

Modalidad: Artículo profesional y/o de investigación

# La reutilización de lana para la fabricación de pellets como biofertilizante: una alternativa sostenible

Mónica Rodríguez<sup>1</sup>, Melody García<sup>1</sup>, Jean Schuster<sup>1</sup>, Cristiano Schuster<sup>1</sup>, Richard Rodríguez<sup>2</sup> y Fernando Rocha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Mecatrónica, Logística y Biomédica, Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC)

<sup>2</sup>Departamento de Sostenibilidad Ambiental, Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC)



[mónica.rodíguez@utec.edu.uy](mailto:mónica.rodíguez@utec.edu.uy)

## Resumen

El presente artículo narra los resultados y el alcance del Proyecto “*Uso alternativo de lana de finura mediana y gruesa en stock, proveniente de la industria lanera del Uruguay*”, llevado a cabo en el ITR Norte de la Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC), desde la Ingeniería en Control y Automática y la Dirección de I+D, en la Unidad Tecnológica de Automatismos y Sistemas Inteligentes (UTASI). Se plantea como objetivo principal la reutilización de lana de descarte, con la finalidad de generar pellets de lana de forma de emplearlos como fertilizante natural de liberación lenta. El proyecto, toma en sus bases conceptos de sostenibilidad y economía circular, y emplea lana de la especie corriedale con un micraje superior a 30, la cual se cría en la región norte del Uruguay, y proviene de ganaderos locales de la zona del Valle del Lunarejo. La lana colectada fue sometida a diferentes análisis, a efectos de determinar el poder fertilizante, midiendo el porcentaje de minerales. Los resultados muestran que los pellets de lana derivados de descarte poseen un contenido significativo de nitrógeno y fósforo, con un perfil de liberación lenta que mejora la retención de nutrientes en el suelo. Estos resultados permitirían pensar en la fabricación de pellets debido a que se facilita su aplicación en el campo y su almacenamiento, haciendo más eficiente su uso en la agricultura sostenible y contribuyendo a reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos.

**Palabras clave:** lana, pellets, agroecología, economía circular

## Abstract

*This article presents the results and scope of the project "Alternative Use of Medium and Coarse Wool in Stock from the Wool Industry of Uruguay," conducted at Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC's ITR Norte) by the Engineering in Control and Automation program and the R&D Directorate in the Technological Unit for Automation and Intelligent Systems (UTASI). The primary goal of this initiative is to repurpose discarded wool to produce wool pellets for use as a slow-release natural fertilizer. The project is based on principles of sustainability and circular economy, utilizing Corriedale wool with a fiber diameter above 30 microns, sourced from local farmers in the Valle del Lunarejo region of northern Uruguay. The collected wool underwent various analyses to assess its fertilizing capacity by measuring mineral content. The results indicate that wool pellets made from waste wool contain significant nitrogen and phosphorus levels, with a slow-release profile that enhances nutrient retention in soil. These findings suggest that producing wool pellets facilitates field application and storage, making their use in sustainable agriculture more efficient and reducing dependency on synthetic fertilizers.*

**Keywords:** *wool, pellets, agroecology, circular economy*

## Introducción

Los fertilizantes orgánicos son esenciales para promover prácticas agrícolas sostenibles e innovadoras, y su uso se ha incrementado en respuesta a la necesidad de reducir la dependencia de fertilizantes químicos. Este artículo tiene como objetivo analizar el proceso de conversión de lana de descarte en pellets fertilizantes, destacando sus beneficios para el suelo y el medio ambiente.

De hecho, la generación de residuos en la industria textil y ganadera es un desafío ambiental significativo, y la lana de descarte se presenta como un recurso subutilizado. Cada año, miles de toneladas de lana son desechadas debido a defectos en el procesamiento o porque no cumplen con los estándares de calidad para la venta (ver Figura 1).

Al respecto, es importante especificar la estimación aproximada de indicadores clave del sector lanero uruguayo, considerando datos públicos y proporciones representativas para razas Merino y Corriedale (ver Tabla 1). Esto provee una orientación en relación al stock total ovino, la cantidad de cabezas de ambas especies, y el porcentaje de descarte por mechón ([www.sul.org.uy](http://www.sul.org.uy)). Esta lana de descarte es la que puede emplearse con otras utilidades, como es el caso de los biofertilizantes.



