C.G., 1991. Understanding the process. En: Staff of BioCycle (eds). *The BioCycle Guide to the Art and Science of Composting*. JG Press, Inc., Emmaus, Pennsylvania, EEUU, pp 14-27.

Hansen, R. C., Keener, H. M., & Hoitink, H. A. J., 1989. Poultry manure composting: an exploratory study. *Transactions of the ASAE*, 32(6), 2151-2158.

Haug, R.T., 1993. *Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers, EEUU. 717 pp.

<https://www.buenosaires.gob.ar/espaciopublicoehigieneurbana/noticias/en-cada-comuna-vas-poder-entregar-tus-residuos-organicos-para-ser-tratados->

[https://www.meteored.com.ar/tiempo-en\\_Neuquen-America+Sur-Argentina-Neuquen--sactual-16888.html](https://www.meteored.com.ar/tiempo-en_Neuquen-America+Sur-Argentina-Neuquen--sactual-16888.html)

Hue, N.V. & J. Liu., 1995. Predicting compost stability. *Compost Science & Utilization* 3: 8-15.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Meteorológica Alto Valle. Reporte Anual, 2021.

Jeris, J.S & Reagan, R.W., 1973. En: Márquez, P. B., Blanco, M. J. D., & Capitán, F. C., 2008. 4. Factores que afectan al proceso de compostaje. *Compostaje*, 93. En:

Moreno-Casco J. & Moral-Herrero, R. 2008. Compostaje. Moreno-Casco J. & Moral-Herrero R. (Eds.) Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 570 pp.

Jhorar y col., 1991. En: Márquez, P. B., Blanco, M. J. D., & Capitán, F. C., 2008. 4. Factores que afectan al proceso de compostaje. Compostaje, 93. En: Moreno-Casco J. & Moral-Herrero, R. 2008. Compostaje. Moreno-Casco J. & Moral-Herrero R. (Eds.) Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 570 pp.

Kaza, Silpa, Lisa Yao, Perinaz Bhada-Tata, & Frank Van Woerden., 2018. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development Series. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648-1329-0. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO

Laos, F., Mazzarino, M.J., Walter, I., Roselli, L., Satti, P. & S. Moyano., 2002. Composting of fish offal and biosolids in northwestern Patagonia. Bioresource Technology. 81: 179-186.

Lavado, R.S., 2012. Origen del compost, proceso de compostaje y potencialidad de uso. En: M.J. Mazzarino & P. Satti (eds.). Compostaje en la Argentina: Experiencias de Produccion, Calidad y Uso. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 3-12.

Leconte, M. C., 2010. Efecto del agregado de estiércol de gallina en el compostaje de aserrín y cascarilla de arroz. Tesis de doctorado. Universidad Nacional del Nordeste.

Leconte, M. C., Mazzarino, M. J., Satti, P., & Crego, M. P. (2011). Nitrogen and phosphorus release from poultry manure composts: the role of carbonaceous bulking agents and compost particle sizes. Biology and fertility of soils, 47(8), 897-906.

Madejón et al., 2001. En: Márquez, P. B., Blanco, M. J. D., & Capitán, F. C. (2008). 4. Factores que afectan al proceso de compostaje. Compostaje, 93. En: Moreno-Casco J. & Moral-Herrero, R. 2008. Compostaje. Moreno-Casco J. & Moral-Herrero R. (Eds.) Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 570 pp.

Maldonado J.F., M.S. Agüero, F. Iturmendi, M.B. Buglione, M.V. Filippi & D.A. Martínez., 2018. Efecto de enmienda con compost de orujo de pera sobre la producción de forraje de *Setaria italica* (L.) P. Beauv. *Semiárida* 28(2): 4550.

Márquez, P. B., Blanco, M. J. D., & Capitán, F. C., 2008. 4. Factores que afectan al proceso de compostaje. *Compostaje*, 93. En: Moreno-Casco J. & Moral-Herrero, R., 2008. *Compostaje*. Moreno-Casco J. & Moral-Herrero R. (Eds.) Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 570 pp.

