

FACULTAD CIENCIAS AGRARIAS  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



TESINA DE GRADO

INGENIERIA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**Uso de lodos residuales de la industria vitivinícola como sustrato  
en la producción en vivero de plantines de *Eucalyptus  
camaldulensis* Dehnh.**

**Tesista:** Juan Francisco Giraud Billoud

**Director:** Dr. Ing. Agr. Juan Alberto Bustamante

**Co-director:** Ing. Agr. Lucas Gabriel López

Lujan de Cuyo, Mendoza, Argentina

2020

**Uso de lodos residuales de la industria vitivinícola como sustrato  
en la producción en vivero de plantines de *Eucalyptus  
camaldulensis Dehnh.***

**Tesista**

Juan Francisco Giraud Billoud

juangiraudbilloud@gmail.com

**Director**

Dr. Ing. Agr. Juan Alberto Bustamante

jbustamante@fca.uncu.edu.ar

**Codirector**

Ing. Agr. Lucas Gabriel López

ing.lopez.lucas@gmail.com

**Comité evaluador**

Ms. Sc. Ing. Agr. Sonia Fioretti

soniafioretti@hotmail.com

Ms. Sc. Ing. Agr. Emilio Rearte

erearte@fca.uncu.edu.ar

Dr. en Biología Sergio Piraino

spiraino@fca.uncu.edu.ar

## RESUMEN

La presente tesina propone un primer paso en el conocimiento de una alternativa económicamente viable y ambientalmente sostenible a la disposición final de lodos, que se generan en la industria vitivinícola, los cuales frecuentemente, son depositados en rellenos sanitarios sin ningún tipo de control ambiental. Su disposición en plantaciones forestales con la finalidad de aprovechar sus nutrientes, disminuiría el impacto causado al medio ambiente en el uso de vertederos.

Un estudio en un cultivo forestal ya implantado del comportamiento de los forestales frente al agregado de estos lodos demandaría un tiempo mucho más prolongado que el aconsejable para el desarrollo de una tesina.

Por ello, y como un primer paso, se evaluó el uso de lodos provenientes de la industria vitivinícola, como abono orgánico aplicado al sustrato utilizado para la producción de plantines de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh en contenedores.

El ensayo fue realizado en el vivero que posee la cátedra de Dasonomía, dentro del predio de la Facultad Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Los eucaliptus se desarrollaron en macetas de polietileno de 4l durante 182 días. Se utilizó un diseño experimental de bloques completo al azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones, dando un total de 16 unidades experimentales.

Los tratamientos incluyen un testigo formado por una mezcla de tierra franco arenosa que contiene solo sustrato base sin ningún tipo de agregado, un segundo tratamiento agregando al sustrato base guano de gallina sin agregado de lodo, un tercer tratamiento con agregado de una dosis que se estima baja de lodo y un cuarto tratamiento con agregado de una dosis que se estima alta de lodo. Todos en sustrato base con textura franco-arenosa.

Las variables altura y diámetro de las plantas fueron medidas mensualmente y al final del ensayo se midió la biomasa total, dichas variables fueron sometidas al análisis de varianza y la comparación de medias por el método de Tukey con 5% de probabilidad.

Los resultados del ensayo experimental aplicado durante el periodo de 182 días evidencian que el sustrato con lodo en dosis alta y guano de gallina presentan un mayor crecimiento para las variables diámetro y biomasa con respecto al sustrato con lodo en dosis baja y el testigo, poniendo de relieve que el agregado de lodos de bodega, en dosis adecuadas al sustrato constituyen una alternativa técnica y ambientalmente recomendable para la deposición de lodos provenientes de la industria vitivinícola, utilizándolos como un abono orgánico.

**Palabras clave:** lodos de bodega, sustrato, abono orgánico, *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero dar las gracias con mucha humildad a todas aquellas personas que me alentaron a terminar con la carrera, después de varios años de estudio y formación se ha concretado. Por todo el apoyo, el cariño y por el tiempo que se tomaron para transmitirme sus conocimientos, sus visiones, su alegría y energía.

A mi familia, Oscar, Liliana, Ignacio y Gonzalo.

A mi padrino Eduardo y madrina María del Carmen.

A mis abuelas Alba y Titi por cuidarme desde el cielo.

A mis primos Gabriel, Soledad y Matías.

A mis compañeras y compañeros de carrera.

A mis amigos Julio, Matías y Nahuel por sus consejos.

A mi director Juan Bustamante y a mi co-director Lucas López, por brindarme sus conocimientos, experiencias, confianza, dedicación y tiempo que fueron fundamentales para llevar a cabo la tesina de grado.

A la profesora Claudia Morelli por su buena predisposición y ayuda con el análisis estadístico.

Al señor Leonardo Lucero por brindar ayuda al momento del ensayo.

A la Cátedra de Dasonomía, Cátedra de Agricultura Especial, Cátedra de Espacios Verdes y Cátedra de Estadística de la Facultad Ciencias Agrarias, UNCuyo.

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Formulación del problema y fundamentación .....	1
1.2. Hipótesis .....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
2. MARCO TEÓRICO .....	3
2.1 Características del efluente de bodega .....	3
2.2 Tratamiento de efluentes .....	5
2.2.1 Importancia del tratamiento de efluentes.....	5
2.2.2 Consumo y usos de agua .....	5
2.2.3 Finalidad del tratamiento de efluentes para uso agrícola .....	6
2.2.4 Marco legal.....	6
2.3 Generación del lodo .....	7
2.4 Características de los lodos de bodega .....	8
2.5 Tratamiento de los lodos de bodega .....	9
2.6 Destinos de los lodos de bodega .....	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
3.1 Ubicación del ensayo .....	11
3.2 Obtencion de lodos.....	12
3.3 Origen de los plantines.....	13
3.4 Guano de gallina .....	14
3.5 Especie forestal utilizada.....	15
3.6 Diseño Experimental.....	17
3.7 Variables.....	18
3.7.1 Diámetro del cuello de la planta.....	18
3.7.2 Altura total .....	18
3.7.3 Biomasa total por planta .....	19
3.8 Análisis estadístico .....	19
4. RESULTADOS.....	20
4.1 Crecimiento en diámetro.....	20
4.2 Crecimiento en altura .....	22
4.3 Biomasa total .....	23
4.3.1 Peso Fresco .....	23
4.3.2 Peso Seco.....	24
5. DISCUSION.....	26
6. CONCLUSIONES .....	27
7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA .....	28
8. ANEXOS.....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Diagrama de flujo de la producción de lodos primarios y secundarios en una bodega. ....	7
Figura N°2: Cantidad de lodos estimada en m <sup>3</sup> , en función de los meses del año para la bodega en estudio. ....	8
Figura N°3: Muestra de lodo de bodega. ....	8
Figura N°4: Playa de secado de lodos. ....	9
Figura N°5: Playa de secado de los lodos. ....	9
Figura N°6: Ubicación del vivero donde se realizó el ensayo. Chacras de Coria, Lujan de Cuyo, Mendoza. ....	11
Figura N°7: Canteros donde se llevó a cabo el ensayo dentro del vivero de la Cátedra de Dasonomía, Facultad de Ciencias Agrarias. ....	11
Figura N°8: Extracción de la muestra de lodo. ....	12
Figura N°9: Compostaje del lodo de bodega. ....	13
Figura N°10: Mezcla y preparación del sustrato para los distintos tratamientos. ....	13
Figura N°11: Ejemplar de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. ....	16
Figura N°12: Frutos de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. ....	16
Figura N°13: Dispositivo experimental para el diseño en bloques completos al azar. ....	17
Figura N°14: Distribución de los tratamientos dentro de los bloques. ....	18
Figura N°15: Medición del diámetro en el cuello de la planta. ....	18
Figura N°16: Disección de hojas, raíz, tronco principal y ramas. ....	19
Figura N°17: Evolución mensual con valores promedio para variable diámetro (mm) en función del tiempo. ....	20
Figura N°18: Crecimiento en diámetro (mm) en función del tipo de sustrato. ....	21
Figura N°19: Evolución mensual con valores promedio para variable altura (cm) en función del tiempo. ....	22
Figura N°20: Crecimiento en altura (cm) en función del tipo de sustrato. ....	22
Figura N°21: Crecimiento en peso fresco (g) en función del tipo de sustrato. ....	23
Figura N°22: Crecimiento en peso seco (g) en función del tipo de sustrato. ....	25
Figura N°23: Grafico Q-Q plot (normal) obtenido a partir de un modelo con errores normales para variable diámetro (mm). ....	44
Figura N°24: Grafico Q-Q plot (normal) obtenido a partir de un modelo con errores normales para variable altura (cm). ....	45
Figura N°25: Grafico Q-Q plot (normal) obtenido a partir de un modelo con errores normales para variable peso fresco (g). ....	46
Figura N°26: Grafico Q-Q plot (normal) obtenido a partir de un modelo con errores normales para variable peso seco (g). ....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Concentración promedio de nutrientes en guano de gallina (kg/tn).....	14
Tabla N°2: Datos de medición para cada variable agrupados por bloques con sus respectivos tratamientos.....	20
Tabla N°3: Análisis de la varianza para el diámetro (mm) de cultivos forestales para distintos tipos de sustratos.....	21
Tabla N°4: Comparación de medias por el método de Tukey para el diámetro (mm) en función de los tipos de sustratos.....	22
Tabla N°5: Análisis de la varianza para altura (cm) de cultivos forestales para distintos tipos de sustratos.....	23
Tabla N°6: Análisis de la varianza para peso fresco (g) de cultivos forestales para distintos tipos de sustratos.....	24
Tabla N°7: Comparación de medias por el método de Tukey para peso fresco (g) en función de los tipos de sustratos.....	24
Tabla N°8: Análisis de la varianza para peso seco (g) de cultivos forestales para distintos tipos de sustratos.....	25
Tabla N°9: Comparación de medias por el método de Tukey para peso seco (g) en función de los tipos de sustratos.....	26
Tabla N°10: Caracterización química (nutrientes, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica) de la muestra de lodo tomada en la bodega Los Haroldos.....	30
Tabla N°11: Parámetros fisicoquímicos característicos de efluentes generados en la industria vitivinícola y máximos permisibles. Resolución N° 778/96. DGI. Mendoza.....	31
Tabla N°12: Necesidad de riego para <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh.....	32
Tabla N°13 A: Análisis de fertilidad de las muestras al inicio del ensayo.....	36
Tabla N°13 B: Interpretación de las muestras al inicio del ensayo.....	36
Tabla N°14 A: Análisis de fertilidad de las muestras al final del ensayo.....	36
Tabla N°14 B: Interpretación de las muestras al final del ensayo.....	37
Tabla N°15: Medidas de resumen para variable diámetro (mm).....	38
Tabla N°16: Medidas de resumen para variable altura (cm).....	38
Tabla N°17: Medidas de resumen para variable peso fresco (g).....	38
Tabla N°18: Medidas de resumen para variable peso seco (g).....	39
Tabla N°19: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks modificada para variable diámetro (mm).....	44
Tabla N°20: Prueba de homoscedasticidad de Levene para variable diámetro (mm).....	44
Tabla N°21: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks modificada para variable altura (cm).....	45
Tabla N°22: Prueba de homoscedasticidad de Levene para variable altura (cm).....	46
Tabla N°23: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks modificada para variable peso fresco (g).....	46
Tabla N°24: Prueba de homoscedasticidad de Levene para variable peso fresco (g).....	47
Tabla N°25: Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks modificada para variable peso seco (g).....	48
Tabla N°26: Prueba de homoscedasticidad de Levene para variable peso seco (g).....	48

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Formulación del problema y fundamentación

La industria vitivinícola en la provincia de Mendoza genera anualmente residuos sólidos y efluentes líquidos en cantidades significativas. Los sólidos en general son aprovechados en distintas aplicaciones e inclusive pueden tener un valor comercial, como es el caso de orujos y lías, que pueden ser tratados por diversas industrias para la extracción de alcohol, ácido tartárico y aceite de uva principalmente. Además se generan lodos que podrían reutilizarse mediante aplicación directa en la agricultura, compostaje para su posterior aplicación a suelo, incineración con aprovechamiento energético o utilización como biomasa en la generación de energía eléctrica (Sosa R., 2013).

En la actualidad estos efluentes o residuos que generan lodos residuales son depositados en lagunas de oxidación las cuales después de terminado el proceso generan grandes cantidades de lodos residuales los cuales no son aprovechados y por el contrario deben ser retirados periódicamente por medio de camiones hasta sitios donde se hace su disposición final. A esta problemática se suma los costos económicos por las largas distancias que los vehículos tienen que recorrer para el traslado de estos lodos.

La deposición en rellenos sanitarios es un destino seguro, pero el alto costo del mantenimiento, que no siempre se realiza adecuadamente, puede no resolver problemas de contaminación del suelo, aire y agua (Quintana et al., 2011).

Este escenario determina una oportunidad a uno de los potenciales destinos del lodo que es la agricultura. En la agricultura, hay cada vez más necesidad de buscar fuentes alternativas de abonos que disminuyan los costos de cultivos agrícolas y aporten materia orgánica a nuestros suelos pobres en este componente, de nuestra región.

La inadecuada disposición y el escaso aprovechamiento de los lodos generados diariamente en los procesos productivos de algunas bodegas, contribuyen a la contaminación ambiental de los recursos suelo, agua y aire. Debido a esta situación se ha generado la necesidad de realizar estudios que pretendan ofrecer alternativas ambientalmente viables para implementar sistemas de producción de mayor sustentabilidad, para alcanzar un equilibrio adecuado entre la protección del medio ambiente, el desarrollo económico y social (Sosa R., 2013).

Se trata por ello de desarrollar soluciones que permitan reducir los riesgos de contaminación al medio ambiente y la posible afectación a la salud de los seres humanos debido al aumento de la contaminación causada por una inadecuada disposición y manejo de los lodos. El problema del manejo se asocia cuando se desperdicia su potencial de aprovechamiento y se dispone solo como un residuo, aumentando su cantidad en los rellenos sanitarios. Es por esta razón que se justifica buscar tratamientos adecuados que permitan la utilización racional de dichos residuos.

Así mismo se busca que esta investigación resulte atractiva desde un punto de vista económico debido a la generación de beneficios, como es la reducción de costos al eliminarse el transporte de los lodos en camiones hacia el punto de disposición final. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que las características de los lodos pueden modificar favorablemente propiedades edáficas en los que se apliquen, dando lugar a una posible utilización de los grandes volúmenes de lodos generados en la industria vitivinícola como abono orgánico<sup>1</sup>.

Los nutrientes orgánicos contenidos en los lodos, ofrecen diversas ventajas en comparación con los fertilizantes inorgánicos gracias a que pueden ser incorporados lentamente por las plantas en crecimiento, favorecen el intercambio catiónico y aumentan la capacidad de retención de agua por el suelo. Estas formas orgánicas de nutrientes son menos solubles en

---

<sup>1</sup> Son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrientes; el suelo con la composición de estos abonos, se ve enriquecido con carbono orgánico y mejora sus características físicas, químicas y biológicas.

agua y, por lo tanto, tienen una menor probabilidad de lixiviarse hacia el agua subterránea o ser arrastradas por las aguas superficiales (Macías J. G., 2013).

El uso de los lodos de bodega como fuente complementaria de nutrientes podría ser una alternativa viable para dar solución a la problemática del almacenamiento de estos residuos en las bodegas de la provincia.

Según Environmental Protection Agency (EPA), los lodos en general pueden servir como una alternativa, o sustituto, a los costosos fertilizantes químicos. En los últimos años, los fertilizantes de mayor consumo (urea y superfosfato triple) han tenido un aumento en sus precios, lo que ha provocado efectos sobre los costos directos en la producción agrícola, generando una racionalización de su uso. Si bien estos fertilizantes tienen pocos sustitutos, dentro de los más utilizados para reemplazarlos son el salitre y el guano (ODEPA, 2008). No obstante, el lodo por sus constituyentes nutricionales podría sustituir a estos fertilizantes en determinadas condiciones (Tapia, 2005).