**Figura 1.** Depósito de lana sucia en Bagé, Estado de Río Grande del Sur. Fuente: foto tomada por estudiantes durante una visita técnica al depósito de lana en Bagé.

**Tabla 1.** Estimaciones del sector lanero en Uruguay por raza y tipo de lana

Indicador	Estimado
Stock total ovino	~6.568.700 cabezas
Corriedale	~2.757.000 cabezas (42 %)
Merino	~1.774.000 cabezas (27 %)
Producción total de lana (sucia)	~85.000 t
Lana fina (Merino, <25 µm)	~38.250 t (~45 %)
Lana media (Corriedale, 25–30 µm)	~46.750 t (~55 %)
Descartes o baja calidad	20–25 % del vellón (~vellones B/C y subproductos)

Fuente: [www.sul.org.uy](http://www.sul.org.uy)

Esta situación no solo contribuye a la acumulación de residuos, sino que también implica una pérdida de recursos valiosos que podrían aprovecharse de manera sostenible. En este contexto, la transformación de lana de descarte en pellets fertilizantes representa una solución innovadora que combina sostenibilidad y eficiencia, y que también está

vinculada a la agroecología familiar y a la economía circular (Bianco et al., 2023). Según los autores, esto tiende a maximizar el uso de recursos y promover prácticas sostenibles. La reutilización de lana minimiza la cantidad de desechos en vertederos y convierte un subproducto de la industria textil en un recurso agrícola valioso.

En cuanto a los pellets de lana, estos tienen entre sus ventajas, el mejorar la salud del suelo, aportando nutrientes que fortalecen la fertilidad y biodiversidad. Además, cerrando el ciclo de nutrientes, se fomenta la autosuficiencia agrícola y la reducción de insumos externos, promoviendo así un modelo sostenible que inspira conciencia y educación en sostenibilidad. Autores como Bradshaw et al, (2022), realizaron un estudio, donde examinan el potencial de los pellets de lana como fertilizantes en sistemas agrícolas, en particular en cultivos orgánicos de vegetales. Los resultados sugieren que los pellets de lana pueden liberar nitrógeno de forma gradual, lo cual es ideal para agricultores que buscan minimizar la pérdida de nutrientes y mejorar la retención de humedad en el suelo. Además, los pellets de lana presentan propiedades beneficiosas como fertilizante sostenible pues contribuyen aumentando la captación de carbono y reduciendo la dependencia de fertilizantes comerciales.

De hecho, estos fertilizantes naturales presentan algunas características que los hacen ideales como solución sostenible, de acuerdo a lo establecido en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Características de los fertilizantes naturales

<b>Composición Natural</b>	Los fertilizantes orgánicos se derivan de fuentes naturales, como residuos de plantas, estiércol animal, compost, y otros materiales orgánicos. Esto significa que son biodegradables y se descomponen de manera natural en el suelo.
<b>Liberación Lenta de Nutrientes</b>	A diferencia de los fertilizantes químicos, que suelen liberar nutrientes de manera rápida, los fertilizantes orgánicos tienden a liberar sus nutrientes de manera gradual. Esta liberación lenta ayuda a proporcionar un suministro constante de nutrientes a las plantas, lo que reduce el riesgo de lixiviación y mejora la eficiencia del uso de nutrientes.

<b>Mejora de la Estructura del Suelo</b>	Los fertilizantes orgánicos no solo aportan nutrientes, sino que también mejoran la estructura física del suelo. Aumentan la capacidad de retención de agua, aireación y actividad biológica en el suelo, creando un entorno más saludable para el crecimiento de las raíces y la microbiota del suelo.
<b>Diversidad de Nutrientes</b>	Los fertilizantes orgánicos suelen contener una variedad de nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo, potasio, y micronutrientes) que son fundamentales para el crecimiento de las plantas. Esta diversidad contribuye a un mejor desarrollo de las plantas y mejora la calidad del cultivo.
<b>Sostenibilidad</b>	Al estar basados en materiales orgánicos, estos fertilizantes promueven prácticas agrícolas más sostenibles. Su uso reduce la dependencia de fertilizantes sintéticos, que pueden tener efectos negativos en el medio ambiente y la salud humana.