Mazzarino, M. J., & Laos, F., 2000. Composting biosolids in Patagonia. *BioCycle*, 41(4), 83-83.

Mazzarino, M.J.; Satti, P. & L. Roselli., 2012. Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost. En: M.J. Mazzarino & P. Satti (eds.). *Compostaje en la Argentina: 13 Experiencias de Produccion, Calidad y Uso*. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 13-28.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MAyDS]. Informe del estado del ambiente, 2016.

Montalvo, P. A. J., Dongo, L. F. O., Maraví, J. L. C., Monzón, L. A. T., Coral, M. F. C., & Figueroa, L. V., 2018. Transformación del nitrógeno durante el compostaje de bosta de caballo. *Producción+ Limpia*.

Moreno-Casco J. & Moral-Herrero, R., 2008. *Compostaje*. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 570 pp

Mussini, E., Crespo, G. & H. Bianco., 1984.- Evolución de la Materia Orgánica en suelos de la provincia de Neuquén. *Ciencia del Suelo*. 2 (1) : 53 – 60.

NRCS, USDA. 2011. Carbon to nitrogen ratios in cropping systems. Disponible en: [soils.usda.gov/sqi](https://soils.usda.gov/sqi) Último acceso, 25(12), 2020.

Noguera, K., & Olivero, J. (2010). Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(132), 347-356.

ONU Medio Ambiente. 2018. Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, © Shutterstock.com Oficina para América Latina y el Caribe. Ciudad de Panamá, Panamá.

Pagans, E., Barrena, R., Font, X., & Sánchez, A., 2006. Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependency on process temperature. *Chemosphere*, 62(9), 1534-1542.

Plaza, G. & O. Zapata., 2011.- Residuos y Salud: Tartagal - Salta. *Rev. Cienc. Tecnol.* 16 : 35-43.

Richards, J.E., 1993. Chemical characterization of plant tissue. En: Carter Martin R. (ed). *Soil sampling and methods of analysis*. Canadian Society of Soil Science, pp 115-119.

Riera, N. I., Della Torre, V., Rizzo, P. F., Butti, M., Bressan, F. M., Zarate, N., & Crespo, D. E., 2014. Evaluación del proceso de compostaje de dos mezclas de residuos avícolas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(1), 0-0.

Ringuelet, A., Rollán, A. D. C., Koritschoner, J., Blarduni, V., & Vargas, L., 2019. Elaboración de enmiendas y de sustratos con fines productivos y didácticos en una planta de compostaje de residuos vegetales urbanos en la UNC. *Nexo agropecuario*, 7(1), 53-61.

Risse, L. M., & Faucette, B., 2009. Compost utilization for erosion control. University of Georgia. *Cooperative Extension Service Bulletin* 1189, 1–8.

Rizzo, P. F., Bres, P. A., Young, B. J., Zubillaga, M. S., Riera, N. I., Beily, M. E., & Komilis, D., 2020. Temporal variation of physico-chemical, microbiological, and parasitological properties of poultry manure from two egg production systems. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22(4), 1140-1151.

Rivera, N. A., & Leal, M. C., (2004). Cinética de la hidrólisis ácida de la cascarilla de cebada. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 3(3), 257-263.



Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A., 2013. Manual de compostaje del agricultor, experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Rynk, R. (ed)., 1992. On-Farm Composting Handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cooperative Extension Service. Ithaca, Nueva York, EEUU, 186 pp.

Sánchez de Pinto, M., Albanesi, A., Palazzi, V., Trejo, J., & Polo, A., 2005. Compostaje y Lombricompostaje de residuos frutihortícolas. En Congreso y Exposición Mundial "ISWA (pp. 66-67).

Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Paredes, C., & Bernal, M. P., 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource technology*, 78(3), 301-308.