Por lo anterior, una forma de solucionar el problema ambiental frente al destino de los lodos de bodega, es la aplicación de éstos como fertilizante en plantaciones forestales. Esto permitiría una disminución considerable de costos en fertilizantes junto a la contribución de la materia orgánica que favorece los procesos químicos al aumentar la capacidad de intercambio catiónico; procesos físicos al mejorar la capacidad de almacenamiento de agua; y finalmente, procesos biológicos al entregar los nutrientes necesarios en la materia orgánica, para el crecimiento de las plantas (Cogger *et al.*, 2000).

Si bien los lodos de distintos procesos industriales están siendo utilizados a nivel mundial como enmiendas o fertilizantes orgánicos, existe poca información sobre el uso de los lodos provenientes de la industria vínica como abono orgánico, particularmente en viveros o cultivos de forestales.

En general los eucaliptos son especies de forestales que crecen y se desarrollan sobre una gran variedad de suelos, tolerando según la especie, suelos pobres, desprovistos de arcilla, con escasa retención de agua y clima muy variado. Actualmente, los eucaliptos constituyen uno de los árboles más utilizados para plantaciones forestales, debido a su rápido crecimiento y respuesta a variaciones en la fertilidad del suelo (Mendes *et al.*, 2013, Dias *et al.*, 2015). La fertilización de las forestaciones con eucaliptos se realiza empleando generalmente fertilizantes minerales y, buena parte de ellos se aplica en la implantación para permitir un mejor crecimiento inicial. Posteriormente a medida que el árbol crece, la fertilización del mismo se hace más difícil y con menor efecto. Como se ha manifestado por lo tanto, hay carencia de estudios científicos con compuestos de lodos de bodega y, al mismo tiempo, gran oferta de este producto y demanda de fertilizantes.

## **1.2. Hipótesis**

La incorporación de lodos provenientes de bodegas como abono orgánico, al sustrato utilizado en la producción en vivero de plantines de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, produce un incremento en el crecimiento<sup>2</sup> de los mismos.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar el crecimiento en vivero de plantines de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, ante el agregado a un sustrato base de lodos de bodega, comparándolo con el agregado de guano de gallina.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar si existen diferencias en el peso de la biomasa producida por las plantas en función del agregado al sustrato de guano de gallina y distintas dosis de lodo.

---

<sup>2</sup> El crecimiento es el aumento irreversible de masa y/o volumen que experimenta una célula, un órgano o la planta entera durante su ciclo vegetativo.

- Determinar si existen diferencias en la altura y en el diámetro de las plantas en función del agregado al sustrato de guano de gallina y distintas dosis de lodo.

## **2. MARCO TEÓRICO**

En el ámbito mundial se han desarrollado alternativas de uso de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, siendo una de ellas la incorporación en suelos agrícolas, evitando así el costo de confinamiento. Esta práctica da un valor agregado al residuo al aprovecharse como fertilizante y/o acondicionador de suelo (Hernández, J. M. y otros. 2005).

Las experiencias de aplicación de lodos en suelos agrícolas evidencian efectos positivos sobre las propiedades físicas de los suelos, como la disminución de la densidad aparente y un incremento de la retención de agua. También mejoran las propiedades químicas, por el aporte de materia orgánica y nutrientes (Macías J. G., 2013).

A nivel internacional, las investigaciones han registrado más de 20 años de experiencia en el uso agrícola y forestal de lodos, y otros fertilizantes orgánicos, además de su aplicación en suelos degradados. Sin embargo, en Sudamérica, las experiencias no han demostrado categóricamente el efecto benéfico de lodos en plantaciones forestales. Por ejemplo en Chile, donde existen estudios realizados en la Región Metropolitana sobre la calidad de los lodos que se generan, su continuidad, viabilidad y dosis adecuadas, describiendo su aplicación en suelos agrícolas, siendo necesario ampliar estas experiencias al ámbito forestal (Donoso S. y otros, 2016).

Por lo expuesto anteriormente se deberían realizar experiencias locales sobre el uso de lodos de bodegas como abono orgánico para corroborar o no, el efecto benéfico sobre los cultivos forestales, aumentando los valores de biomasa, altura y diámetro de los mismos.

En la actualidad, los estudios se han enfocado hacia la búsqueda de alternativas para la transformación del lodo en un material adecuado para ser dispuesto en el suelo, debido principalmente a que cada vez son menores las áreas aptas para la instalación de sitios de disposición final, a los problemas asociados a la contaminación atmosférica generada por la incineración de estos residuos y a que los métodos tradicionales de manejo de los lodos son cada vez más complejos y costosos (Grajales S., 2006).

El destino adecuado de este residuo es necesario, debido a los problemas ambientales que pueden ser ocasionados, principalmente con la contaminación del suelo y del agua. La deposición en rellenos sanitarios es un destino seguro, pero el alto costo del mantenimiento, que no siempre se realiza adecuadamente, puede no resolver problemas de contaminación del suelo, aire y agua (De Souza D., 2015). Es decir, hay carencia de formas seguras y eficaces de procesamiento y acondicionamiento de este importante residuo.

En la actualidad los lodos de bodegas son depositados en playas de desecado, las cuales después de terminado el proceso se generan grandes cantidades de residuos sólidos, que no son aprovechados y por el contrario deben ser retirados periódicamente por medio de camiones hasta sitios donde se hace su disposición final. A esta problemática se suma los costos económicos por las largas distancias que los vehículos tienen que recorrer para el traslado de estos lodos (Cárdenas F.; González J., 2015).

La disposición de los lodos es también un gran problema, ya que se requieren grandes superficies de terreno o transportarlos a un sitio autorizado. Además otros problemas son la vida útil del sitio, el manejo y tratamiento de los lixiviados ahí generados (Macías J. G., 2013).

### **2.1 Características del efluente de bodega**

La corriente del efluente proveniente de bodegas, presenta una carga orgánica soluble expresada en Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) comprendida dentro de un amplio rango de variación (entre 200 y 8.000mg/l). Otro aspecto relacionado son los sólidos suspendidos (SS) de tamaños inferiores a 1mm, que resultan difíciles de separar por métodos de sedimentación. Estas partículas se presentan principalmente en temporada de

vendimia y corresponden a restos pequeños de pulpa y otras partes del racimo (Ojeda N., 2015).

Un aspecto de importancia, es la presencia de detergentes, lavandinas y otras sustancias desinfectantes de uso en industrias del tipo vitivinícola. Estas sustancias presentan una capacidad de biodegradación muy baja, retardando los procesos, incrementando el tamaño de las instalaciones de tratamiento encargadas de disminuir la DBO (Ojeda N., 2015).

Los valores de pH dependen de la operación que se realice en bodega. El rango en esta corriente es de 3 a 11. Este efluente presenta sustancias formadoras de ácidos como azúcares y otras de menor proporción que confieren una caída de hasta dos unidades de pH en aguas neutras o alcalinas (Ojeda N., 2015).

Los principales componentes sólidos son arcillas minerales, tierras diatomeas u otros materiales filtrantes. En la vendimia el efluente tiene importantes restos vegetales como hojas, granos de uva, hollejo, restos de escobajo, semillas, entre otros (Ojeda N., 2015).

Otros sólidos que suelen encontrarse en los efluentes, corresponden a guantes, bolsas plásticas, juntas de gomas, diversos envoltorios y recipientes plásticos, que pueden obstruir el correcto funcionamiento de las bombas que operan en la planta (Ojeda N., 2015).

En general se caracterizan por una carga orgánica elevada, aportada por etanol o azúcares, bajo nivel de nutrientes como nitrógeno y fósforo, pH variable, normalmente ácido y concentraciones apreciables de sólidos en suspensión. Son compuestos, salvo los polifenoles, que son fácilmente biodegradables (Ojeda N., 2015).

Puesto que las aguas residuales no domésticas que vierten las bodegas proceden de operaciones de lavado, refrigeración y derrames accidentales originados en los numerosos trasvases que en ellas se realizan, las características de los vertidos de las bodegas varían ampliamente en función de la época del año y de la operación que origina el vertido, generalmente relacionada con una localización determinada dentro de la instalación (Ojeda N., 2015).

De acuerdo a la investigación realizada por (González, G. y otros, 2003), en bodegas con sistemas tradicionales de vinificación, se llegó a la conclusión que hay cuatro factores que se deben tener en cuenta para la caracterización de los efluentes líquidos. Estos son: contenido de agua, concentración de sales inorgánicas, contenido de compuestos orgánicos y pH.

#### a. Contenido de agua

Proviene fundamentalmente de los lavados. El agua utilizada en bodegas es principalmente de origen subterráneo.

#### b. Concentración de sales inorgánicas

El efluente con bajo contenido de sales, es decir, de baja Conductividad Eléctrica, puede ser utilizado para riego sin mayores inconvenientes, siendo el valor máximo permitido por el Departamento General de Irrigación (DGI) de 2250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  si se trata de un efluente industrial para reusó (Resolución N° 778 /96). En cambio, efluentes sobrecargados de iones deberán ser tratados para eliminar el exceso de contenido salino.

En el caso de la bodega que proveerá el lodo la Conductividad Eléctrica promedio es de 3419  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Los principales componentes que elevan la CE del agua en general son HCl, NaOH, NaCl,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , presentes en los productos de limpieza y desinfectantes.

#### c. Contenido de compuestos orgánicos

Los compuestos orgánicos, que se manifiestan mediante la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) son indicados como uno de los componentes más importantes de los efluentes. Los valores máximos tolerables por el DGI para vertido del efluente a un cuerpo receptor son: DBO: 120 mg/L y DQO: 250 mg/L. Es importante indicar que no hay límites de DBO en el efluente tratado que se reusa en agricultura.

Los restos de materia prima y los productos de neo formación durante la fermentación alcohólica, carga microbiológica formada principalmente por levaduras, producen borras que son las responsables de esta caracterización orgánica tan acentuada.

d. pH

La concentración de ácidos orgánicos crece a medida que se descompone la materia orgánica proveniente de la etapa de molienda.

Los rangos límites de pH permitidos por el DGI son de 5,5 a 9. Es importante utilizar técnicas de neutralización para llegar a un valor cercano a la neutralidad, ya que la mayor parte de los organismos vivos pueden desarrollarse dentro de estos límites de variación.

## **2.2 Tratamiento de efluentes**

El tratamiento de las aguas residuales industriales, tiene como objetivo remover los contaminantes presentes con el fin de hacerlas aptas para otros usos o bien para evitar daños al ambiente. Sin embargo, el tratamiento del agua trae siempre como consecuencia la formación de lodos residuales, subproductos indeseables difíciles de tratar y que implican un costo extra en su manejo y disposición.

### **2.2.1 Importancia del tratamiento de efluentes**

El agua es un recurso escaso en la provincia de Mendoza, que tiene múltiples usos, poblacionales, agrícolas, energéticos (energía hidroeléctrica), industriales y de esparcimiento. Así mismo, los efluentes que se generan en las actividades agroindustriales pueden generar problemas ecológicos, sociales y económicos.

La importancia de la implementación de algún método de tratamiento de efluentes en bodegas radica en el hecho que el agua que es utilizada en las distintas actividades, principalmente en la limpieza, es apta para el consumo y desarrollo humano. Debido a la escasez de este recurso para el abastecimiento de la población y uso agrícola, se considera importante desarrollar métodos por los cuales el agua pueda ser tratada para ser reutilizada en algún tipo de uso consuntivo.

### **2.2.2 Consumo y usos de agua**

Dado que en el mundo existe una creciente preocupación por el consumo de agua potable y la generación de efluentes, actualmente se exige a las bodegas que sean cuidadosas con el medio ambiente. Se ha estimado que el 90 % del consumo de agua de las bodegas se destina a las operaciones de limpieza, y surge como consecuencia de la ejecución de actividades desarrolladas en las distintas etapas (Fonti de García, 2008).

Con respecto a la vendimia, esta labor tiene una particular trascendencia respecto a los vertidos de aguas residuales. Normalmente es la época en que se produce un mayor volumen de efluentes y con una mayor carga contaminante, estimándose que el 35-40% del agua consumida por una bodega, anualmente se produce en esta época.

En este sentido, las bodegas en Mendoza utilizan, durante la época de elaboración 3,08 L agua/L vino elaborado, en las actividades de limpieza en lagares, moledoras, prensas, lavado de piletas, tanques, filtros, pisos y lavado de botellas, dando un volumen de gasto aproximado a nivel provincial de 3,4 hm<sup>3</sup> de agua por año (Nazrala et al. 2003).

Se estima que un 90 % del consumo de agua de las bodegas se destina a las operaciones de limpieza de equipos e instalaciones. El uso de agua en bodegas representa el 0,1% de la demanda de agua total disponible para todos los usos de la provincia (Nazrala et al. 2003).

En términos generales se estima que del consumo anual de agua en una bodega, entre el 40-50% del total se realiza durante la vendimia, entre el 25-35% para tratamientos y crianza, y del 15 al 25% en la estabilización y embotellado (Nazrala et al. 2003).

### **2.2.3 Finalidad del tratamiento de efluentes para uso agrícola**

El tratamiento de efluentes en las bodegas no es un proceso simple, presenta diversas etapas que dependen de la clase de impurezas que se encuentren en el agua. El principal objetivo es la disminución de su carga contaminante para minimizar el impacto ambiental que se genera cuando estas son vertidas. Se busca el ajuste del pH y la disminución de la salinidad para que los nutrientes que poseen estas aguas sean aprovechados por los cultivos (Ojeda N., 2015).

En las bodegas de Mendoza se realizan tratamientos primarios físicos y químicos que no generan nuevas sustancias sino disminuyen los sólidos de tamaño considerable por filtración y regulan el pH para que no sean fitotóxicos, generalmente con el agregado de cal. Tienen como objetivo la separación por medios físicos de sólidos y/o partículas en suspensión, dejando el efluente libre de éstos y la regulación de pH, para dejar el efluente apto para el riego agrícola.

Posteriormente, si es necesario se realiza un tratamiento secundario en donde intervienen microorganismos que se desarrollan en pH neutros y que oxidan la materia orgánica reduciendo la demanda biológica de oxígeno (DBO) de los efluentes de bodegas.

### **2.2.4 Marco legal**

La industria vitivinícola es la principal industria agroalimenticia de la Provincia, representa el 24% de las industrias de Mendoza y casi el 50% de la industria agroalimenticia (Duek et al., 2012). En Mendoza, las bodegas elaboradoras de vinos, se consideran establecimientos sujetos a la Ley Provincial N° 5.961/92 de Preservación del Medio Ambiente, Constitución Provincial, Ley General de Aguas, Leyes N° 4.035 y 4036 de Aguas Subterráneas y Ley N° 6044, y con regulación del Departamento General de Irrigación (DGI Res. 778).

La implementación de un sistema de tratamiento de efluentes en las industrias vitivinícolas consisten en que los líquidos que se desechan no sean eliminados al ambiente tal como se generan, sino que deban ser sometidos a algún tipo de tratamiento que permita que esos efluentes sean liberados sin riesgo de contaminar los recursos naturales más próximos.

Además, los procesos industriales deben adecuarse a la política ambiental, provincial y nacional, haciendo un aprovechamiento integral, racional y eficiente de los recursos dentro del marco del desarrollo sustentable. Por ello es imprescindible la continua actualización de la normativa en materia de contaminación hídrica, debiendo ajustarse a los requerimientos de la sociedad y de la protección de los recursos para mantener y asegurar la calidad de los mismos (Sosa, 2013).

Los efluentes industriales, luego de ser tratados, pueden volcarse a cauces públicos o bien usarse para el riego de cultivos especiales en las denominadas Áreas de Cultivos Restringidos Especiales (ACRE). Actualmente, la provincia de Mendoza cuenta con normativas como la Resolución N° 400 y la N° 778 del Departamento General de Irrigación, que es el encargado de la administración general de las aguas, y, dentro de sus incumbencias, se encuentra la de poder de policía. Es decir, tiene como función la vigilancia del recurso hídrico con el objeto de preservar la salud pública y promover el bienestar común de los habitantes de Mendoza.

Actualmente la provincia de Mendoza no tiene una legislación específica para los lodos de bodegas, los mismos están incluidos dentro de la resolución N° 778/96 Contaminación Hídrica. En el Anexo 2 se encuentran los parámetros fisicoquímicos característicos de efluentes generados en la industria vitivinícola y máximos permisibles.