Fuente: elaboración propia.

### Importancia de los fertilizantes orgánicos

Dentro de los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS), el objetivo 12 hace alusión a la gestión de recursos naturales, entre ellos, el suelo. Las finalidades de este objetivo se centran en realizar una gestión sostenible y eficiente de los recursos naturales (Fuente: [www.un.org](http://www.un.org)). La aplicación de fertilizantes orgánicos mejora significativamente la salud del suelo a largo plazo, fomentando la actividad microbiana y aumentando la biodiversidad, lo que resulta en ecosistemas más robustos y resilientes, y con menos impacto agroambiental (Bradshaw et al., 2022). Además, su uso contribuye a la formación de materia orgánica, esencial para mantener la fertilidad del suelo. Al mismo tiempo, los fertilizantes orgánicos disminuyen la contaminación del agua y del suelo asociada con la escorrentía de fertilizantes químicos, mitigando problemas ambientales como la eutrofización. También mejoran la calidad de los cultivos, ya que los productos cultivados con fertilizantes orgánicos tienden a tener mejor sabor, mayor contenido de nutrientes y menos residuos químicos.

Por otro lado, los fertilizantes orgánicos desempeñan un papel crucial en la resiliencia de los cultivos ante el cambio climático al mejorar la estructura y salud del suelo, facilitando la retención de agua durante condiciones adversas, como sequías o inundaciones. Su producción y uso se alinean con los principios de la economía circular (Lathi et al., 2018), cerrando el ciclo de nutrientes al utilizar residuos orgánicos y reduciendo la necesidad de recursos externos. La adopción de estos fertilizantes no solo promueve prácticas agrícolas más sostenibles y responsables, sino que también beneficia a los agricultores al disminuir costos de insumos y contribuir a la salud del ecosistema agrícola en su conjunto.

### **Propiedades de la Lana**

La lana es un material natural que posee propiedades únicas, como la capacidad de retener humedad y nutrientes, lo que la convierte en un excelente candidato para su uso en fertilizantes. Compuesta principalmente de queratina, una proteína resistente, la lana también contiene nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, elementos clave para el crecimiento de las plantas (McGregor et al., 2021). Estos nutrientes son liberados lentamente en el suelo, lo que reduce el riesgo de lixiviación y promueve una nutrición sostenida de las plantas. Además, la lana tiene propiedades beneficiosas para la estructura del suelo, mejorando su aireación y capacidad de retención de agua. Esto es especialmente importante en contextos agrícolas donde la sequía es un desafío constante.

La calidad de la lana se evalúa analizando algunas de sus características, tales como el grosor de las fibras, el largo de la mecha, su color, resistencia a la tracción, punto de ruptura y la cantidad de materia vegetal que contiene (Neimaur, et al., 2015). Según los autores, el diámetro promedio de la fibra es el aspecto más importante a considerar, pues contribuye aproximadamente al 75% del valor del producto final. Este valor en el diámetro incide en el proceso de producción como el grosor de los hilos resultantes, permitiendo que las fibras más delgadas produzcan tejidos más suaves y livianos como es el caso de la lana proveniente de la especie merino. La medición precisa del diámetro de fibra se realiza con equipos específicos, y se expresa en micras.

Autores como Alomar et al, (2015), también enfatizan el valor del diámetro de la fibra de lana (DMF), debido a que posee ascendencia en la capacidad para producir hilos de diferente naturaleza y textura.

La lana corriedale proviene de una raza de ovejas desarrollada en Nueva Zelanda y Australia (Alomar et al., 2015), resultado del cruce entre las ovejas merino y las de lana de tipo inglés. Esta lana tiene una textura ligeramente más gruesa en comparación con la lana merino, con un grosor que generalmente varía entre 25 y 30 micrones. A pesar de



ser más gruesa, la corriedale es considerada suave y muy resistente, lo que la hace adecuada para una variedad de productos, incluidos ropa de trabajo y alfombras. Además, presenta buenas propiedades de aislamiento y transpirabilidad, ayudando a regular la temperatura corporal y repeliendo el agua de manera efectiva, aunque no es completamente impermeable.