Satti, P., Mazzarino, M. J., Laos, F., Roselli, L., & Crego, M. P., 2012. Compostaje de materiales de diferente origen: experiencias del Grupo de Suelos del CRUB. *Compostaje en la Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso*. UNRN-Orientación Gráfica Editora, Bs. As., Argentina, 77-97.

SCyMA y SENASA. 2019. Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost. Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental y Servicio de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, Resolución conjunta 1/2019. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-1-2019-318692/texto>.

Shulze, 1962. En: Márquez, P. B., Blanco, M. J. D., & Capitán, F. C., 2008. 4. Factores que afectan al proceso de compostaje. *Compostaje*, 93. En: Moreno-Casco J. & Moral-Herrero, R. 2008. *Compostaje*. Moreno-Casco J. & Moral-Herrero R. (Eds.) Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 570 pp.

Soliva, M., 2001. *Compostatge i gestió de residus orgànics*. Estudis i Monografies 21. Diputació de Barcelona, Àrea de Medi Ambient, Barcelona.

Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T. & M.E. Sumner (eds)., 1996. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. SSSA Book Series Nr. 5. SSSA, ASA, Madison, Wisconsin, EEUU, 1390 pp.

Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, Stratton, M. L., & Barker, A. V., 1995. Compost. En: Soil Amendments. CRC Press, Inc. p. 249-287.

Subsecretaría de Limpieza Urbana, Municipalidad de Neuquén. 2022. Comunicación personal.

Sztern, D. & Pravia, M.A., 1999. Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos. Organización panamericana de la salud. Organización mundial de la salud. San José Uruguay. 56p.

Tognetti, C., Mazzarino, M. J., & Laos, F., 2007. Cocomposting biosolids and municipal organic waste: effects of process management on stabilization and quality. *Biology and Fertility of Soils*, 43(4), 387-397.

United Nations Environment Program [UNEP] & International Solid Waste Association [ISWA]. Global Waste Management Outlook. 2015, p.52, p.16.

Varela, S., & Basil, G., 2011. Uso de compost en la producción de plantines de especies forestales. *Silvicultura en Vivero*, Cuadernillo, 4.

Zubillaga, M.S.; Civeira G.; Rimski-Korsakov H. & Lavado R.S., 2004. Las pérdidas de amoníaco durante el compostaje de biosólidos y su posible impacto ambiental. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental* 77: 88-90. En: Lavado, R.S., 2012. Origen del compost, proceso de compostaje y potencialidad de uso. En: M.J. Mazzarino & P. Satti (eds.). *Compostaje en la Argentina: Experiencias de Producción, Calidad y Uso*. UNRN- Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. pp. 3-12.

Zucconi, F.; Pera, A.; Forte, M. & M. de Bertoldi., 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle* 22: 54-57.

ANEXOS.

**Anexo 1 / Figura 1 . Indicadores de estabilidad, madurez y calidad de compost (Res 01/2019).**

<b>Indicadores de estabilidad</b> (Deberán medirse, al menos, un indicador de cada grupo)		
<b>INDICADOR</b>		<b>VALOR</b>
Grupo I	C soluble en agua (CSA)	< 10 g/kg
	CSA/N total	≤ 0,7
Grupo II	Producción de CO <sub>2</sub>	< 120 mg de CO <sub>2</sub> /kg.h
	Test Solvita	≥ 5 para CO <sub>2</sub>
	Índice Respirométrico Estático ( IRE)	≤ 0,5 mg O <sub>2</sub> /g MO.h
	Índice Respirométrico Dinámico (IRD)	≤ 1 mg O <sub>2</sub> /g MO.h
<b>Indicadores de madurez</b> (Deberán medirse, al menos, dos indicadores, uno de los cuales debe ser el índice de germinación)		
Amonio (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )		< 400 mg N-NH <sub>4</sub> /kg
Relación amonio: nitrato (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /N-NO <sub>3</sub> )		< 0,3
Índice de germinación utilizando dos especies		> 60% (ryegrass perenne o anual, tomate, rabanito cebada, trigo, lechuga o berro ( <i>Lepidium sativum</i> ))
Test Solvita		≥ 4 para NH <sub>3</sub>

MO - Materia Orgánica

**Anexo 1 / Figura 2. Niveles de patógenos.**

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

NMP - Numero Más Probable

Para los compost donde se puede certificar el proceso se exige que se cumpla con I) ó 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).