La ley N° 24.051 Residuos Peligrosos, la cual se complementa con la resolución 97 "Reglamento para el Manejo Sustentable de Barros Generados en Plantas de Tratamiento de Efluentes Líquidos" establece en su contenido: Caracterización, Categorización, Formas de Uso, Disposición final, Restricciones y control de calidad. En Argentina se define biosólidos como "Productos originados en la transformación de barros orgánicos a través de tratamientos destinados a reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores y a otorgarles aptitud para su utilización agrícola y para

la recuperación de suelos y sitios degradados” (Resolución 97, 2001, Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente, Buenos Aires).

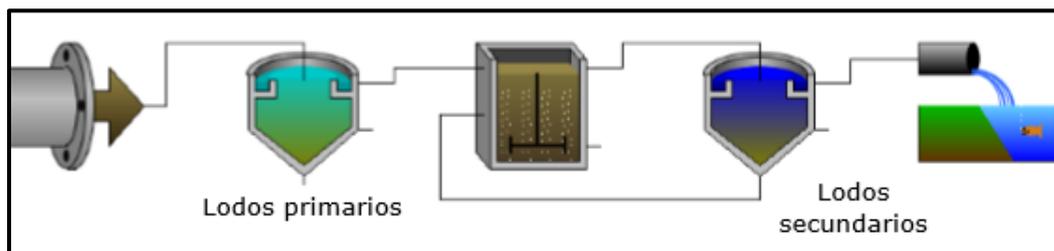
Si bien en general no se trata de residuos peligrosos, poseen una carga orgánica que puede tornarlos potencialmente contaminantes de las aguas superficiales y de las napas subterráneas. Los efluentes industriales destinados en parcelas deben cumplir con estándares de calidad mínimos que los hagan aptos para reuso en agricultura regadía (DGI Res. 627/00).

### 2.3 Generación del lodo

Como resultado de la remoción de contaminantes, en los procesos de tratamiento se producen diferentes subproductos, siendo el más importante los lodos. Los lodos provienen de las etapas de tratamiento primario y tratamiento secundario, sus características dependen del proceso donde se originaron y del tratamiento que han recibido. El volumen de éstos también depende del proceso donde se produjeron (Macías J. G., 2013).

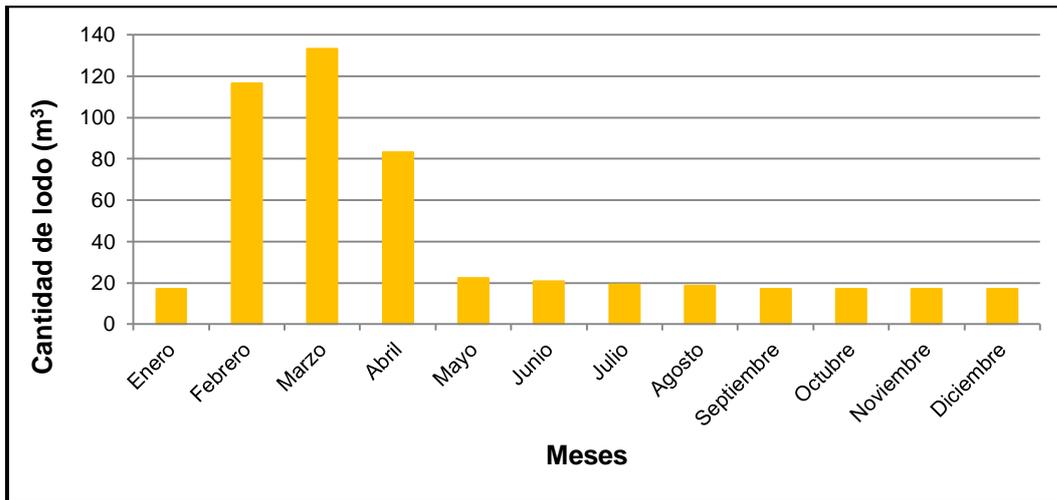
Los lodos primarios se producen en la sedimentación primaria, en la cual se remueven sólidos sedimentables. La cantidad depende de la carga superficial o tiempo hidráulico de retención. En la sedimentación primaria con químicos se produce más lodo, producto de una mayor remoción y de la precipitación química de la materia coloidal.

Los lodos secundarios se producen en los reactores biológicos y se sedimentan o separan del agua en los sedimentadores secundarios. Estos sedimentadores tienen en su base una tolva para almacenar y concentrar los lodos sedimentados. La extracción del lodo sedimentado se efectúa por carga hidráulica y por el accionamiento mecánico de las rastras que “barren” el fondo del tanque, empujando los lodos sedimentados a la tolva para su extracción.



**Figura N°1:** Diagrama de flujo de la producción de lodos primarios y secundarios en una bodega.

En la figura 2 se presenta la cantidad de lodos estimada ( $m^3$ ) en función de los meses del año para la bodega en estudio, con una capacidad de elaboración anual de 20.000.000 L/vino. La mayor cantidad de lodos se producen en los meses de febrero, marzo y abril correspondientes a la época de vendimia (periodo de mayor flujo de efluentes líquidos y sólidos). Desde los meses de abril-junio es considerado época post-vendimia, y el tercer momento dividido en dos etapas, la estabilización y pre vendimia que corresponde al resto del año (donde el volumen de efluente es menor).



**Figura N°2:** Cantidad de lodos estimada en m<sup>3</sup>, en función de los meses del año para la bodega en estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Epstein (2003), señala que debe hacerse una distinción respecto de la definición de lodo y biosólido, ya que el lodo es un término genérico que se usa para diferentes materiales tanto de tipo orgánico como inorgánico que están sometidos a un tratamiento; mientras que el biosólido es un término que se aplica a todos aquellos residuos biológicos que han sufrido un proceso de tratamiento. Cabe aclarar que el término correcto sería el de biosólido, pero para mayor claridad se va a utilizar el término de lodos que es como se lo conoce en la bodega.

#### 2.4 Características de los lodos de bodega

Generalmente son lodos frescos, que en buenas condiciones tiene apariencia floculenta de color café y cuando pierde humedad posee un característico olor a tierra preparada o tierra de bosque que no es molesto. El contenido de sólidos suspendidos en un lodo de retorno es de 0.5 a 2%, con una fracción volátil de 0.7 a 0.8 %. Su alto contenido en agua, su resistencia al espesamiento por gravedad y la presencia de floc activo microbiano, hacen dificultoso el manejo de este residuo. Poseen un elevado contenido de humedad cercano al 75 %.

El pH de los lodos es ligeramente ácido, alrededor de 5,8. Con respecto al contenido de materia orgánica su contenido es alto con un valor cercano al 15%. Otra característica importante de los lodos es la conductividad eléctrica, se encuentra en valores de 9,1 a 11 dS.cm<sup>-2</sup>.



**Figura N°3:** Muestra de lodo de bodega.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.5 Tratamiento de los lodos de bodega

En época de vendimia, la acumulación de lodos es mayor, para ello se deben retirar los mismos de las playas semanalmente o mensualmente dependiendo del tamaño de la planta de tratamiento de efluentes y de la cantidad de agua consumida en el proceso de elaboración del vino. En la actualidad las bodegas buscan alternativas para transformar los lodos en un material útil para ser dispuesto en el suelo, debido principalmente a que cada vez son menores las sitios aptos para la disposición final.

Antes de su disposición final, los lodos generados en los procesos de tratamiento primario y secundario deben ser sometidos a procesos de secado en playas que permitan estabilizar la materia orgánica, reducir al máximo los riesgos sanitarios y disminuir su contenido de humedad.



**Figura N°4:** Playa de secado de lodos.

Fuente: Bodega Los Haroldos.

Esta disposición en las playas tiene como finalidad prevenir la generación de olores, reducir su volumen para facilitar su manejo y hacer más económico su transporte.



**Figura N°5:** Playa de secado de los lodos.

Fuente: Bodega Los Haroldos.

## 2.6 Destinos de los lodos de bodega

La disposición final adecuada del lodo es un paso problemático en el proceso operativo, ya que tiene un costo que puede alcanzar hasta el 50% del presupuesto de un sistema de tratamiento. Las alternativas más comunes para el uso o disposición final de lodos de bodegas son: vertedero (relleno exclusivo y disposición conjunta con residuos sólidos

municipales); reutilización industrial (fabricación de ladrillos, cerámica y producción de cemento); incineración, recuperación de tierras (recuperación de áreas degradadas y mineras); agricultura y silvicultura (aplicación directa al suelo, abono, fertilizantes y suelo sintético).

Actualmente las bodegas de Mendoza tienen varias opciones a la hora de manejar lodos, a continuación se describen:

#### a. Disposición en relleno sanitario o vertederos

Conama (2001), define rellenos sanitarios como instalaciones para la disposición final de residuos sólidos en el suelo con tratamiento de impermeabilización, que no origina molestias ni peligros para la salud, seguridad pública, medio ambiente, y que utiliza principios de ingeniería para confinar los residuos en un área determinada, reduciéndolos al volumen más pequeño posible. El objetivo es evitar el contacto entre los residuos y el medio ambiente (agua, suelo y aire, principalmente) utilizando ciertos recursos tecnológicos en su construcción.

Presenta como desventaja elevados costos de transporte y contribuye a aumentar los impactos que acarrea la operación normal de un vertedero, tales como producción de gases, generación de lixiviados, olores, ruido de la maquinaria, aumento del tráfico, uso de tierras y alteración del paisaje. Otro inconveniente que surge en la construcción de un vertedero es que requiere una gran superficie de terreno, por lo cual algunas bodegas optan por construir su propio espacio dentro del predio de las mismas, pero como desventaja podemos mencionar que el terreno tiene un determinado tiempo de vida útil, después del cual se satura y se tiene que buscar otro sitio, ya que no siempre es factible ampliar el existente (Cárdenas F.; González J., 2015).

Por otro lado, la disposición en un relleno tiene el problema del transporte de lodos, la distancia entre la bodega y el relleno/vertedero que en ocasiones es muy grande generando un costo alto. Al contar con un vertedero en el sitio, se presenta también el problema del manejo y tratamiento de los lixiviados, los cuales se concentran en pocos meses del año.

#### b. Uso agrícola

Un ejemplo benéfico de los diversos usos de los lodos es la incorporación al terreno para abastecerlo de nutrientes y para renovar la materia orgánica. El reciclaje de lodos a través de la aplicación al terreno tiene varios propósitos. Éstos mejoran las características del suelo, tales como la textura y la capacidad de absorción de agua, al incrementar el contenido de materia orgánica, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía. También provee nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno y el fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el níquel, el zinc y el cobre.

#### c. Aprovechamiento en silvicultura

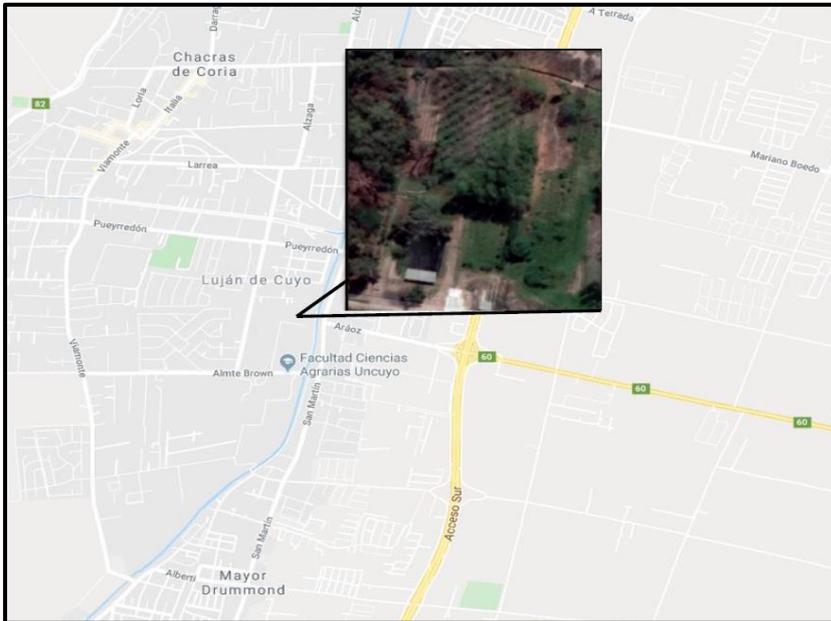
La aplicación en agricultura presenta mayores limitantes que su aplicación en silvicultura, principalmente por ser aplicado en productos que serán consumidos por seres humanos y que por lo tanto deben ser sometidos a procesos de acondicionamientos y estabilización más rigurosos. En cambio, el aplicar lodos en plantaciones forestales presenta menos riesgos para la salud de la población debido a que las plantaciones de eucalipto suelen realizarse en terrenos con menor aptitud dada su plasticidad con respecto a suelo.

Los nutrientes contenidos ofrecen diversas ventajas en comparación con los fertilizantes inorgánicos gracias a que pueden ser incorporados lentamente por las plantas en crecimiento. Estas formas orgánicas de nutrientes son menos solubles en agua y, por lo tanto, tienen una menor probabilidad de lixiviarse al agua subterránea o ser arrastradas a las aguas superficiales (Carrasco F., 2005).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación del ensayo

El ensayo se realizó en el vivero que posee la Cátedra de Dasonomía dentro del predio de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. El mismo tuvo una duración de 182 días durante los meses Noviembre-Mayo correspondientes al año 2018-2019 respectivamente.



**Figura N°6:** Ubicación del vivero donde se realizó el ensayo. Chacras de Coria, Lujan de Cuyo, Mendoza.

Fuente: Elaboración propia



**Figura N°7:** Canteros donde se llevó a cabo el ensayo dentro del vivero de la Cátedra de Dasonomía, Facultad de Ciencias Agrarias.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Obtención de lodos

El material empleado como abono orgánico estuvo compuesto por lodos generados en la planta de tratamientos de efluentes que posee la bodega Los Haroldos, ubicada en el departamento de San Martín al Este de la provincia de Mendoza. Dicha bodega se encuentra habilitada por la Municipalidad de San Martín y por el Instituto Nacional de Vitivinicultura (I.N.V), además tramita un convenio de permiso de reuso agrícola con el Departamento General de Irrigación (D.G.I). Los lodos se obtienen después de un proceso de desecado en las playas, correspondientes al periodo de vendimia 2018.

Los lodos de bodega son productos residuales que se caracterizan por su elevada humedad, contenido en sustancias orgánicas y olor característico. Con vistas a su posible aprovechamiento, se tomó una muestra representativa de 2 kg de lodo para analizar sus propiedades favorables y sus componentes desfavorables. Dicha caracterización química (nutrientes, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica) fue analizada en un laboratorio privado (anexo 1).

El proceso de secado de los lodos es de suma importancia, debido al alto contenido de humedad de estos (90-95%), este se debe reducir hasta alcanzar valores por debajo del 75% p/p. El secado de los lodos al aire libre se realiza en las playas de secado que posee la propia bodega, para lo cual se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones: La deshidratación de los lodos se hace durante un periodo aproximado de 2 a 3 semanas hasta que sea manipulable con pala.



**Figura N°8:** Extracción de la muestra de lodo.

Fuente: Bodega Los Haroldos.

El lodo de bodega antes de utilizarlo se dejó una semana en proceso de compostaje con la finalidad de tener un lodo más homogeneizado, debido a que la muestra extraída de la bodega tenía características diversas, en las que se observó terrones con distintos grados de humedad y distintos grados de compostaje. Se realizó una molienda y se dejó descansar en un lapso de 7 días.



**Figura N°9:** Compostaje del lodo de bodega.

Fuente: Elaboración propia.

Los aspectos que se tuvieron en cuenta al momento del análisis fueron los porcentajes de carbono, nitrógeno, fósforo y que se ajusten a los requerimientos o necesidades nutricionales del cultivo sin dejar a un lado las condiciones mínimas a cumplir al momento de realizar aplicaciones de abonos en cualquier clase de cultivo.

Una vez analizados los lodos se procedieron a realizar los cálculos de las diferentes dosis empleadas para cada tratamiento como se muestran en el anexo 2, transcurrido los 7 días se preparó el sustrato para el ensayo utilizando como base tierra de textura franca arenosa.