En contraste, la lana merino es conocida por su finura y suavidad excepcionales, con un diámetro que oscila entre 15 y 24 micrones. Esta característica la convierte en una opción popular para prendas que están en contacto directo con la piel, como suéteres y ropa deportiva. La elección entre lana corriedale y lana merino dependerá de las necesidades específicas del proyecto. Si se busca suavidad y comodidad, la lana merino es la opción preferida, aunque tiende a ser más costosa debido a su calidad. Por otro lado, si se necesita una lana más resistente y versátil, la corriedale puede ser más adecuada. Ambos tipos de lana tienen propiedades únicas que las hacen valiosas en diversas aplicaciones, ya sea en la industria textil o en productos de consumo diario (Mullaney et al, 1970).

## Metodología

La producción de pellets de lana comienza con la recolección de lana de descarte, que puede provenir de diversas fuentes, en este caso, ganaderos locales del Paraje La Palma en el Valle del Lunarejo (Departamento de Rivera), área declarada protegida por la UNESCO.

Este material es luego sometido a un proceso en un molinillo, de manera de generar fibras más cortas y maleables (ver Figuras 2, 3 y 4).



**Figura 2.** Lana sucia de descarte.



**Figura 3.** Procesamiento de lana sucia en molino de cuchillas.



**Figura 4.** Muestras de lana procesadas

Fuente: imágenes tomadas en el Laboratorio de Ingeniería y Ciencias de los Materiales –ITR Norte (UTEC).

La metodología escogida es de investigación y desarrollo aplicado, la cual fue llevada a cabo en 4 fases:

#### **i. Investigación Inicial y revisión de literatura**

Esta fase implicó realizar una revisión sistemática de la literatura para comprender cómo se ha empleado la lana de descarte en particular, y los biofertilizantes en general en otros proyectos de reutilización, así como sus propiedades químicas, físicas y biológicas. Esto permitió identificar los componentes de la lana que podrían ser beneficiosos para el suelo y los cultivos.

Por ejemplo, según Chávez-Díaz et al (2021), en la actualidad los biofertilizantes como aquellos procedentes de residuos de lana, han demostrado ser efectivos en algunos países desarrollados, sin embargo, en muchas regiones en desarrollo, su adopción en el sector agrícola enfrenta obstáculos. Estos incluyen, entre otros factores, el conocimiento insuficiente sobre su manejo adecuado. Por estas razones, según los autores, resulta fundamental investigar y difundir conocimientos científicos acerca del uso correcto de los biofertilizantes, sus interacciones con las plantas, y las condiciones del agrosistema.



Asimismo, se podrían mencionar tres importantes proyectos en Latinoamérica y Europa, que han considerado y puesto en marcha, proyectos para la reutilización de lana como biofertilizante.

Por ejemplo, en el centro OVISNOVA, en la región de O'Higgins, Chile, se ha desarrollado el proyecto "*Lana Fertilizante, Economía Circular y Regenerativa*". Este proyecto convierte la lana de baja calidad en un fertilizante líquido que se aplica en praderas naturales. Este biopreparado contribuye a la regeneración de suelos degradados y a una ganadería más sostenible, gracias a su contenido de queratina, que mejora la estructura del suelo (Santo Tomás en Línea, 2023).

Del mismo modo, en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) en Chile, se han llevado adelante proyectos relacionados con el uso de lana como biofertilizante, contribuyendo al desarrollo de la agroecología mediante el reciclaje de desechos orgánicos, en lugar de su eliminación, reforzando prácticas agrícolas sostenibles (Prensa Agrícola, 2023).

Por su parte, el proyecto *GreenWolf*, financiado por la Comisión Europea a través del programa *Life+*, convierte la lana sucia de ovejas en un fertilizante orgánico a través de un proceso de hidrólisis. Este fertilizante, desarrollado en España, mejora la retención de agua y el contenido de carbono en los suelos. Además, reduce los costos de eliminación de residuos ovinos en regiones con alta producción de lana, como el sur de Europa (Agrodigital, 2021).