**Anexo 1 / Figura 3. Parámetros de calidad de compost.**

Parámetros	Compost Clase A	Compost Clase B
pH	5,0 – 8,5	
Olores	No debe presentar olores desagradables	
Humedad (H%)	< 60	
Conductividad Eléctrica (CE dS/m)	<4	<6
Relación C/N (%)	≤20	< 30
Materia orgánica (MO %)	≥20	
Elementos potencialmente tóxicos (mg/kg MS)		
Cadmio	1,5	3
Cobre	150	450
Cromo total	100	270
Mercurio	0,7	5
Níquel	30	120
Plomo	100	150
Zinc	300	1100
Arsénico	15	30

MS –Materia Seca

**Anexo 1 / Figura 4. Materiales inertes.**

**Cantidad de materias inertes ≤ 16mm permitida en compost**

Material	Dimensión (mm)	Cantidad (% MS)
Plásticos flexibles y/o películas	>4	≤5
Piedras y/o terrones de tierra	>4	≤5
Vidrio y/o metales y/o caucho y/o plásticos rígidos	≥2	≤0,5

- a) No se permiten materias inertes de un tamaño mayor a 16mm, determinado en su mayor dimensión, en ninguna clase de compost.
- b) Para todas las clases de compost, la tolerancia de impurezas de tamaño menor o igual a 16 mm no debe superar los valores indicados en la Tabla N° 4.

## Anexo 2 / Figura 1. Metodología de análisis

### MÉTODOS DE ENSAYO

Determinación de microorganismos patógenos	
Ensayo	Método
Coliformes fecales	TMECC 07.01-B
<i>Salmonella</i> sp.	TMECC 07.02-A1-2
Huevos viables de <i>Ascaris lumbricoides</i>	TMECC 07.04-A
Determinación de parámetros químicos	
Todas las determinaciones químicas se realizan en muestra seca al aire (o estufa a 37-40°C), y excepto pH y CE se refieren a materia seca (m.s.) a 70°C	
Ensayo	Método
Conductividad eléctrica (CE)	TMECC 04.10-A
pH	TMECC 04.11
Materia orgánica	TMECC 05.07-A
C orgánico	TMECC 04.01
Nitrógeno total	TMECC 04.02-A
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )	TMECC 04.02-B
Relación carbono/nitrogeno	TMECC 05.02-A
Metales pesados	TMECC 04.06
Determinación de parámetros físicos	
Ensayo	Método
Humedad	TMECC 03.09-A
Partículas y material inerte	TMECC 03.08-A
Tamaño de partícula	TMECC 03.08-A
Determinación de parámetros de estabilidad	
Ensayo	Método
Carbono soluble en agua (CSA)	TMECC 05.08-F
CSA/N total	TMECC 05.02-A
Producción de CO <sub>2</sub>	TMECC 05.08-B
Test Solvita	TMECC 05.08-E
Índice Respirométrico Estático (IRE)	Iannotti et al., 1993; USDA and USCC, 2001*
Índice Respirométrico Dinámico (IRD)	Adani et al., 2001
Determinación de parámetros de madurez	
Ensayo	Método
Amonio (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	TMECC 04.02-C
Relación amonio: nitrato (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /N-NO <sub>3</sub> )	TMECC 05.02-C
Índice de germinación (calculado en base a germinación y elongación de raíces)	Terrestrial plants, Growth test, OECD Guideline for testing of chemicals 208 Dilución 1:10, 3-7 días según la especie**
Test Solvita	TMECC 05.08-E