**Figura N°10:** Mezcla y preparación del sustrato para los distintos tratamientos.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Origen de los plantines

Se eligió la especie forestal *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh para utilizar en el ensayo, los plantines fueron obtenidos a partir de semillas de procedencia local sembradas en el mes de febrero del año 2018, por lo que al comienzo del ensayo tenían una edad de 10 meses.

Los contenedores utilizados en el ensayo fueron bolsas macetas cilíndricas de polietileno negro de 25 x 40 cm. Una vez llenas y dejando una distancia al borde de aproximadamente 5 cm, sus dimensiones finales fueron de 30 cm de alto, 15 cm de ancho y 10 cm de canto, dando un volumen de  $4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  por maceta (anexo 4). Se usaron las mismas macetas para todos los ejemplares con la finalidad de mantener controlada la variación del volumen.

Los riegos se realizaron en una primera etapa a partir del sistema de riego por aspersión, el mismo se realizó en forma automatizada a través de un programa con una frecuencia diaria de 1 hora durante 2 meses. En una segunda etapa dado el desarrollo vegetativo del ensayo, se cambió a un riego en forma manual, en la cual se aplicó una lámina de agua utilizando una regadera de 10 Litros y teniendo en cuenta la capacidad de campo del sustrato. En ambos casos se realizó un ajuste del riego considerando variables climáticas como por

ejemplo las precipitaciones estivales, buscando mantener un nivel adecuado y controlado de agua. Durante los meses de abril y mayo se cambió la frecuencia de riego a 2 veces cada 7 días debido a la menor actividad metabólica de la especie (anexo 3).

### 3.4 Guano de gallina

La gallinaza o guano de gallina es uno de los componentes de origen natural con mayor contenido de nutrientes entre todos los fertilizantes conocidos, además contiene fuentes de carbono, responsables para la conversión del humus. El uso como abono orgánico aporta materia orgánica a los suelos, incrementando su fertilidad y mejorando propiedades físicas determinantes para el éxito de la producción agrícola como la infiltración y la capacidad de retención hídrica, a la vez que reducen la erosión de suelos y los costos afrontados por los productores en la compra de fertilizantes comerciales (Bogaard *et al.*, 2013).

Pero un manejo inadecuado al igual que con cualquier otro tipo de fertilizante, puede presentar un peligro potencial de contaminación de aguas superficiales y subterráneas. La lixiviación de los nitratos que puede alcanzar napas de agua subterránea, la escorrentía de lotes con escasa cobertura que puede aportar fósforo a cursos de agua superficial y la liberación al ambiente de micro-organismos patógenos son los tres inconvenientes principales que pueden presentarse como consecuencia del manejo inadecuado de las excretas avícolas.

Poseen cantidades significativas de macronutrientes vegetales como Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S). También presentan cantidades menores de micronutrientes como Zinc (Zn) y Cobre (Cu), como se puede observar en la siguiente tabla (Secretaría de Agroindustria, 2019).

**Tabla N°1:** Concentración promedio de nutrientes en guano de gallina (kg/tn).

Nutriente disponible	kg/tn
Nitrógeno	6,2
Fosforo	4,8
Potasio	7,3
Calcio	39,2
Magnesio	2,0
Sodio	1,5
Cobre	0,01
Zinc	0,07

Fuente: Secretaría de Agroindustria, 2019.

El guano contiene los 16 elementos esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantas. Los nutrientes que se encuentran en el guano se deben a que las gallinas solo asimilan entre el 30% y 40% de los nutrientes con las que se les alimenta, lo que hace que en su estiércol se encuentren el restante 60% a 70% no asimilado (Secretaría de Agroindustria, 2019).

La gallinaza contiene un importante nivel de nitrógeno el cual es imprescindible para que tanto animales y plantas asimilen otros nutrientes, formen proteínas y se absorba la energía en la célula. El carbono también se encuentra en una cantidad considerable el cual es vital para el aprovechamiento del oxígeno y en general los procesos vitales de las células. Otros elementos químicos importantes que se encuentran en la gallinaza son el fósforo y el

potasio. El fósforo es vital para el metabolismo, y el potasio participa en el equilibrio y absorción del agua y la función osmótica de la célula (Cónsoli, D., 2019).

Es necesario fermentar el excremento de las gallinas para transformar los químicos que contiene, como el fósforo, potasio, el nitrógeno y el carbono. Cuando la fermentación está completa, se le puede agregar otros desechos orgánicos como cáscaras, cascarilla de cereales, virutas de madera, paja, etc., lo que servirá para enriquecer la mezcla y mejorar el efecto (Secretaría de Agroindustria, 2019).

Estudios realizados por el departamento de Ingeniería Agrícola de la Cátedra de Química Agrícola demuestran que con una incorporación de 20.000 kg/ha de guano de gallina (con 70% de humedad) se incorporan al suelo 142,8 kg/ha de nitrógeno, 83,4 kg/ha de potasio y 231,6 kg/ha de fosforo asimilable.

En la provincia de Mendoza es una práctica muy común su uso como abono, debido a que se descompone rápidamente liberando a disposición los nutrientes en cantidad para el cultivo. Se puede usar tanto en horticultura como en cultivos intensivos, sin embargo una de las limitantes para su utilización en cultivos es su costo de transporte ya que la mayoría de las concentraciones de producción avícolas se localizan en las provincias de Santa Fé, Corrientes y Entre Ríos. La producción local es pequeña y no alcanza a satisfacer la demanda ya que se necesita gran cantidad para aquellos rubros de mayor rentabilidad. Por lo anteriormente descrito se decide incluirlo en la tesina para compararlo con los lodos de bodega.

### 3.5 Especie forestal utilizada

*Eucalyptus camaldulensis Dehnh* es la especie del género Eucaliptus de más amplia área de dispersión en Australia, encontrándose en casi todos los estados, con una gran variedad de climas, dándole a la especie gran variabilidad genética. Crece en climas templados con lluvias de invierno en la parte sur, a tropicales con lluvias de verano en la parte norte del continente australiano, con precipitaciones que van de los 200 mm a más de 1100 mm/año. Las heladas son frecuentes e intensas en el sur y ausentes en el norte. El rango de altitud va de los 20 a 700 metros sobre el nivel del mar (Eldridge, et. al., 1994).

Tiene el potencial para ser empleada en suelos agrícolas debido a que posee una serie de características, entre las que se destacan la mayor tolerancia a la salinidad, sequia e inundaciones, rápido crecimiento y gran plasticidad (Bustamante J., 2019).

La cátedra de Dasonomía de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, viene trabajando mayoritariamente con *Eucalyptus camaldulensis Dehnh* debido a sus particulares características de ser una de las especies de eucaliptus de mayor tolerancia a salinidad e inundaciones (Bustamante J., 2019).

Para Eldridge, et al. (1994) fuera de Australia quizás constituye la principal especie de eucalipto plantada en zonas áridas o semiáridas y resiste tanto condiciones de extrema sequía como inundaciones periódicas, tolera suelos salinos y se adapta a subsuelos con terreno arcilloso. Ello demuestra la alta plasticidad de la especie, que la hace extremadamente apta para plantaciones en diferentes partes del mundo.

Botánicamente *Eucalyptus camaldulensis Dehnh* es un árbol de gran porte, puede alcanzar hasta 30m de altura (varía entre 9 y 50 m en Australia), con diámetros de hasta 2 m. Tiene un tronco a menudo bifurcado y torcido, aunque también puede verse ejemplares bastantes rectos.

Pertenece a la familia Mirtáceas. Tiene un tronco liso de color gris o marrón claro, que muestra un aspecto manchado ocasionado por los numerosos fragmentos de corteza que se caen (Mangieri y Dimitri, 1961).



**Figura N°11:** Ejemplar de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

Fuente: Atlas del Eucalipto.

La copa generalmente es extendida con ramitas péndulas, con una corteza lisa, grisácea o blanquecina, a veces algo parda. Sus hojas juveniles son aovadas o anchamente lanceoladas, opuestas o alternas y pecioladas. Sus hojas adultas son lanceoladas, acuminadas y generalmente falcadas, alternas, pecioladas (pecíolos de 1 – 2 cm de largo) y péndulas; miden de 10 a 23 cm de longitud. La nervadura central es bien notable en ambas caras, siendo las secundarias poco marcadas o insertas en ángulo de 45° respecto al principal.

Las flores son blanquecinas, pequeñas, dispuestas en umbelas axilares con 3 – 15 flores o aún más, generalmente más de 8. Pedicelos largos y cilíndricos. Pedúnculos de la umbela cilíndricos. Opérculo rostrado, no mucho más largo que el receptáculo.



**Figura N°12:** Frutos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

Fuente: Atlas del Eucalipto.

En general es una especie de relativamente rápido crecimiento, su mejor rendimiento se obtiene en suelos ricos, profundos y sueltos, aunque se adapta también a los superficiales, compactos, arcillosos, pedregosos, de escasa o nula permeabilidad (aún encharcados) y poco fértiles. En estos sitios obviamente se resiente su crecimiento y los individuos se presentan a menudo torcidos, bifurcados, de fuste corto, etc. Es tolerante a terrenos calcáreos y también tolera cierta concentración salina en el perfil edáfico.

Se ha difundido en gran parte de Argentina, desde la provincia de Río Negro hacia el norte, ya sea como integrante de forestaciones en macizos, o para cortinas, montes de reparo, etc. Cuantitativamente es importante en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe y, fundamentalmente, Jujuy y Salta.

El mayor incremento medio anual del eucalipto y su menor exigencia en calidad de suelos que la del álamo, podría convertirlo en una alternativa interesante. Se ha elegido el *Eucalyptus camaldulensis* por su adaptación al medio en cuanto a suelos y clima, la facilidad para conseguir semillas, la multiplicación en vivero, su adaptación a régimen de talar y su buen crecimiento.

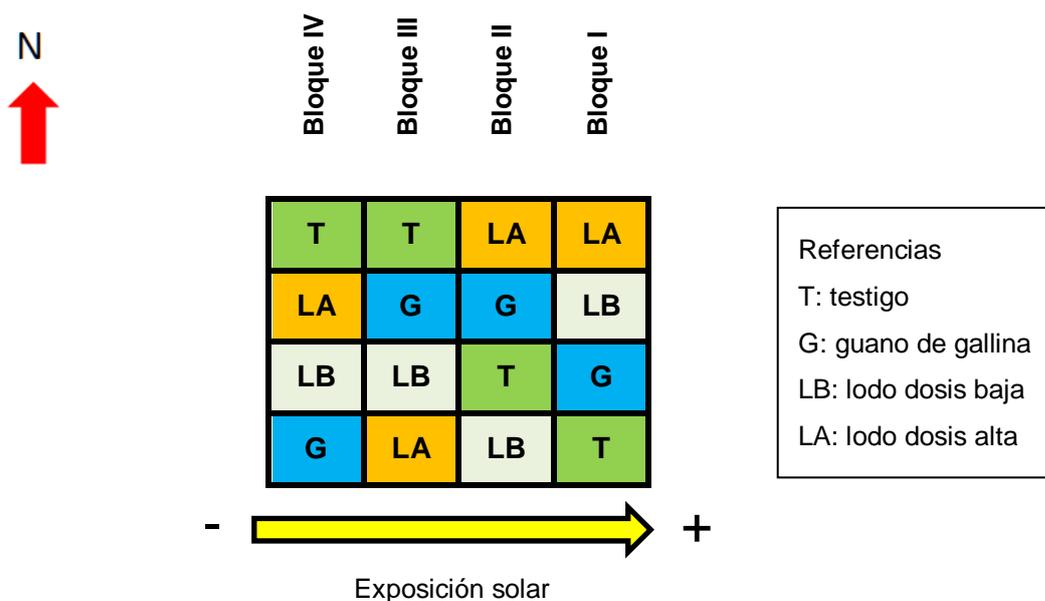
### 3.6 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. El número de ejemplares o tamaño de la muestra utilizado en el ensayo fue de 128 plantas, a su vez por cada bloque 32 plantas y por cada repetición 8 plantas, luego se calculó la media de cada tratamiento por bloque, quedando así un total de 16 unidades experimentales.

Los tratamientos dentro de cada bloque incluyen un testigo que contiene solo sustrato sin ningún tipo de agregado, un segundo tratamiento conteniendo guano de gallina a razón de 15g por maceta (equivalente a 10t.ha<sup>-1</sup>) sin agregado de lodo, un tercer tratamiento con agregado de dosis que se estima baja de lodo 15g por maceta (equivalente a 10t.ha<sup>-1</sup>) y un cuarto tratamiento con agregado de dosis que se estima alta de lodo 30g por maceta (equivalente a 20t.ha<sup>-1</sup>).

Se eligió el diseño de bloques completos al azar para poder controlar la variabilidad de la exposición solar que puede afectar los resultados. El factor luz probablemente tiene un efecto en la respuesta pero no es objeto de estudio en el ensayo. Además el diseño permite una mayor precisión porque todas las parcelas de un mismo bloque tienen la misma probabilidad de recibir cualquier tratamiento. Así también la variación entre bloques no afecta a las diferencias entre medias, ya que cada tratamiento aparece el mismo número de veces en cada bloque.

La asignación de los tratamientos dentro de cada bloque fue mediante sorteo al azar, la siguiente figura muestra la disposición de los tratamientos dentro de cada bloque, los mismos se disponen en forma perpendicular a la fuente de variabilidad.



**Figura N°13:** Dispositivo experimental para el diseño en bloques completos al azar.

Fuente: Elaboración propia.

El modelo estadístico elegido se observa en el anexo 7.



**Figura N°14:** Distribución de los tratamientos dentro de los bloques.

Fuente: Elaboración propia.

Finalizado el ensayo se analizó una muestra de sustrato para cada tratamiento, dicha muestra estuvo compuesta por submuestras colectadas en cada repetición (anexo 5).

### 3.7 Variables

Las variables medidas en la especie fueron biomasa total por planta expresada en gramos, altura total de la planta expresada en centímetros y diámetro en el cuello de la planta expresado en milímetros, producida al final de un ciclo vegetativo de crecimiento al momento de finalizar con el ensayo.

#### 3.7.1 Diámetro del cuello de la planta

Es una variable que está relacionada indirectamente con el volumen. La medición del diámetro se registró cada 30 días para llevar un seguimiento mensual, y se midió en el cuello de la planta mediante la utilización de un calibre. Se expresó en unidades de longitud (mm).



**Figura N°15:** Medición del diámetro en el cuello de la planta.

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.7.2 Altura total

Es una variable que indica la medida del árbol considerada verticalmente desde su base (a nivel de suelo) hasta su punto más elevado. La medición de la altura se registró cada 30 días para llevar un seguimiento del crecimiento mensual, mediante el método directo por medio de una cinta métrica. Se expresó en unidades de longitud (cm).

### 3.7.3 Biomasa total por planta

Se entiende por biomasa a la materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica. (Riu N.; Somoza A., 1997).

Para la medición de la biomasa se utilizó el método directo que consiste en la extracción física de los árboles realizándose la disección de estos en cada uno de los componentes a evaluar: tronco principal, ramas, hojas y raíces. Se determinó de forma directa la biomasa de cada componente del árbol en peso fresco y seco. El resultado final se expresó en unidades de masa (g).

Finalizado el ensayo, las plantas fueron descalzadas para limpiar los restos de tierra de las raíces cuidadosamente con agua corriente y se registró el peso en seco de tallo, raíz y hojas (luego del secado hasta peso constante a 65 °C durante 72 horas).



**Figura N°16:** Disección de hojas, raíz, tronco principal y ramas.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.8 Análisis estadístico

Una vez finalizado el ensayo y recolectados los datos de las variables, se procedió al análisis. Los datos fueron evaluados estadísticamente realizando el análisis de la varianza (ANAVA) mediante el software InfoStat versión 2018 para ver si hubo diferencias entre las medias de los tipos de sustratos. Acto seguido se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5% para saber cuál o cuáles de las medias de los tratamientos fueron las diferentes. La comprobación de los supuestos del análisis de la varianza se pueden observar en el anexo 9.

La siguiente tabla 2 muestra los datos finales por bloque para las cuatro variables en estudio.