## **ii. Caracterización de la materia prima**

Se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para identificar las propiedades químicas y físicas de la lana de descarte que influyen en su desempeño como fertilizante (ver Figura 5), incluyendo análisis de nutrientes (nitrógeno y fósforo) realizados en el Laboratorio de Suelo y Foliare del ITR Centro Sur de UTEC, a efectos de valorar la capacidad y el potencial para retener y liberar nutrientes (ver Tablas 3 y 4).

**Tabla 3.** Valores de nitrógeno obtenidos en muestras de merino y corriedale

Variable	NT (mgN/Kg)	Variable	NT (mgN/Kg)
Merino	550.0	Corriedale	771.2
Merino	559.8	Corriedale	794.83
Merino	569.8	Corriedale	818.9

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 4.** Valores de fósforo obtenidos en muestras de merino y corriedale.

Variable	PT (mgP/Kg)	Variable	PT (mgP/Kg)
Merino	740	Corriedale	430
Merino	749.78	Corriedale	457.03
Merino	760	Corriedale	485.6

Fuente: elaboración propia.

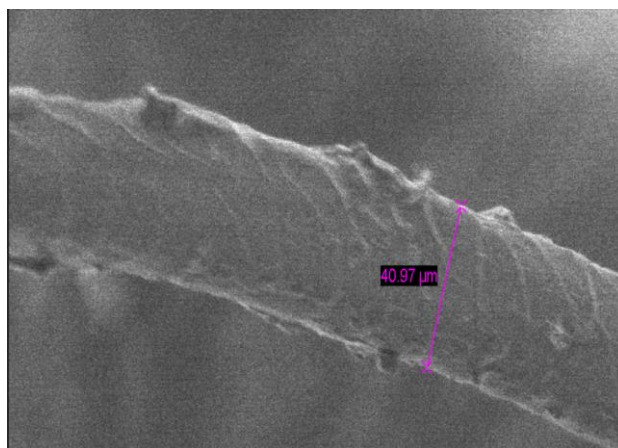


**Figura 5.** Análisis químico en muestras de lana corriedale y merino. Fuente: imagen tomada en el Laboratorio de Suelo y Foliares del ITR CS (UTEC).

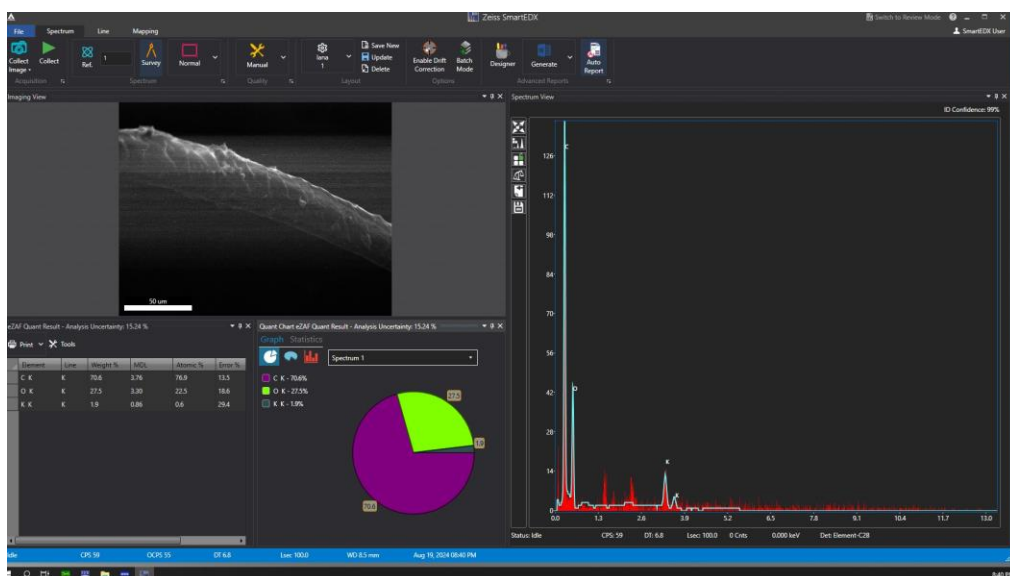
Asimismo, se realizaron ensayos de microscopía electrónica de barrido (MEV), para determinar el micraje de la lana corriedale, y en función de este dato, evaluar su implementación para la fabricación de pellets (ver Figuras 6, 7 y 8). Esta fase resultó esencial para entender la viabilidad de la lana como componente de pellets fertilizantes y determinar si requiere tratamientos previos para mejorar su eficacia en el suelo.