\* Adaptado de Iannotti, D.A., Pang, T., Toti, B.L., Etwell, D.L., Kaener, H.M., Hotink, H.A., 1993. A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. *Compost Science and Utilization*, 1, 52-65 y de USDA, USCC, 2001. *Test Methods for the Examination of Composting and Compost*. Houston: Edaphos International, Department of Agriculture and Composting Council, USA

Esta técnica es un método de evaluación de la estabilidad que se realiza en temperaturas mesófilas (37 °C) con matraces sellados de 500 ml. Se coloca un electrodo electroquímico de O<sub>2</sub> disuelto en el espacio superior del matraz y se registra la concentración de O<sub>2</sub> en el matraz. La tasa de absorción de oxígeno se expresa finalmente en mo de O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> VS h<sup>-1</sup> y se calcula mediante la pendiente de la caída de concentración de O<sub>2</sub>. El IRE es la tasa de absorción de O<sub>2</sub> promedio máximo calculado durante un período de 24 horas (después del tiempo de retraso inicial).

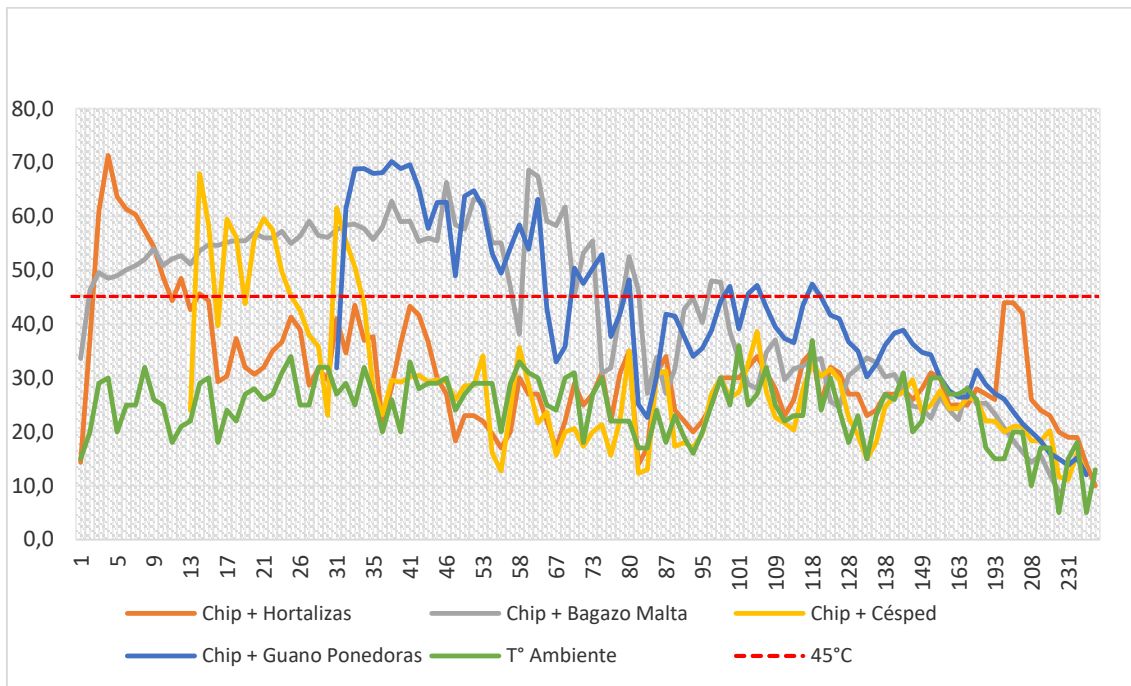
\*\* Adaptado de Zucconi et al. (1981), Pascual et al. (1997); Emino & Waman (2004)

Incubación en oscuridad, control en agua destilada, raíces mayores a 5 mm. Especies de posible utilización: ryegrass perenne o anual, tomate, rábano, cebada, trigo, lechuga o berro (*Lepidium sativum*)

Índice de germinación (IG) = GR X CRR/100

GR (Germinación relativa) (%) = (Nº de semillas germinadas en el extracto/Nº de semillas germinadas en el control)x100  
CRR (Crecimiento relativo de raíces) (%) = (longitud de raíces en el extracto/longitud de raíces en el control)x100

Anexo 3 / Figura 1. Perfiles de temperatura de todos los tratamientos.