**Tabla N°2:** Datos de medición para cada variable agrupados por bloques con sus respectivos tratamientos.

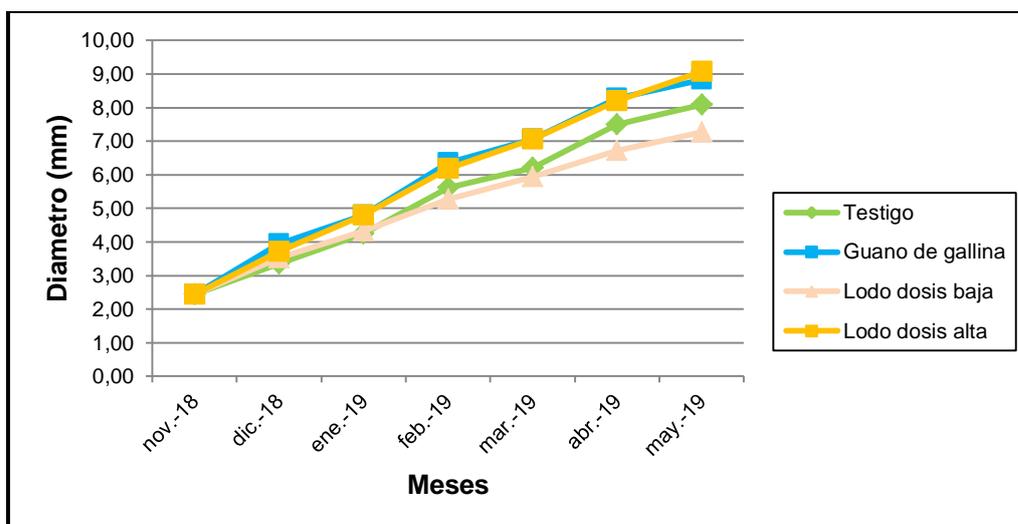
Bloque	Tratamiento	Diametro cuello (mm)	Altura total (cm)	Peso Fresco (g)	Peso Seco (g)
I	Testigo	8,05	100,75	74,33	29,19
	Guano de gallina	9,02	132,87	88,02	38,81
	Lodo dosis baja	7,54	105,50	56,30	22,18
	Lodo dosis alta	9,07	131,50	101,95	42,42
II	Lodo dosis baja	7,26	80,87	45,61	19,29
	Testigo	8,28	114,00	71,85	32,25
	Guano de gallina	8,31	121,37	72,57	31,26
	Lodo dosis alta	8,62	126,25	84,02	35,84
III	Lodo dosis alta	9,73	93,00	85,19	35,16
	Lodo dosis baja	7,61	104,50	58,91	23,35
	Guano de gallina	8,52	114,12	90,76	35,29
	Testigo	8,65	109,25	77,27	30,47
IV	Guano de gallina	9,43	114,75	85,27	36,00
	Lodo dosis baja	6,65	104,75	47,70	19,28
	Lodo dosis alta	8,86	132,87	87,01	34,77
	Testigo	7,34	110,75	66,93	27,99

Fuente: elaboración propia, 2020.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Crecimiento en diámetro

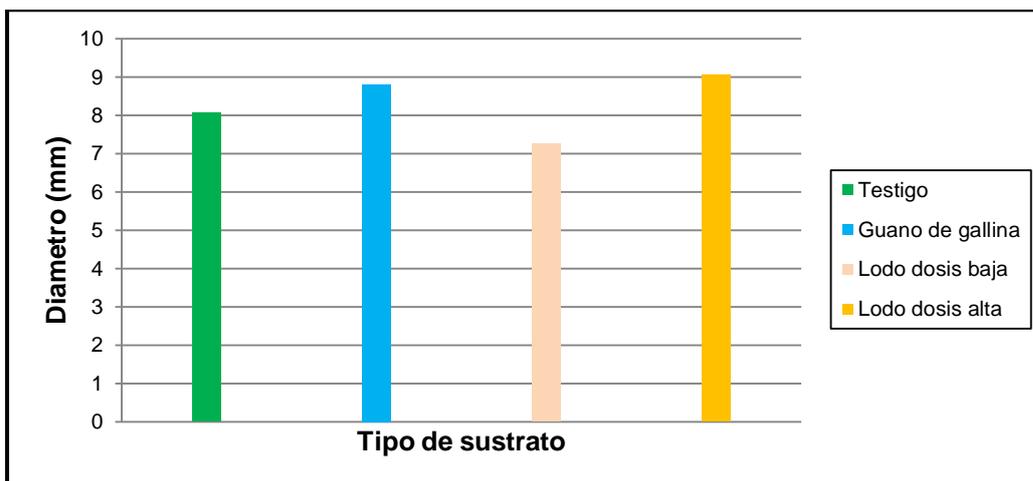
En la figura 17 se puede apreciar la evolución mensual del crecimiento en diámetro para los tipos de sustratos. Se observa que el tratamiento guano de gallina y lodo dosis alta son los de mayor crecimiento teniendo una respuesta igual, seguido por el testigo. Con respecto al tratamiento lodo dosis baja fue el de menor crecimiento.



**Figura N°17:** Evolución mensual con valores promedio para variable diámetro (mm) en función del tiempo.

Fuente: elaboración propia, 2020.

La figura 18 muestra el crecimiento en diámetro al final del ensayo para los diferentes tipos de sustratos. Podemos ver igual respuesta para el guano de gallina y el lodo con dosis alta. El testigo tuvo un mayor crecimiento con respecto al lodo con dosis baja.



**Figura N°18:** Crecimiento en diámetro (mm) en función del tipo de sustrato.

Fuente: elaboración propia, 2020.

El análisis de varianza para la variable diámetro (tabla 3) indica que existen diferencias estadísticamente significativas de diámetros entre los distintos tipos de sustratos, es decir no hay homogeneidad entre ellos, con un nivel de confianza del 95% tomando en cuenta que el valor p fue de 0,0021, por lo tanto es menor al valor de 0,05 lo cual indica que si existe diferencia significativa entre los tratamientos y al menos uno es diferente al resto. Para los bloques no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos, tomando en cuenta que el valor p fue de 0,3687 por lo tanto es mayor al valor de 0,05 lo cual indica que no existe diferencia significativa entre los bloques.

**Tabla N°3:** Análisis de la varianza para el diámetro (mm) de cultivos forestales para distintos tipos de sustratos.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
Diametro (mm)	16	0,81	0,68	5,81	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8,76	6	1,46	6,26	0,0078
Bloque	0,83	3	0,28	1,19	0,3687
Tratamiento	7,93	3	2,64	11,33	0,0021
Error	2,10	9	0,23		
Total	10,86	15			

Fuente: Salida de Infostat.

Al efectuar la prueba de Tukey para los distintos tipos de sustratos, se observa en la tabla 4 que el tratamiento de lodo con dosis baja (3) presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto al el testigo (1), a los tratamientos guano de gallina (2) y lodo con dosis alta (4) y por ser estos dos últimos los de mayor crecimiento diametral se recomienda cualquiera de ellos debido a que manifiestan un comportamiento estadísticamente similar.

**Tabla N°4:** Comparación de medias por el método de Tukey para el diámetro (mm) en función de los tipos de sustratos.

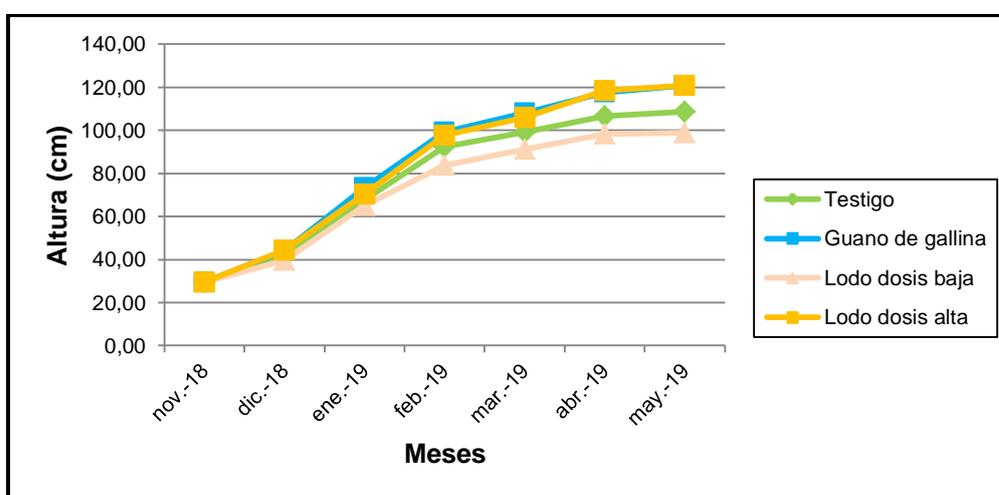
Test : Tukey Alfa=0,05 DMS=1,06642					
Error: 0,2334 gl: 9					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
3	7,27	4	0,24	A	
1	8,08	4	0,24	A	B
2	8,82	4	0,24	B	
4	9,07	4	0,24	B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fuente: Salida de Infostat.

#### 4.2 Crecimiento en altura

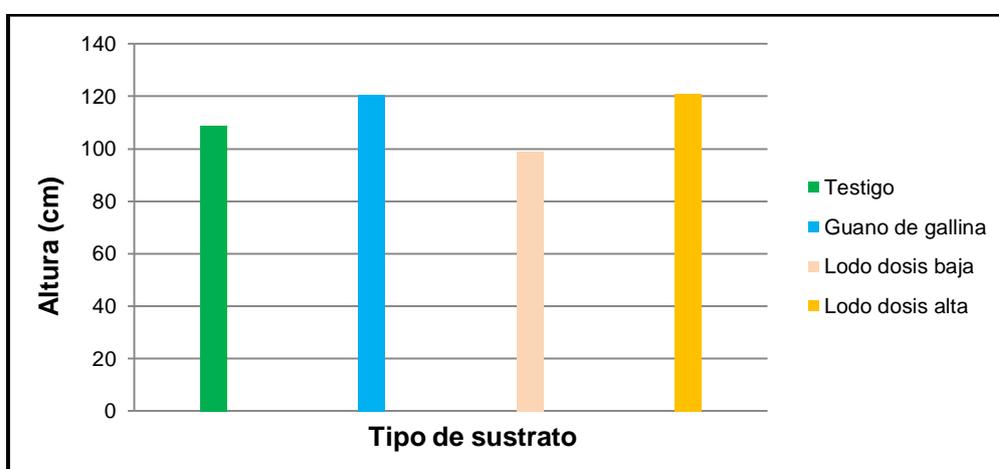
En la figura 19 se puede apreciar la evolución mensual del crecimiento en altura para los tipos de sustratos. Se observa que el tratamiento guano de gallina y lodo dosis alta son los de mayor crecimiento teniendo una respuesta similar, seguido por el testigo. Con respecto al tratamiento lodo dosis baja fue el de menor crecimiento.



**Figura N°19:** Evolución mensual con valores promedio para variable altura (cm) en función del tiempo.

Fuente: elaboración propia, 2020.

La figura 20 muestra el crecimiento en altura para los diferentes tipos de sustratos. Podemos ver una respuesta similar para el guano de gallina y el lodo con dosis alta. El testigo obtuvo un mayor crecimiento con respecto al lodo con dosis baja.



**Figura N°20:** Crecimiento en altura (cm) en función del tipo de sustrato.

Fuente: elaboración propia, 2020.

El análisis de varianza para la variable altura (tabla 5) indica que no existen diferencias estadísticamente significativas de altura entre los distintos tipos de sustratos, es decir hay homogeneidad entre ellos, con un nivel de confianza del 95% tomando en cuenta que el valor p fue de 0,1002, por lo tanto es mayor al valor de 0,05 lo cual indica que no existe diferencia significativa entre los tratamientos. Para los bloques no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos, tomando en cuenta que el valor p fue de 0,5349 por lo tanto es mayor al valor de 0,05 lo cual indica que no existe diferencia significativa entre los bloques.

**Tabla N°5:** Análisis de la varianza para altura (cm) de cultivos forestales para distintos tipos de sustratos.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
Altura (cm)	16	0,54	0,24	11,28	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1728,60	6	288,10	1,79	0,2065
Bloque	375,04	3	125,01	0,78	0,5349
Tratamiento	1353,56	3	451,19	2,81	0,1002
Error	1444,88	9	160,54		
Total	3173,48	15			

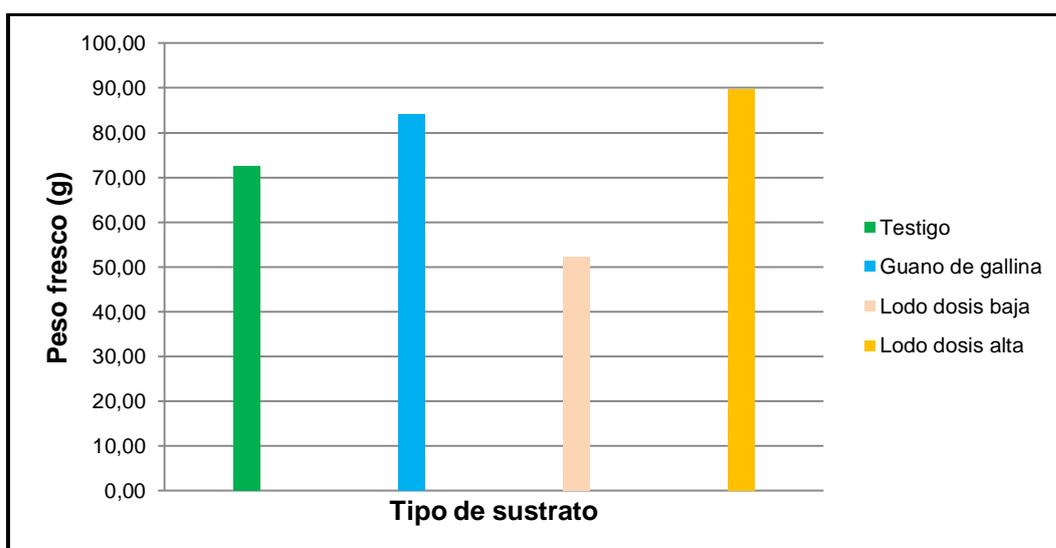
Fuente: Salida de Infostat.

Para este caso el ANAVA sugiere aceptar la hipótesis de igual de medias de tratamientos, es decir, no existen diferencias estadísticamente significativas de alturas (cm) bajos los distintos tipos de sustratos.

### 4.3 Biomasa total

#### 4.3.1 Peso Fresco

La figura 21 muestra el valor del peso fresco alcanzado por los distintos tratamientos al final del ensayo. Podemos ver que el tratamiento lodo con dosis alta produce una mayor biomasa comparada con los demás tipos de sustratos. Seguido por el tratamiento guano de gallina que produce una respuesta menor pero significativa comparada con el testigo y lodo dosis baja.



**Figura N°21:** Crecimiento en peso fresco (g) en función del tipo de sustrato.

Fuente: elaboración propia, 2020.

El análisis de varianza para la variable peso fresco (tabla 6) indica que existen diferencias estadísticamente significativas de peso fresco entre los distintos tipos de sustratos, es decir no hay homogeneidad entre ellos, con un nivel de confianza del 95% tomando en cuenta que el valor p fue de 0,0001, por lo tanto es menor al valor de 0,05 lo cual indica que si existe diferencia significativa entre los tratamientos y al menos uno es diferente al resto. Para los bloques también existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos, tomando en cuenta que el valor p fue de 0,0346 por lo tanto es menor al valor de 0,05 lo cual indica que existe diferencia significativa entre los bloques.

**Tabla N°6:** Análisis de la varianza para peso fresco (g) de cultivos forestales para distintos tipos de sustratos.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
Peso Fresco (g)	16	0,94	0,90	6,85	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3645,56	6	607,59	23,24	0,0001
Bloque	351,57	3	117,19	4,48	0,0346
Tratamiento	3293,99	3	1098,00	42,01	<0,0001
Error	235,25	9	26,14		
Total	3880,82	15			

Fuente: Salida de Infostat.

Para este caso el valor  $p = 0,0001$  del ANAVA sugiere el rechazo de la hipótesis de igual de medias de tratamientos, es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos considerando el peso fresco.