**Figura 6.** Observación microscópica de fibras de lana corriedale. Fuente: imagen tomada en el Laboratorio de Ingeniería y Ciencias de los Materiales –ITR Norte (UTEC), empleando MEV.



**Figura 7.** *Determinación del micraje de fibra de lana corriedale con MEV.* Fuente: imagen tomada en el Laboratorio de Ingeniería y Ciencias de los Materiales –ITR Norte (UTEC), empleando MEV.



**Figura 8.** Determinación de la composición de muestra de lana corriedale con MEV. Fuente: imagen tomada en el Laboratorio de Ingeniería y Ciencias de los Materiales –ITR Norte (UTEC), empleando MEV.

### iii. Desarrollo y Prototipado de Pellets Fertilizantes

Basado en los resultados de la fase anterior, se diseñaron y produjeron prototipos de pellets. En esta etapa se evaluó la forma y textura de los pellets, sin tratamiento previo, dado que la lanolina proveniente de la fibra natural de lana, actuó como aglutinante. De esta manera, se logró desarrollar un producto que se puede aplicar fácilmente en las plantas, asegurando una descomposición a ritmo lento, de fácil almacenamiento y ligero en el transporte (ver Figuras 9 y 10). La diferencia principal de estos pellets frente a los industriales es que utilizan la lanolina natural, sin necesidad de adhesivos ni tratamientos químicos. Esto permite obtener pellets con textura y forma homogéneas, descomposición lenta y controlada, y mayor facilidad para almacenamiento y transporte, manteniendo propiedades naturales y biodegradables. También se destaca el hecho de ser más ligeros y fáciles de transportar y almacenar, gracias a su optimización en forma y composición.



**Figura 9.** Producción de pellets de lana



**Figura 10.** Pellets de lana listos para almacenamiento

Fuente: imágenes tomadas en el Laboratorio de Manufactura por Control Numérico –ITR Norte (UTEC).

#### **iv. Evaluación de Resultados y Ajustes**

En esta fase se analizaron los datos recolectados y basado en estos resultados, se hicieron ajustes en la formulación y el proceso de producción para optimizar el producto final en lo relacionado a la sostenibilidad del proyecto y la economía circular (Lahti et al., 2018).

La pelletización se lleva a cabo mediante un proceso de extrusión, donde la mezcla se somete a alta presión y temperatura, lo que ayuda a compactar el material y mejorar su integridad estructural. Posteriormente, los pellets son secados para asegurar su durabilidad y facilitar su almacenamiento. Es esencial considerar la calidad en los pellets producidos, evaluando su composición química, la liberación de nutrientes y la capacidad de retención de humedad de la lana empleada en su fabricación.

Es importante aclarar que las bolsas de lana de descarte recibidas desde predios ganaderos locales no incluyen información detallada sobre la procedencia específica de la fibra dentro del animal (por ejemplo, barriga, patas, cabeza), ni sobre las características del vellón. En el laboratorio Ingeniería y Ciencias de los Materiales de UTEC, estas lanas

son clasificadas, constatándose que se trata de mechones cortos, altamente contaminados con materia vegetal y suciedad, lo que las hace inviables para procesos de limpieza orientados al hilado o a la confección textil. Este tipo de lana, que no tiene valor comercial en el rubro textil, es la que se aprovecha en el laboratorio para su procesamiento. A pesar de la corta longitud de la fibra, se tritura mediante un molino de cuchillas, obteniendo una molienda cohesionada gracias a la lanolina presente en la fibra, la cual se utiliza luego para la elaboración de pellets

Se destaca además que, desde una perspectiva ambiental, la producción de pellets de lana contribuye a la reducción de desechos, aprovechando un recurso que de otro modo sería desechado. Además, el uso de fertilizantes orgánicos ayuda a disminuir la contaminación del suelo y el agua asociada con el uso excesivo de fertilizantes químicos.