## Anexo 4 / Figura 1. Análisis IG (%) Laboratorio LASAF.



### INFORME DE RESULTADOS

Neuquén, 16 de febrero de 2022

MUESTRA N°: 21190 a 21193

FICHA N°: 1583

REFERENTE: Ing. Agr. Alfonso Guasco. Municipalidad de Neuquén

PROCEDENCIA: Compost Neuquén

#### Análisis diagnóstico solicitado

Índice de Germinación sobre una muestra de compost

#### Identificación de la muestra y cantidad

Para la determinación se usaron 50 ml de la muestra homogeneizada.

#### Resultados

Siguiendo el Marco Normativo para la producción, registro y aplicación de compost, resolución conjunta SECCYMA-SENASA 1/2019; se realizó la determinación del indicador de madurez: Índice de Germinación sobre semillas de Rabanito (*Raphanus sativus*) y semillas de Trigo (*Triticum vulgare*) en cada una de las muestras.

Cuadro 1: Muestra 21190 (M1). Resultado de las lecturas de tres repeticiones por tipo de semilla.

Semilla	GR (%) <sup>1</sup>	CRR (%) <sup>2</sup>	IG (%) <sup>3</sup>
Trigo	96,7	182,0	175,98
Rabanito	96,6	111,0	107,19

<sup>1</sup> GR: Germinación Relativa en relación al control (testigo en agua destilada). A los 6 días del tratamiento.

<sup>2</sup> CRR: Crecimiento Relativo de raíces

<sup>3</sup> IG: Índice de germinación.



**Anexo 4 / Figura 2. Análisis IG (%) Laboratorio LASAF.**



**Cuadro 2: Muestra 21191 (M2).**

Semilla	GR (%) <sup>1</sup>	CRR (%) <sup>2</sup>	IG (%) <sup>3</sup>
Trigo	100,0	200,9	200,87
Rabanito	82,8	76,1	62,96

<sup>1</sup> GR: Germinación Relativa en relación al control (testigo en agua destilada).

<sup>2</sup> CRR: Crecimiento Relativo de raíces

<sup>3</sup> IG: Índice de germinación.

**Cuadro 3: Muestra 21192 (M7).**

Semilla	GR (%) <sup>1</sup>	CRR (%) <sup>2</sup>	IG (%) <sup>3</sup>
Trigo	100,0	192,2	192,19
Rabanito	120,8	126,6	152,98

<sup>1</sup> GR: Germinación Relativa en relación al control (testigo en agua destilada).

<sup>2</sup> CRR: Crecimiento Relativo de raíces

<sup>3</sup> IG: Índice de germinación.

**Cuadro 4: Muestra 21193 (M9).**

Semilla	GR (%) <sup>1</sup>	CRR (%) <sup>2</sup>	IG (%) <sup>3</sup>
Trigo	100,0	172,3	172,28
Rabanito	112,5	148,5	167,11


<sup>1</sup> GR: Germinación Relativa en relación al control (testigo en agua destilada).

<sup>2</sup> CRR: Crecimiento Relativo de raíces

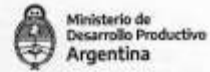
<sup>3</sup> IG: Índice de germinación.