Al efectuar la prueba de Tukey para los distintos tipos de sustratos, en la (tabla 7) se observa que el tratamiento de lodo con dosis baja (3) presenta diferencias estadísticas con respecto a los demás. El tratamiento testigo (1) también presenta diferencias estadísticas con los demás, pero en el caso de los tratamientos guano de gallina (2) y lodo con dosis alta (4) no presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellos debido a que manifiestan un comportamiento estadístico similar, pero si son diferentes a los demás tratamientos. Se recomienda el uso de los tratamientos guano de gallina y lodo con dosis alta por ser los de mayor crecimiento de peso fresco.

**Tabla N°7:** Comparación de medias por el método de Tukey para peso fresco (g) en función de los tipos de sustratos.

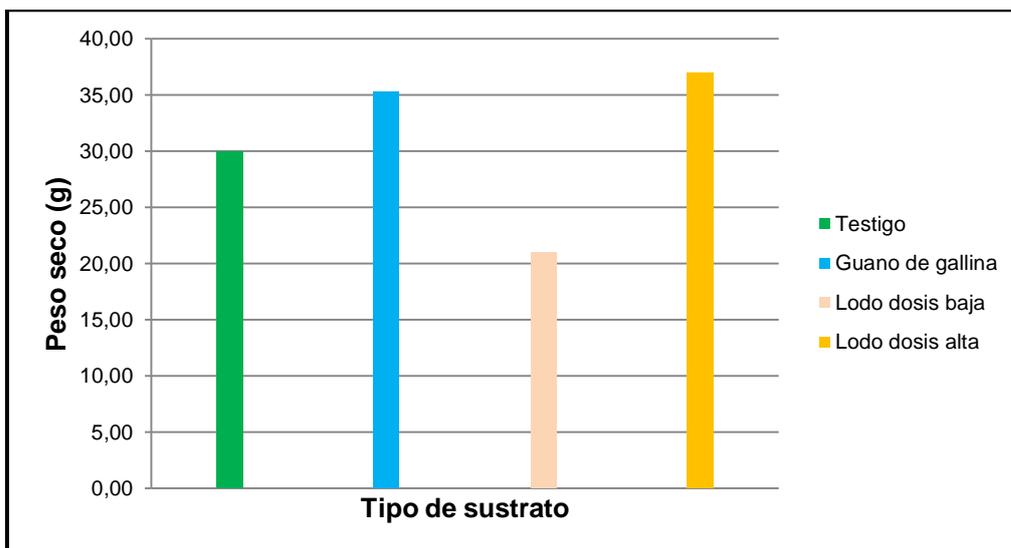
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=11,28592					
Error: 26,1393 gl: 9					
Tratamiento	Medias	n	E.E.		
3	52,13	4	2,56	A	
1	72,60	4	2,56		B
2	84,16	4	2,56		C
4	89,54	4	2,56		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fuente: Salida de Infostat.

#### 4.3.2 Peso Seco

La figura 22 muestra el valor del peso seco alcanzado por los distintos tratamientos al final del ensayo. Podemos ver que el tratamiento lodo con dosis alta produce una mayor biomasa comparada con los demás tipos de sustratos. Seguido por el tratamiento guano de gallina que produce una respuesta menor pero significativa comparada con el testigo y lodo dosis baja.



**Figura N°22:** Crecimiento en peso seco (g) en función del tipo de sustrato.

Fuente: elaboración propia, 2020.

El análisis de varianza para la variable peso seco (tabla 8) indica que si existen diferencias estadísticamente significativas de peso seco entre los distintos tipos de sustratos, es decir no hay homogeneidad entre ellos, con un nivel de confianza del 95% tomando en cuenta que el valor p fue de 0,0001, por lo tanto es menor al valor de 0,05 lo cual indica que si existe diferencia significativa entre los tratamientos y al menos uno es diferente al resto. Para los bloques no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos, tomando en cuenta que el valor p fue de 0,2159 por lo tanto es mayor al valor de 0,05 lo cual indica que no existe diferencia significativa entre los bloques.

**Tabla N°8:** Análisis de la varianza para peso seco (g) de cultivos forestales para distintos tipos de sustratos.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
Peso Seco (g)	16	0,92	0,87	8,14	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	657,66	6	109,61	17,38	0,0002
Bloque	34,20	3	11,40	1,81	0,2159
Tratamiento	623,46	3	207,82	32,94	<0,0001
Error	56,77	9	6,31		
Total	714,43	15			

Fuente: Salida de Infostat.

Para este caso el valor  $p = 0,0001$  del ANAVA sugiere el rechazo de la hipótesis de igual de medias de tratamientos, es decir, existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos considerando el peso seco. Se concluye con un nivel de significancia del 0,05 que existen diferencias de peso seco (g) entre los distintos tratamientos.

Al efectuar la prueba de Tukey para los distintos tipos de sustratos, se observa en la tabla 9 que el tratamiento de lodo con dosis baja (3) presenta diferencias significativas con los demás, para el caso del tratamiento testigo (1) y guano de gallina (2) presentan un comportamiento similar. El tratamiento lodo dosis alta (4) es el que presenta mayor aumento de peso seco comparado con los demás tratamientos.

**Tabla N°9:** Comparación de medias por el método de Tukey para peso seco (g) en función de los tipos de sustratos.

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=5,54421				
Error: 6,3081 gl: 9				
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3	21,03	4	1,26	A
1	29,98	4	1,26	B
2	35,34	4	1,26	B C
4	37,05	4	1,26	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Fuente: Salida de Infostat.

## 5. DISCUSION

Si bien la fertilización con biosólidos es una alternativa para la utilización benéfica de lodos provenientes de la industria vitivinícola, a nivel internacional no se han realizado estudios donde se utilicen lodos de bodega en cultivos forestales. Como experiencia próxima se cita a Donoso S. y otros (2016), "Evaluación de la aplicación de biosólidos en plantaciones de *Eucalyptus globulus* en Chile central", donde trabajo con la especie *Eucalyptus globulus* en la Región Metropolitana de Chile, el ensayo se realizó aplicando tres dosis de biosólidos (un tratamiento control con aplicación de 0 Mg ha<sup>-1</sup>, y dos tratamientos con dosis de 30 Mg ha<sup>-1</sup> y 50 Mg ha<sup>-1</sup>) en un periodo de cuatro años y las variables medidas fueron crecimiento en diámetro, potencial hídrico y estado nutricional foliar de los arboles durante dos años. Se utilizaron lodos digeridos y estabilizados, con una humedad promedio de 30%, provenientes de la planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS). El análisis del crecimiento en diámetro no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, estos resultados se pueden atribuir a que los elementos aplicados en los biosólidos se liberan de forma lenta y gradual, pudiendo ser utilizados por las plantas en las distintas fases de su crecimiento.

En Sudamérica, las experiencias no han demostrado categóricamente el uso benéfica de biosólidos en plantaciones forestales. Por ejemplo, en Argentina, se han realizado estudios aplicando compost de biosólidos en la producción de plantaciones de *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic. Serm. & Bizzarri (ciprés de la cordillera), donde se estudió el efecto de 0, 30 y 50% de compost de biosólidos en el crecimiento inicial (primer año) de ciprés de la cordillera, y el efecto durante los dos años siguientes de un tratamiento único con 50% de compost en el crecimiento posterior y el estado nutricional de los plantines. Se determinó diámetro y altura a 18, 25 y 37 meses, biomasa aérea y radicular a 25 y 37 meses, y concentración foliar de C, N, P, K, Ca y Mg a 37 meses. Los lodos utilizados tuvieron origen en residuos urbano, tanto lodos cloacales como residuos sólidos domiciliarios. Los resultados indicaron que el uso de un porcentaje de compost de biosólidos entre 30 y 50% en volumen acelera significativamente el crecimiento de los plantines de ciprés respecto a un sustrato control, aumentando la altura, diámetro, biomasa aérea y biomasa radicular de los ejemplares estudiados.

En ambos estudios se utilizaron biosólidos en plantaciones forestales, sin embargo existen diferencias en comparación con los materiales y métodos utilizados en la tesina propuesta, la especie utilizada (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh), el origen de los lodos (proviene de la industria vitivinícola), la duración del ensayo (182 días) y los resultados obtenidos.

## 6. CONCLUSIONES

En términos generales se concluye que la hipótesis de la presente tesina se cumple, es decir que la incorporación de lodos provenientes de bodegas como abono orgánico, aplicado en dosis de 20 toneladas por hectáreas al sustrato utilizado para la cría de plantines en vivero de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, produce un incremento en el crecimiento de los mismos en contraste con aquellos plantines que crecen en un sustrato sin el agregado de dichos lodos.

El ensayo experimental aplicado en el cultivo de eucalipto durante el periodo de 182 días evidencio que el sustrato con aplicación de lodo en dosis alta y con aplicación de guano de gallina presenta un mayor crecimiento en las variables diámetro y biomasa con respecto al sustrato con aplicación de lodo en dosis baja y el testigo.

Para la variable altura no se observó diferencias estadísticamente significativas en función de los distintos tipos de sustratos, pero si se observa una tendencia de mayor crecimiento para los tratamientos con aplicación de guano de gallina y con aplicación de lodo con dosis alta.

Al final del ensayo, el sustrato con agregado de guano de gallina contiene mayores niveles de materia orgánica, como también de nitrógeno, fosforo y potasio. Los valores de materia orgánica y nutriente no sufrieron variaciones para el sustrato con agregado de lodo en dosis alta (anexo 5).

Por lo antedicho podemos inferir que teniendo en cuenta las propiedades físico- químicas con las que cuentan los lodos de bodega, incorporando el mismo en cantidades adecuadas, se presenta como una buena alternativa técnica y ambientalmente recomendable para la recuperación de los lodos provenientes de la industria vitivinícola, transformándolos en un abono orgánico.

Se estima que la aplicación de lodos en suelos sería rentable para la industria vitivinícola generadora de lodos, dado que su costo es aproximadamente cuatro veces menor que su disposición en un relleno sanitario.

Se recomienda así mismo desarrollar estudios adicionales de aplicación de lodos analizando otras especies y otras combinaciones de sustratos a fin de profundizar y ampliar los conocimientos sobre los mismos, además de abordar estudios más detallados sobre la factibilidad económica de su uso para estos fines.

Además de realizar experiencias en cultivo de forestales ya implantados de diversas edades para evaluar el comportamiento de los mismos frente a la incorporación de lodo como abono orgánico.

## 7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Cárdenas F.; González J.** (2015). Recuperación de lodos de las lagunas de oxidación provenientes del proceso de extracción de aceite de palma, para usar como abono en cultivos de palma africana. Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, UNAD. Colombia. 14-15 p.
- Cardona M.** (2012). Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa “comestibles la rosa” como alternativa para la generación de biósólidos. Administración ambiental, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.
- Carrasco F.** (2005). Áreas potenciales para la aplicación de biósólidos en plantaciones forestales de la VI región de Chile. Escuela de Ciencias Forestales, Departamento de Manejo de Recursos Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Cátedra de Calculo Estadístico y Biometría.** (2012). Prueba de hipótesis. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.
- Cónsoli, D.** (2019). Abonos orgánicos. Departamento de Ingeniería Agrícola. Cátedra de Química Agrícola. Facultad Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.
- De la Lama Gutiérrez, Gaspar.** (1976). Atlas del eucalipto. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA), Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA). Ministerio de Agricultura. Sevilla. España.
- De Souza, D.** (2015). Compuesto de lodo de desagüe para el cultivo inicial de eucalipto. Departamento de Recursos Naturales y Protección Ambiental. Brasil.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W.** InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Dimitri, M.J., Mangieri, H.R.** (1961). Los eucaliptos en la silvicultura. Editorial Acme. Buenos Aires. Argentina.
- Donoso S. y otros.** (2016). Evaluación de la aplicación de biosólidos en plantaciones de *Eucalyptus globulus*, en Chile central. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, vol. 48, núm. 2, 107-119 p. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.
- Grajales S.** (2006). Programa de manejo integral de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira. Scientia et Technica Año XII, N°31. Colombia. 285-286 p.
- Haguad M., Foroughbakhch R. y Hernández M.** (2000). Comportamiento de especies vegetales utilizando residuos generados en una planta tratadora de aguas residuales en Nuevo León, México, para su posible incorporación en prácticas agrícolas; investigación para el desarrollo regional; COFUPRO, SEPCONACyT, FIRA. México, D.F., 145-155 p.
- Henríquez O.** (2011). Análisis y criterios mínimos para la aplicación de lodos tratados provenientes de plantas de tratamientos de aguas servidas en agroecosistemas de la Provincia de Melipilla, Región Metropolitana, Chile. Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile. 5-6 p.
- Hernández, J. M. y otros.** (2005). Aplicación de lodos residuales, estiércol bovino y fertilizante químico en el cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare Pers.*). Rev. Int. Contaminación Ambiental. Durango, México. 31-36 p.
- Macías J. G.** (2013). Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, problema o recurso. Ingeniería Química. Jalisco, México.
- Máster Profesional en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental. Contaminación de las aguas. Instalaciones bodegueras, bebidas alcohólicas y elaboración de azúcar de remolacha** (2008). Características y tratamientos de las aguas residuales industriales por

sectores: agrícolas y alimentarias II. Instalaciones bodegueras, bebidas alcohólicas y elaboración de azúcar de remolacha. Escuela Organización Industrial. Sevilla.

**-Medina, A.** (2017). Propuesta para la producción de un abono orgánico partiendo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del colegio Rochester. Fundación Universidad de América, Facultad de Ingeniería Química. Bogotá D.C

**-Mendoza M., Sánchez J.** (2012). Evaluación físico-química y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de el Salvador. El Salvador.

**-Nazrala J. y otros.** (2003). Gestión de efluentes y consumo de agua en bodega. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias XXXV. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. 35-42 p.

**-Ojeda N.** (2015). Reingeniería del tratamiento y la disposición final de efluentes industriales en bodega Los Haroldos, San Martín, Mendoza. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.

**-Oropeza N.** (2013). Lodos residuales: estabilización y manejo. Departamento de Ingeniería, Universidad de Quintana Roo Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, Col. del Bosque Chetumal, Quintana Roo, México C.P. 77019.

**-Paiva M.; Quevedo L.** (2016). Respuesta de diferentes dosis de fertilización nitrogenada en plantaciones iniciales de clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake x E. Grandis Hill ex Maiden.

**-Resolución N°778.** (1996). Visto el expediente Nro.: 217.029 caratulado: "Secretaría de asuntos institucionales s/ Reglamento General para el Control de Contaminación Hídrica". Departamento General de Irrigación. Mendoza.

**-Resolución N°97.** (2001). Apruébase el Reglamento para el Manejo Sustentable de Barros Generados en Plantas de Tratamiento de Efluentes Líquidos. Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente. Buenos Aires.

**-Riu N.; Somoza A.** (1997). Eucaliptos para biomasa. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Tomo XXIX-N°2. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.

**-Secretaría de Agroindustria.** (2019). Caracterización físico química del guano de gallinas ponedoras de granjas del noreste de la provincia de Buenos Aires. Ministerio de Producción y Trabajo. Presidencia de la Nación.

**-Sosa R.** (2013). Propuesta preliminar para la implementación de un sistema de tratamiento de efluentes en una bodega de Maipú, Mendoza. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza.

## 8. ANEXOS

### Anexo 1: Caracterización del lodo.

Muestra representativa de 2 kg de lodo, analizada en laboratorio privado.

**Tabla N°10:** Caracterización química (nutrientes, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica) de la muestra de lodo tomada en la bodega Los Haroldos.

Muestra de lodo	Resultado
Materia Orgánica	14,97 %
Nitrógeno Total	7,99 %
Fosforo Total	0,84 %
Potasio	0,06 %
pH	5,8
Conductividad Eléctrica	1536 microsimens
Humedad	76,14 %

Fuente: Elaboración propia.

El estudio señaló que el pH de lodos, ligeramente ácido, fue adecuado para ser utilizado en los sustratos. En cuanto al contenido de materia orgánica es alto con un valor cercano al 15%, mientras que el contenido de nitrógeno total fue de 8%, valor que da cuenta de un buen aporte de Nitrógeno.