## Conclusiones

Tomando como base los resultados del estudio, así como los datos obtenidos a través de la revisión de literatura, los beneficios del uso de pellets de lana son múltiples y variados. Es de orden mencionar su biodegradabilidad, lo cual asegura que, al descomponerse, no contribuyen a la acumulación de desechos en el medio ambiente. Del mismo modo, al ser un fertilizante de liberación lenta, pueden proporcionar nutrientes de manera continua, lo que es especialmente ventajoso en cultivos perennes.

En la misma línea, los resultados obtenidos en el contenido de nitrógeno total (NT) y fósforo total (PT) en muestras de lana de las razas Merino y Corriedale destacan diferencias significativas en la composición de nutrientes entre ambas, lo cual ofrece potenciales aplicaciones diferenciadas en el desarrollo de fertilizantes orgánicos.

En cuanto al nitrógeno total (NT), las pruebas indicaron que la lana de la raza Corriedale presenta un contenido notablemente superior, en comparación con la lana Merino, lo cual permite sugerir que la lana Corriedale podría ser especialmente útil como fuente de nitrógeno en formulaciones de fertilizantes, proporcionando un suministro constante de este nutriente clave para el crecimiento vegetal, ideal para aplicaciones que busquen una liberación gradual en el suelo.

Respecto al fósforo total (PT), los análisis muestran que la lana Merino contiene niveles más elevados, frente a la lana Corriedale. Este contenido más alto de fósforo en la lana Merino podría ser ventajoso en suelos o cultivos con alta demanda de este mineral, optimizando su uso en aplicaciones específicas donde este nutriente es prioritario. También se puede afirmar, que la combinación de nitrógeno y fósforo en ambas razas de lana apoya la viabilidad de su utilización como fertilizante orgánico, debido a que la

Revista internacional LINKS. Vol.3 (2025)



variabilidad en la composición de NT y PT también abre la posibilidad de desarrollar fertilizantes específicos según las condiciones de cada suelo o las necesidades particulares del cultivo, lo cual podría abordarse en estudios futuros. Los hallazgos de este trabajo, permiten maximizar las ventajas de cada tipo de lana, promoviendo un desarrollo agronómico sostenible y adaptado a distintos entornos agrícolas, debido a que refuerza la viabilidad de la lana de descarte como un fertilizante orgánico eficiente.

## **Limitaciones**

Algunas limitaciones del presente trabajo, guardan relación con la composición de la lana, la cual es altamente variable y depende de diversos factores como la raza ovina, la alimentación del animal, la genética, la época del año, y la región donde se cría al animal. Esta variabilidad intrínseca de la lana puede limitar la generalización de los resultados obtenidos en este estudio a otras muestras. Es decir, los hallazgos encontrados podrían no ser directamente extrapolables a lanas de otras procedencias o características.

Asimismo, las condiciones experimentales bajo las cuales se realizaron los análisis, como la temperatura y la humedad, pueden influir significativamente en los resultados. Factores ambientales como estos pueden afectar la precisión y la reproducibilidad de los datos. Por lo tanto, al interpretar los resultados, es fundamental tener en cuenta estas variables y considerar su posible impacto en las conclusiones.

Es importante destacar, que existen desafíos en la implementación de estos estudios, de manera de realizar actividades educativas que fomenten el aprendizaje de técnicas de economía circular y capacitación de los usuarios, lo cual podría iniciarse como prácticas de agroecología familiar en pequeños y medianos productores. Asimismo, es crucial garantizar la calidad y consistencia del producto final para asegurar su competitividad en el mercado.

## **Futuras líneas de investigación**

El desarrollo de investigaciones futuras podría enfocarse en la optimización del proceso de producción y en estudios a largo plazo sobre el impacto del uso de estos pellets en diversos cultivos y suelos. En esta línea, resulta muy interesante el hecho de explorar combinaciones con otros residuos orgánicos para mejorar aún más la eficacia del fertilizante.