## Anexo 5 / Figura 1. Análisis microbiológico muestras compost (INTI).

 <b>INTI</b> Instituto Nacional de Tecnología Industrial	 Ministerio de Desarrollo Productivo Argentina								
<b>Informe de ensayo</b>	OT N° 0221-00001225- Parcial 1 Página 1 de 2								
	<b>Fecha de Informe:</b> 14/03/2022								
<b>Solicitante</b>	<b>Razón social:</b> Municipalidad de Neuquén. <b>Nombre y Apellido:</b> Raúl Alfonso Guasco. <b>Domicilio:</b> Av. Argentina y Roca, Neuquén.								
<b>Elemento a ensayar</b>	<b>Descripción del ítem:</b> enmienda orgánica. <b>Identificación:</b>								
	<table border="1"><thead><tr><th>Identificación de la muestra dada por el SOLICITANTE</th><th>Identificación del ítem INTI- SORPAT</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>I-CIP 43/22</td></tr><tr><td>2</td><td>I-CIP 44/22</td></tr><tr><td>3</td><td>I-CIP 45/22</td></tr></tbody></table>	Identificación de la muestra dada por el SOLICITANTE	Identificación del ítem INTI- SORPAT	1	I-CIP 43/22	2	I-CIP 44/22	3	I-CIP 45/22
Identificación de la muestra dada por el SOLICITANTE	Identificación del ítem INTI- SORPAT								
1	I-CIP 43/22								
2	I-CIP 44/22								
3	I-CIP 45/22								
	<b>Toma de muestra:</b> por el solicitante. <b>Tamaño de la muestra:</b> muestra 1 (412 g), muestra 2 (373,67 g) y muestra 3 (491,42 g). <b>Lugar de toma de muestra:</b> no declarado. <b>Método de conservación / condiciones de transporte:</b> no refrigerado.								
<b>Determinaciones requeridas</b>	Enumeración de Coliformes fecales								
<b>Fecha de Recepción</b>	07/03/2022								
<b>Fecha de ensayo</b>	Desde 07/03/2022 hasta 10/03/2022.								
<b>Lugar de realización</b>	<b>Departamento:</b> Servicios Analíticos Industriales. <b>Dirección Técnica:</b> Patagonia Norte Subgerencia Operativa Regional Patagonia saipat@inti.gov.ar Domingo Savio 2360 Cipolletti, Río Negro, Argentina Teléfono: 2995854324.								
<a href="http://www.inti.gov.ar">www.inti.gov.ar</a> <a href="mailto:consultas@inti.gov.ar">consultas@inti.gov.ar</a> 0800 444 4004	 INTIArg @INTIArgentina canalinti INTI								
	Ver cláusulas aplicables a este informe en el reverso								

## Anexo 5 / Figura 2. Análisis microbiológico muestras compost (INTI).



OT N° 221-00001225- Parcial 1  
Página 2 de 2

### Metodología empleada

EPA. Method 1680: fecal coliforms in sewage sludge (biosolids) by Multiple-Tube Fermentation using lauryl tryptose broth (LTB) and EC médium.2014

PEMI 109 Enumeración en medios sólidos y líquidos basado en ISO 7218: 2007. Amd.1: 2013. Microbiology of food and animal feeding stuffs – General requirements and guidance for microbiological examinations.

### Resultados

Identificación del ítem INTI-SORPAT	Resultados
043/22	< 0,2 NMP/g peso seco
044/22	0,5 NMP/g peso seco
045/22	0,5 NMP/g peso seco

**Declaraciones de conformidad:** no aplica.

**Descargo de Responsabilidad:** no aplica.

**Observaciones:** Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a las condiciones en las que se realizaron las mediciones y/o ensayos. El original de este informe se encuentra impreso solo en hoja membretada INTI. Se emite 1 ejemplar.

### Fin del Informe

Téc. KAREN N. GUBELIN  
Analista Técnico  
INTI - NEUQUÉN

Dra. Olga Apablaza  
Jefe de Laboratorio  
INTI Neuquén  
Sede Copolletti

DR. OLGA APABLAZA  
ANALISTA TÉCNICO  
INTI Neuquén

www.inti.gob.ar  
consultas@inti.gob.ar  
0800 444 4004

f INTIArg  
@INTIArgentina  
in INTI

@intiargentina  
canalinti

Ver cláusulas aplicables a este informe en el reverso

Anexo 5 / Figura 3. Análisis microbiológico muestras compost (INTI).