**Anexo 2: Parámetros fisicoquímicos característicos de efluentes generados en la industria vitivinícola y máximos permisibles. Resolución N° 778/96. DGI. Mendoza.**

**Tabla N°11: Parámetros fisicoquímicos característicos de efluentes generados en la industria vitivinícola y máximos permisibles. Resolución N° 778/96. DGI. Mendoza.**

PARÁMETRO	UNIDAD	VINIFICACIÓN (10 MUESTRAS)			RESTO DEL AÑO (5 MUESTRAS)			LÍMITES PERMISIBLES	
		RANGO		PROMEDIO	RANGO		PROMEDIO	D.G.I	O.S.M
		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		Res.627/00	Res. 19/90
pH		4,3	9,2	6	3,7	12	7,2	6,5-8,5 / 5,5-9	5,5 - 9
Conductividad eléctrica	µmhos/cm	1430	2140	1820	1400	7900	4140	1400-2000	3000
Sólidos sedimentables 10'	ml/l	0,1	220	26	0,1	32	7	<sup>1</sup> (DBO>100:0)	0,5
Sólidos sedimentables 2 h	ml/l	0,5	80	10	0,1	22	7	<sup>10</sup> (DBO>100:0)	10
Sólidos totales	mg/l	1350	12150	3900	2100	9100	4200		
Sólidos suspendidos	mg/l	130	5800	1030	280	570	390	40-80	200
Sólidos disueltos	mg/l	1220	6350	2870	1820	8530	3810		
DBO	mg/l	815	21450	5400	90	3500	1840	30-120	
DQO	mg/l	1300	35000	9170	260	5300	2800	75-250	330
Nitrógeno amoniacal	mg N-NH <sub>3</sub> /l	0,1	30	8	2	8	5	3 a 6	
Cloruros	mg/l	90	230	140	60	345	190	300-500	350
Cianuros	mg/l	0,01	0,3	0,04	0,01	0,1	0,03	0,05	0,1
Sodio	mg/l	70	160	110	60	1300	490	250-400	
RAS		1,3	3,4	1,9	1,1	3,4	13	4 a 6	9

Fuente: Departamento General de Irrigación.

### Anexo 3: Necesidad de riego para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

Tabla N°12: Necesidad de riego para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

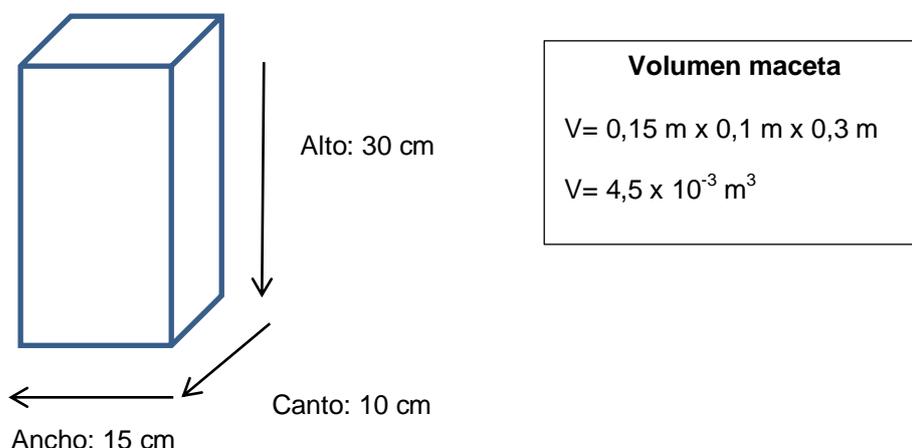
Mes	Días	Temperatura media mensual (°C)	Precipitación %	Evapotranspiración potencial f (mm)	Coefficiente de cultivo k	Evapotranspiración Real Ea (mm)	Precipitación (mm)	Necesidad Riego (mm/año)
E	31	24	9.86	188.33	0.94	177.03	35	142.03
F	28	23.3	8.42	158.13	0.89	140.73	19	121.73
M	31	20.1	8.63	149.38	0.79	118.01	24	94.01
A	30	14.4	7.66	122.68	0.64	78.51	8	70.51
M	31	12.1	6.60	90.15	0.55	49.58	10	39.58
J	30	8.0	5.90	69.54	0.49	34.07	7	27.00
J	31	7.8	6.50	76.01	0.44	33.44	7	26.40
A	31	10.5	7.20	93.08	0.51	47.47	8	39.40
S	30	13.1	8.06	113.80	0.63	71.69	7	64.69
O	31	16.20	9.03	140.24	0.78	109.38	26	83.38
N	30	20.5	9.37	163.97	0.89	145.93	14	121.93
D	31	22.7	10.00	185.37	0.94	174.24	15	159.24
<b>Total</b>	<b>365</b>					<b>1180.08</b>	<b>190</b>	<b>990.08</b>

Fuente: Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera Ingeniería Forestal. Posadas, Misiones.

#### Anexo 4: Cálculos de la dosis para los tratamientos

- **Cubicación de la maceta y de suelo**

La maceta de plástico una vez llena, dejando una distancia al borde de aprox. 5 cm, tiene las siguientes dimensiones:



Si consideramos que la maceta es una porción del volumen del suelo, se puede distribuir la dosis del tratamiento para el volumen determinado.

Si la profundidad del suelo en cuestión es de 30 cm, para calcular el volumen total que ocupa el suelo en su estrato laborable (la profundidad alcanzada por el implemento rastra de disco) se hace la siguiente cuenta:

**Volumen suelo**

$V = 0,3 \text{ m} \times 10.000 \text{ m}^2$

$V = 3000 \text{ m}^3$

- **Tratamiento guano de gallina**

Una de las dosis más utilizadas en el agregado de guano para los distintos cultivos es de 10 tn/ha. Puede ascender a 12 o 15 dependiendo también de la calidad del guano y de las facilidades operativas del campo.

Por ende, se quieren distribuir en  $3000 \text{ m}^3$  de suelo (equivalente a 1 ha) 10 tn de guano. Si consideramos que cada maceta es una porción del volumen calculado del suelo, se puede determinar qué cantidad de abono le corresponde a cada tratamiento.

$1 \text{ maceta} = 4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

Para el tratamiento: 1 macetas por bloque

4 repeticiones

Total macetas: 4 macetas

$4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 4 = 0,018 \text{ m}^3 \text{ tierra}$

$$1 \text{ maceta} = 4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$10 \text{ tn} \xrightarrow{\text{se distribuyen en}} 3000 \text{ m}^3$$

$$X \xrightarrow{\hspace{1.5cm}} 0,018 \text{ m}^3$$

$$6 \times 10^{-5} \text{ tn} = 0,06 \text{ kg} = 60 \text{ g de guano de gallina}$$

Considerando las pérdidas por mezcla y manipulación podría utilizarse 700 g de guano.

- **Tratamiento lodo dosis baja**

En este caso los números coinciden con el tratamiento anterior dado que se va a utilizar la misma dosis de 10 tn/ha.

$$1 \text{ maceta} = 4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Para el tratamiento: 1 macetas por bloque

4 repeticiones

Total macetas: 4 macetas

$$4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 4 = 0,018 \text{ m}^3 \text{ tierra}$$

$$1 \text{ maceta} = 4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$10 \text{ tn} \xrightarrow{\text{se distribuyen en}} 3000 \text{ m}^3$$

$$X \xrightarrow{\hspace{1.5cm}} 0,018 \text{ m}^3$$

$$6 \times 10^{-5} \text{ tn} = 0,06 \text{ kg} = 60 \text{ g de lodo de bodega}$$

Considerando las pérdidas por mezcla y manipulación podría utilizarse 700 g de lodo.

- **Tratamiento lodo dosis alta**

En este caso se propone trabajar con una dosis mayor de hasta 30 tn/ha.

$$1 \text{ maceta} = 4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Para el tratamiento: 1 macetas por bloque

4 repeticiones

Total macetas: 4 macetas

$$4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 4 = 0,018 \text{ m}^3 \text{ tierra}$$

$$1 \text{ maceta} = 4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$30 \text{ tn} \xrightarrow{\text{se distribuyen en}} 3000 \text{ m}^3$$

$$X \xrightarrow{\hspace{1.5cm}} 0,018 \text{ m}^3$$

$$1,8 \times 10^{-4} \text{ tn} = 0,18 \text{ kg} = 180 \text{ g de lodo de bodega}$$

Considerando las pérdidas por mezcla y manipulación podría utilizarse 2000 g de lodo.

Las cantidades finales para los tres tratamientos y el testigo son las siguientes:

Tierra para todos los tratamientos (m <sup>3</sup> )	0,6
Guano de gallina T2 (kg)	0,7
Lodos de bodega T3 Y T4 (kg)	0,7 y 1,44 (aprox. 3 kg)

## Anexo 5: Resultados de las muestras analizadas en laboratorio privado.

**Tabla N°13 A:** Análisis de fertilidad de las muestras al inicio del ensayo.

Código	Muestra	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Materia	Volumen de	Textura	C/N
		Total (ppm)	Relac.:1:10 (ppm)	Intercambia ble (ppm)	Orgánica (%)	Sedimentación (ml%g)		
126	Testigo	392	5,58	280	0,88	76	Arenoso	13,02
127	Guano de gallina	560	6,40	340	0,63	74	Arenoso	6,53
128	Lodo dosis baja	605	6,10	365	0,61	72	Arenoso	5,85
129	Lodo dosis alta	890	6,50	405	0,83	76	Arenoso	5,41

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°13 B:** Interpretación de las muestras al inicio del ensayo.

Código	Muestra	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Materia Orgánica
126	Testigo	MUY POBRE	BUENO	ALTO	Bueno
127	Guano	POBRE	BUENO	ALTO	Bueno
128	Lodo 1	MEDIO	BUENO	ALTO	Bueno
129	Lodo 2	BUENO	ALTO	ALTO	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°14 A:** Análisis de fertilidad de las muestras al final del ensayo.

Código	Muestra	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Materia	Volumen de	Textura	C/N
		Total (ppm)	Relac.:1:10 (ppm)	Intercambia ble (ppm)	Orgánica (%)	Sedimentación (ml%g)		
463	Testigo	588	4,26	200	1,14	80	Franco Arenoso	11,25
464	Guano	672	7,63	220	1,24	84	Franco Arenoso	10,70
461	Lodo 1	560	6,73	140	1,10	82	Franco Arenoso	11,39
462	Lodo 2	616	7,28	210	1,13	84	Franco Arenoso	10,64

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°14 B:** Interpretación de las muestras al final del ensayo.

Código	Muestra	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Materia Orgánica
463	Testigo	POBRE	MEDIO	BUENO	Bueno
464	Guano	MEDIO	ALTO	ALTO	Alto
461	Lodo 1	MEDIO	ALTO	MEDIO	Bueno
462	Lodo 2	BUENO	ALTO	ALTO	Bueno

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 6: Medidas de Resumen

### 1. Medida de resumen para variable diámetro.

El promedio de crecimiento en diámetro para el tratamiento testigo fue de 8,08 mm, para el tratamiento guano de gallina fue de 8,82 mm, para el tratamiento lodo dosis baja fue 7,27 mm y para el tratamiento lodo dosis alta fue el mayor de todos con 9,07 mm. La variación total de la muestra fluctuó entre 6,65 mm y 9,73 mm.

**Tabla N°15:** Medidas de resumen para variable diámetro (mm).

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Guano de gallina	Diámetro (mm)	4	8,82	0,50	8,31	9,43
Lodo dosis alta	Diámetro (mm)	4	9,07	0,48	8,62	9,73
Lodo dosis baja	Diámetro (mm)	4	7,27	0,44	6,65	7,61
Testigo	Diámetro (mm)	4	8,08	0,55	7,34	8,65

Fuente: Salida de Infostat.

### 2. Medida de resumen para variable altura.

El promedio de crecimiento en altura para el tratamiento testigo fue de 108,69 cm, para el tratamiento guano de gallina fue de 120,78 cm, para el tratamiento lodo dosis baja fue 98,91 cm y para el tratamiento lodo dosis alta fue 120,91. La variación total de la muestra fluctuó entre 80,87 cm y 132,87 cm.

**Tabla N°16:** Medidas de resumen para variable altura (cm).

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Guano de gallina	Altura (cm)	4	120,78	8,70	114,12	132,87
Lodo dosis alta	Altura (cm)	4	120,91	18,82	93,00	132,87
Lodo dosis baja	Altura (cm)	4	98,91	12,03	80,87	105,50
Testigo	Altura (cm)	4	108,69	5,65	100,75	114,00

Fuente: Salida de Infostat.

### 3. Medida de resumen para variable peso fresco.

El promedio de crecimiento en peso fresco para el tratamiento testigo fue de 72,60 g, para el tratamiento guano de gallina fue de 84,16 g, para el tratamiento lodo dosis baja fue 52,13 g y para el tratamiento lodo dosis alta fue el mayor de todos con 89,54 g. La variación total de la muestra fluctuó entre 66,93 g y 101,95 g.

**Tabla N°17:** Medidas de resumen para variable peso fresco (g).

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Guano de gallina	Peso Fresco (g)	4	84,16	8,04	72,57	90,76
Lodo dosis alta	Peso Fresco (g)	4	89,54	8,36	84,02	101,95
Lodo dosis baja	Peso Fresco (g)	4	52,13	6,47	45,61	58,91
Testigo	Peso Fresco (g)	4	72,60	4,38	66,93	77,27

Fuente: Salida de Infostat.

### 4. Medida de resumen para variable peso seco.

El promedio de crecimiento en peso seco para el tratamiento testigo fue de 29,98 g, para el tratamiento guano de gallina fue 35,34 g, para el tratamiento lodo dosis baja fue 21,03 g y para el tratamiento lodo dosis alta fue el mayor de todos con 37,05 g. La variación total de la muestra fluctuó entre 19,28 g y 42,42 g.

**Tabla N°18:** Medidas de resumen para variable peso seco (g).

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Guano de gallina	Peso Seco (g)	4	35,34	3,12	31,26	38,81
Lodo dosis alta	Peso Seco (g)	4	37,05	3,61	34,77	42,42
Lodo dosis baja	Peso Seco (g)	4	21,03	2,07	19,28	23,35
Testigo	Peso Seco (g)	4	29,98	1,82	27,99	32,25

Fuente: Salida de Infostat.

## Anexo 7: Modelo Estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

$i=1, \dots, r=4$

$j= \text{testigo}, \dots, k= \text{lodo dosis alta.}$

Dónde:

$Y_{ij}$ = crecimiento en *Eucalyptus camaldulensis Dehnh* de acuerdo al i-esimo bloque al que se le aplico el j-esimo tipo de sustrato.

$\mu$ = media general del crecimiento en *Eucalyptus camaldulensis Dehnh*.

$\tau_j$ = Efecto de j-esimo tipo de sustrato.

$\beta_i$  = Efecto del i-ésimo bloque.

$\varepsilon_{ij}$ = Error aleatorio del i-esimo bloque al que se le aplico el j-esimo tipo de sustrato.

## Anexo 8: Prueba de Hipótesis

Se tuvo en cuenta el **valor-p** o valor observado de probabilidad definiéndolo como el valor más pequeño al cual la hipótesis nula ( $H_0$ ) sería rechazada cuando se utiliza un procedimiento de prueba especificado con un conjunto de datos dado. Una vez que se ha determinado el valor p, la toma de decisión a un nivel particular de significancia resulta de comparar el valor p con  $\alpha$ .

Regla de decisión	
Valor $p \leq \alpha$	Rechazo $H_0$ al nivel de significancia $\alpha=0,05$
Valor $p > \alpha$	No rechazar $H_0$ al nivel de significancia $\alpha=0,05$

Un valor p pequeño indica que el valor observado del estadígrafo de prueba está lejos del valor hipotético. Esto es una fuerte evidencia de que  $H_0$  es falsa y debe rechazarse. Si los valores p son grandes, entonces significa que el estadígrafo de prueba observado no está lejos del valor hipotético y no apoya el rechazo de  $H_0$ .