A modo de ejemplo, podrían resumirse las siguientes líneas de trabajo, en las cuales profundizar los esfuerzos y continuar el trabajo realizado:

- **Estudios a largo plazo:** Evaluar los efectos a largo plazo del uso de pellets de lana en la fertilidad del suelo, la salud de las plantas y la calidad de los productos agrícolas.
- **Combinaciones con otros residuos orgánicos:** Explorar la posibilidad de combinar los pellets de lana con otros residuos orgánicos para mejorar sus propiedades y ampliar sus aplicaciones.
- **Análisis de ciclo de vida:** Realizar análisis de ciclo de vida para evaluar el impacto ambiental completo de la producción y el uso de pellets de lana.
- **Estudios económicos:** Realizar un estudio profundo acerca de la viabilidad económica de la producción y comercialización de pellets de lana.

Es importante garantizar la calidad y consistencia de los pellets de lana, lo cual podría garantizar el éxito en el mercado. Esto implica el desarrollo de protocolos de producción y control de calidad rigurosos. Además, la introducción de este nuevo producto requiere una estrategia de marketing sólida para generar confianza en los productores. La implementación a gran escala demandará inversiones en infraestructura para la recolección, procesamiento y distribución de la lana. Por último, es fundamental contar con un marco normativo que regule la producción y el uso de estos fertilizantes orgánicos, asegurando así la calidad y seguridad del producto.

## Referencias

Agrodigital. (2021). *La lana sucia de las ovejas se puede convertir en fertilizante orgánico*. Recuperado de <https://www.agrodigital.com>

Alomar, D., Alarcón, M., & Kusanovic, A. (2021). Predicción de la calidad de lana mediante Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS). *Agrosur*, 43(1), 55-64.

Bianco, I., De Bona, A., Zanetti, M., & Panepinto, D. (2021). Environmental Impacts in the Textile Sector: A Life Cycle Assessment Case Study of a Woolen Undershirt. *Sustainability*, 13(21), 11730. <https://doi.org/10.3390/su132111730>

Bradshaw, T., & Hagen, K. (2022). Wool Pellets Are a Viable Alternative to Commercial Fertilizer for Organic Vegetable Production. *Agronomy*, 12(5), 1210. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051210>

Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. (s.f.). *Presentación Proyecto Innovawool*. [Archivo PDF]. <https://citarea.cita-aragon.es/bitstream/10532/7015/1/Presentacion%20Proyecto%20Innovawool.pdf>

Chávez-Díaz, I. F., Zelaya Molina, L. X., Cruz Cárdenas, C. I., Rojas Anaya, E., Ruíz Ramírez, S., & de los Santos Villalobos, S. (2020). Consideraciones sobre el uso de biofertilizantes como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(6). <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492>

Lahti, T., Wincent, J., & Parida, V. (2018). A Definition and Theoretical Review of the Circular Economy, Value Creation, and Sustainable Business Models: Where Are We Now and Where Should Research Move in the Future? *Sustainability*, 10(8), 2799. <https://doi.org/10.3390/su10082799>

McGregor, B. A., & Roy, M. R. (2021). The science behind the wool industry: The importance and value of wool. *Animal Frontiers*, 11(2), 15-21. <https://doi.org/10.1093/af/vfab019>

Mullaney, P. D., Brown, G. H., Young, S. S. Y., & Hyland, P. G. (1970). Genetic and phenotypic parameters for wool characteristics in fine-wool Merino, Corriedale, and Polwarth sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, 21(3), 527-540. <https://doi.org/10.1071/AR9700527>

Naciones Unidas. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Neimaur, K., Sienra, I., Kremer, R., Sánchez, A., & Urioste, J. I. (2015). Phenotypic associations between mean fiber diameter and its variability with other fleece characteristics in Corriedale. *Facultad de Veterinaria Montevideo*, 51(200), 36-45.

Prensa Agrícola. (2023). *Biolana: El fertilizante hecho con lana de oveja*. Recuperado de <https://prensaagricola.cl>

Santo Tomás en Línea. (2023). *Ovisnova busca fabricar fertilizante a partir de la lana desechada*. Recuperado de <https://enlinea.santotomas.cl>

Secretariado Uruguayo de la Lana. *Encuesta nacional ganadera, datos preliminares y datos (SNIG)*. Recuperado de [https://www.sul.org.uy/descargas/des/Encuesta\\_ganadera\\_Primer\\_entrega\\_PBottaro.pdf](https://www.sul.org.uy/descargas/des/Encuesta_ganadera_Primer_entrega_PBottaro.pdf)