## Reemplazo de Informe de ensayo

R - OT N° 0221-00001225- Parcial 2 y Final  
Página 1 de 2

Fecha de Informe: 22/03/2022

El presente informe anula y reemplaza en su totalidad al informe OT N° 0221-00001225 Parcial 2 y Final de fecha 16/03/2022.

**Solicitante**  
**Razón social:** Municipalidad de Neuquén.  
**Nombre y Apellido:** Raúl Alfonso Guasco.  
**Domicilio:** Av. Argentina y Roca, Neuquén.

**Elemento a ensayar**  
**Descripción del ítem:** enmienda orgánica.  
**Identificación:**

Identificación de la muestra dada por el SOLICITANTE	Identificación del ítem INTI- SORPAT
4	I-CIP 046/22
5	I-CIP 047/22
6	I-CIP 048/22

180

**Toma de muestra:** realizada por el solicitante.

**Tamaño de la muestra:** Muestra 1: 471,31 g aprox-  
Muestra 2: 637,47 g aprox – Muestra 3: 397,28 g aprox

**Lugar de toma de muestra:** no declarado.

**Método de conservación / condiciones de transporte:** no refrigerado.

**Determinaciones requeridas**  
Determinación de NMP de *Salmonella* Spp

**Fecha de Recepción**  
07/03/2022

**Fecha de ensayo**  
Desde 07/03/2022 hasta 11/03/2022.

**Lugar de realización**  
**Departamento:** Servicios Analíticos Industriales.  
**Dirección Técnica:** Patagonia Norte  
Subgerencia Operativa Regional Patagonia  
saipat@inti.gov.ar  
Domingo Savio 2360. Cipolletti. Río Negro. Argentina  
Teléfono: 2995854324.

for  
af

www.inti.gov.ar  
consultas@inti.gov.ar  
0800 444 4004

INTIArg  
@INTIArgentina  
INTI  
@intiargentina  
canalinti

Ver cláusulas aplicables a este informe en el reverso

Anexo 5 / Figura 4. Análisis microbiológico muestras compost (INTI).



R - OT N° 221-00001225- Parcial 2 y Final  
Página 2 de 2

**Metodología empleada**

Method 1682: Salmonella in Sewage Sludge (Biosolids) by Modified Semisolid Rappaport-Vassiliadis (MSRV) Medium. 2006. EPA (United States Environmental Protection Agency).

PEMI 109 Enumeración en medios sólidos y líquidos basado en ISO 7218: 2007. Amd.1: 2013. Microbiology of food and animal feeding stuffs -- General requirements and guidance for microbiological examinations.

**Resultados**

Identificación del ítem INTI-SORPAT	Resultados
046/22	< 0,26 NMP/4 g peso seco
047/22	< 0,26 NMP/4 g peso seco
048/22	< 0,26 NMP/4 g peso seco

**Declaraciones de conformidad:** no aplica.

**Descargo de Responsabilidad:** no aplica.

**Observaciones:** Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a las condiciones en las que se realizaron las mediciones y/o ensayos. El original de este informe se encuentra impreso solo en hoja membretada INTI. Se emite 1 ejemplar.

**Fin del Informe**

**VALERIA SANCHEZ VALDIMIA**  
Analista Técnico  
INTI Neuquén

**Dra. Ma. Laura Vaca Ruiz**  
Jefe de Laboratorio  
INTI Neuquén  
Sede Cipolletti

**PROF. OLGA APABLAZA**  
ANALISTA TECNICO  
INTI Neuquén

www.inti.gob.ar  
consultas@inti.gob.ar  
0800 444 4004

INTIArg  
@INTIArgentina  
INTI

@intiargentina  
canalinti

Ver cláusulas aplicables a este informe en el reverso