1. Prueba de hipótesis para variable diámetro.

### Para tratamiento

$H_0: T_j = 0 \quad \square \quad j = \text{testigo}, \dots, k = \text{lodo dosis alta.}$

$H_1: T_j \neq 0$  para algún j

$H_c$ : El tipo de sustrato influye en el crecimiento en diámetro de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

Existe suficiente evidencia muestral, con un nivel de significancia de 0,05 para demostrar que la incorporación de sustrato al suelo influye en el crecimiento en diámetro de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

0,0021 $\leq$ 0,05	Rechazo $H_0$ al nivel de significancia $\alpha=0,05$
--------------------	---

### Para bloques

$H_0: \beta_i = 0 \quad \square \quad i = 1, \dots, r=4.$

$H_1: \beta_i \neq 0$  para algún i

$H_c$ : La exposición solar influye en el crecimiento en diámetro de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

No existe suficiente evidencia muestral, con un nivel de significancia de 0,05 para demostrar que la exposición solar influye en el crecimiento en diámetro de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

0,3687 $>$ 0,05	No rechazar $H_0$ al nivel de significancia $\alpha=0,05$
-----------------	---

2. Prueba de hipótesis para variable altura.

### Para tratamiento

$H_0: T_j = 0 \quad \square \quad j = \text{testigo}, \dots, k = \text{lodo dosis alta.}$

$H_1: T_j \neq 0$  para algún j

$H_c$ : El tipo de sustrato influye en el crecimiento en altura de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

No existe suficiente evidencia muestral, con un nivel de significancia de 0,05 para demostrar que la incorporación de sustrato al suelo influye en el crecimiento en altura de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

0,1002 > 0,05	No rechazar $H_0$ al nivel de significancia $\alpha=0,05$
---------------	---

#### Para bloques

$H_0: \beta_i = 0 \quad i= 1, \dots, r=4.$

$H_1: \beta_i \neq 0$  para algún  $i$

$H_c$ : La exposición solar influye en el crecimiento en altura de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

No existe suficiente evidencia muestral, con un nivel de significancia de 0,05 para demostrar que la exposición solar influye en el crecimiento en altura de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

0,5349 > 0,05	No rechazar $H_0$ al nivel de significancia $\alpha=0,05$
---------------	---

3. Prueba de hipótesis para variable peso fresco.

#### Para tratamiento

$H_0: T_j = 0 \quad j= \text{testigo}, \dots, k= \text{lodo dosis alta.}$

$H_1: T_j \neq 0$  para algún  $j$

$H_c$ : El tipo de sustrato influye en el crecimiento en peso fresco de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

Existe suficiente evidencia muestral, con un nivel de significancia de 0,05 para demostrar que la incorporación de sustrato al suelo influye en el crecimiento en peso fresco de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

0,0001 $\leq$ 0,05	Rechazo $H_0$ al nivel de significancia $\alpha=0,05$
--------------------	---

#### Para bloques

$H_0: \beta_i = 0 \quad i= 1, \dots, r=4.$

$H_1: \beta_i \neq 0$  para algún  $i$

$H_c$ : La exposición solar influye en el crecimiento en peso fresco de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

Existe suficiente evidencia muestral, con un nivel de significancia de 0,05 para demostrar que la exposición solar influye en el crecimiento en peso fresco de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

0,0346 $\leq$ 0,05	Rechazo $H_0$ al nivel de significancia $\alpha=0,05$
--------------------	---

4. Prueba de hipótesis para variable peso seco.

#### Para tratamiento

$H_0: T_j = 0 \quad j= \text{testigo}, \dots, k= \text{lodo dosis alta.}$

$H_1: T_j \neq 0$  para algún  $j$

$H_c$ : El tipo de sustrato influye en el crecimiento en peso seco de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

Existe suficiente evidencia muestral, con un nivel de significancia de 0,05 para demostrar que la incorporación de sustrato al suelo influye en el crecimiento en peso seco de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

0,0001 ≤ 0,05	Rechazo $H_0$ al nivel de significancia $\alpha=0,05$
---------------	---

### Para bloques

$H_0: \beta_i = 0 \quad i= 1, \dots, r=4.$

$H_1: \beta_i \neq 0$  para algún  $i$

$H_c$ : La exposición solar influye en el crecimiento en peso seco de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

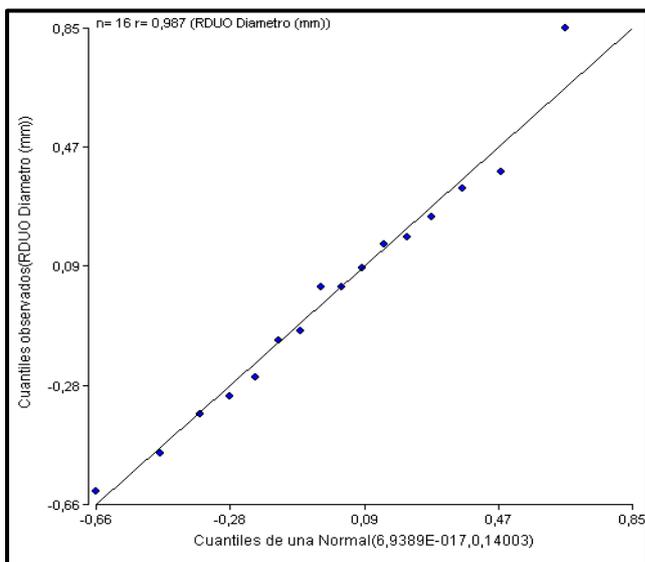
No existe suficiente evidencia muestral, con un nivel de significancia de 0,05 para demostrar que la exposición solar influye en el crecimiento en peso seco de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

0,2159 > 0,05	No rechazar $H_0$ al nivel de significancia $\alpha=0,05$
---------------	---

## Anexo 9: Supuestos del análisis de la varianza (ANAVA)

1. Supuestos del análisis de la varianza para variable diámetro (mm).

**Normalidad:** se presentan el grafico Q-Q plot y la prueba de Shapiro Wilks modificada.



**Figura N°23:** Grafico Q-Q plot (normal) obtenido a partir de un modelo con errores normales para variable diámetro (mm).

Fuente: Salida de Infostat.

Se concluye que los residuos siguen una distribución normal debido a que se alinean sobre la recta a 45°.

**Tabla N°19:** Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks modificada para variable diámetro (mm).

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Diametro (mm)	16	0,00	0,37	0,97	0,9379

Fuente: Salida de Infostat.

Las hipótesis que se someten a prueba son las siguientes:

Ho: los residuos tienen distribución normal vs H1: los residuos no tienen distribución normal

Se cumple el supuesto de normalidad (p-valor >0,05)

**Homoscedasticidad:** se presenta la prueba de Levene.

**Tabla N°20:** Prueba de homoscedasticidad de Levene para variable diámetro (mm).

Análisis de la varianza					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
R&BS Diametro (mm)	16	0,55	0,26	66,15	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,41	6	0,07	1,87	0,1919
Bloque	0,20	3	0,07	1,78	0,2214
Tratamiento	0,22	3	0,07	1,96	0,1910
Error	0,33	9	0,04		
Total	0,75	15			

Fuente: Salida de Infostat.

Las hipótesis que se someten a prueba son las siguientes:

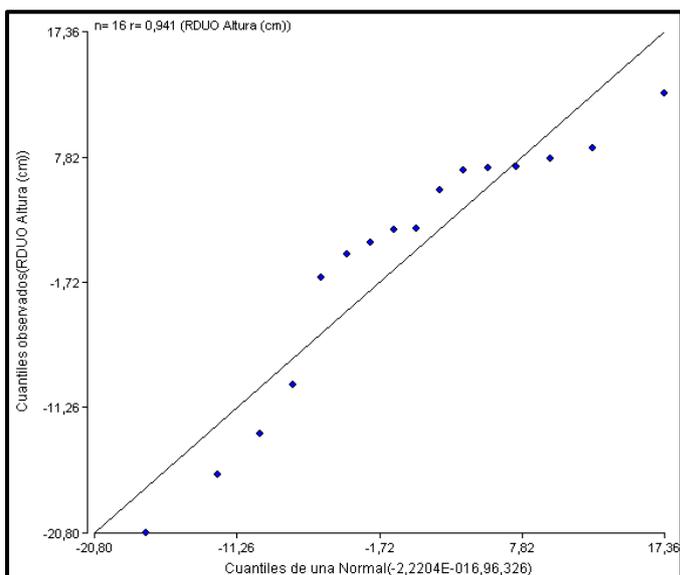
Ho: las varianzas de todos los tratamientos son iguales a la varianza de los errores vs H1: alguna varianza es diferente.

Se cumple el supuesto de homoscedasticidad (p-valor >0,05)

**Independencia:** la asignación aleatoria de los tipos de sustratos a los ejemplares de *Eucalyptus camaldulensis Dehnh* asegura la independencia de los errores.

2. Supuestos del análisis de la varianza para variable altura (cm).

**Normalidad:** se presentan el grafico Q-Q plot y la prueba de Shapiro Wilks modificada.



**Figura N°24:** Grafico Q-Q plot (normal) obtenido a partir de un modelo con errores normales para variable altura (cm).

Fuente: Salida de Infostat.

Se concluye que los residuos no siguen una distribución normal debido a que no se encuentran alineados sobre la recta a 45°.

**Tabla N°21:** Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks modificada para variable altura (cm).

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Altura (cm)	16	0,00	9,81	0,87	0,0443

Fuente: Salida de Infostat.

Las hipótesis que se someten a prueba son las siguientes:

Ho: los residuos tienen distribución normal vs H1: los residuos no tienen distribución normal

No se cumple el supuesto de normalidad (p-valor <0,05)

**Homoscedasticidad:** se presenta la prueba de Levene.

**Tabla N°22:** Prueba de homoscedasticidad de Levene para variable altura (cm).

<b>Análisis de la varianza</b>					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
RABS Altura (cm)	16	0,24	0,00	85,34	

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	120,48	6	20,08	0,47	0,8151
Bloque	54,94	3	18,31	0,43	0,7377
Tratamiento	65,53	3	21,84	0,51	0,6848
Error	384,87	9	42,76		
Total	505,35	15			

Fuente: Salida de Infostat.

Las hipótesis que se someten a prueba son las siguientes:

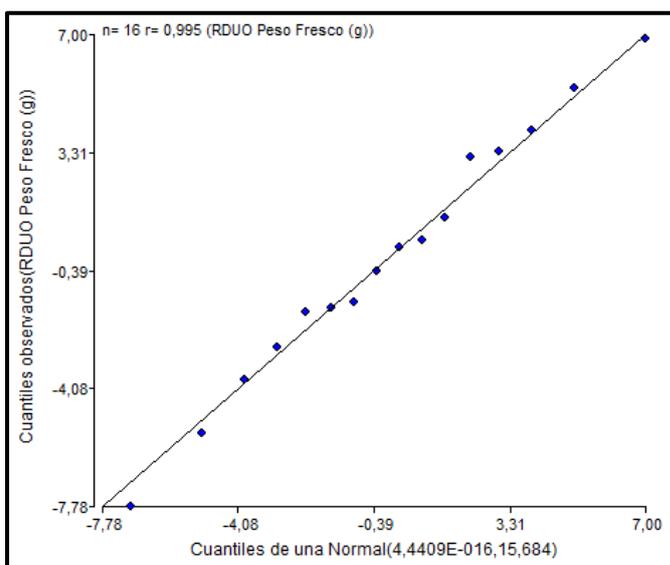
Ho: las varianzas de todos los tratamientos son iguales a la varianza de los errores vs H1: alguna varianza es diferente.

Se cumple el supuesto de homoscedasticidad (p-valor >0,05)

**Independencia:** la asignación aleatoria de los tipos de sustratos a los ejemplares de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh asegura la independencia de los errores.

3. Supuestos del análisis de la varianza para variable peso fresco (g).

**Normalidad:** se presentan el grafico Q-Q plot y la prueba de Shapiro Wilks modificada.



**Figura N°25:** Grafico Q-Q plot (normal) obtenido a partir de un modelo con errores normales para variable peso fresco (g).

Fuente: Salida de Infostat.

Se concluye que los residuos siguen una distribución normal debido a que se alinean sobre la recta a 45°.

**Tabla N°23:** Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks modificada para variable peso fresco (g).

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Peso Fresco (g)	16	0,00	3,96	0,97	0,9290

Fuente: Salida de Infostat.

Las hipótesis que se someten a prueba son las siguientes:

Ho: los residuos tienen distribución normal vs H1: los residuos no tienen distribución normal

Se cumple el supuesto de normalidad (p-valor >0,05)

**Homoscedasticidad:** se presenta la prueba de Levene.

**Tabla N°24:** Prueba de homoscedasticidad de Levene para variable peso fresco (g).

Análisis de la varianza					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
RABS Peso Fresco (g)	16	0,23	0,00	84,38	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18,17	6	3,03	0,44	0,8357
Bloque	6,48	3	2,16	0,31	0,8158
Tratamiento	11,70	3	3,90	0,57	0,6515
Error	62,08	9	6,90		
Total	80,25	15			

Fuente: Salida de Infostat.

Las hipótesis que se someten a prueba son las siguientes:

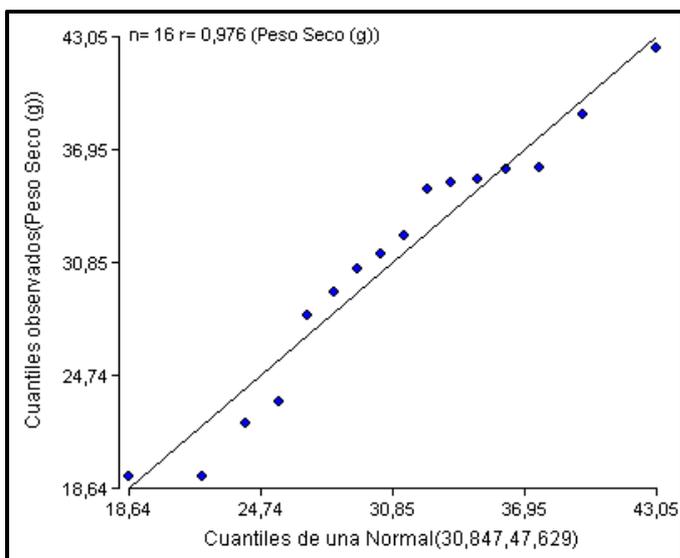
Ho: las varianzas de todos los tratamientos son iguales a la varianza de los errores vs H1: alguna varianza es diferente.

Se cumple el supuesto de homoscedasticidad (p-valor >0,05)

**Independencia:** la asignación aleatoria de los tipos de sustratos a los ejemplares de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh asegura la independencia de los errores.

3. Supuestos del análisis de la varianza para variable peso seco (g).

**Normalidad:** se presentan el gráfico Q-Q plot y la prueba de Shapiro Wilks modificada.



**Figura N°26:** Gráfico Q-Q plot (normal) obtenido a partir de un modelo con errores normales para variable peso seco (g).

Fuente: Salida de Infostat.

Se concluye que los residuos siguen una distribución normal debido a que se alinean sobre la recta a 45°.

**Tabla N°25:** Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks modificada para variable peso seco (g).

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Peso Seco (g)	16	0,00	1,95	0,93	0,4879

Fuente: Salida de Infostat.

Las hipótesis que se someten a prueba son las siguientes:

Ho: los residuos tienen distribución normal vs H1: los residuos no tienen distribución normal

Se cumple el supuesto de normalidad (p-valor >0,05)

**Homoscedasticidad:** se presenta la prueba de Levene.

**Tabla N°26:** Prueba de homoscedasticidad de Levene para variable peso seco (g).

<b>Análisis de la varianza</b>					
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV	
RABS Peso Seco (g)	16	0,22	0,00	87,85	

<b>Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)</b>					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,51	6	0,75	0,43	0,8436
Bloque	3,13	3	1,04	0,59	0,6345
Tratamiento	1,37	3	0,46	0,26	0,8520
Error	15,82	9	1,76		
Total	20,33	15			

Fuente: Salida de Infostat.

Las hipótesis que se someten a prueba son las siguientes:

Ho: las varianzas de todos los tratamientos son iguales a la varianza de los errores vs H1: alguna varianza es diferente

Se cumple el supuesto de homoscedasticidad (p-valor >0,05)

**Independencia:** la asignación aleatoria de los tipos de sustratos a los ejemplares de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh asegura la independencia de los errores.