



FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR**

TESIS

**Optimización de la mezcla y homogenización de purines de
ganado vacuno (*Bos primigenius Taurus*), equino (*Equus
ferus caballus*) y porcino (*Sus scrofa domestica*), para la
obtención de abonos orgánicos**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL
Y COMERCIO EXTERIOR**

Autor (es):

**Muñoz Rubio Luis Alberto.
Pacheco Torres Fernando Rigoberto.**

Asesor:

Ms. Símpalo López Walter Bernardo

Línea de Investigación:

Diseño y Desarrollo de Nuevos Productos

Pimentel - Perú

2019

Optimización de la mezcla y homogenización de purines de ganado vacuno (*Bos primigenius Taurus*), equino (*Equus ferus caballus*) y porcino (*Sus scrofa domestica*), para la obtención de abonos orgánicos.

Muñoz Rubio Luis Alberto
Autor

Pacheco Torres Fernando Rigoberto
Autor

Jurado:

Mg. Rodríguez Lafitte Ernesto Dante
Presidente del jurado de tesis

Mg. Aurora Vigo Edward Florencio
Secretario del jurado de tesis

Ms. Símpalo López Walter Bernardo
Vocal del jurado de tesis

DEDICATORIA

A dios por darnos la vida y la salud y que nos permite realizar todas nuestras actividades diarias.

A mi madre, por sus consejos y aliento moral para continuar con la formación de mi carrera.

A mi Esposa Bertha, mis hijos Crithian, Adrian y Yerly que son mi motor y mi vida para seguir adelante formándome profesionalmente.

FERNANDO

A mis Hermanos especialmente Juana y Violeta, quienes fueron mi gran apoyo emocional y económico durante toda mi carrera profesional y durante el tiempo que realizaba mi tesis

A mis padres que con sus enseñanzas y consejos han hecho de mí una persona de bien.

A mi esposa Alicia, mis hijos Brissa y Luis Angel, por su apoyo, ayuda y comprensión para lograr el objetivo propuesto.

A mi hija Brissa ya que fue mi apoyo incondicional durante toda mi carrera profesional, a ella mi eterna gratitud.

LUIS

AGRADECIMIENTO

Nuestro profundo agradecimiento al Ms. Augusto Mechato Anastasio, a nuestro asesor Ing. Walter Símpalo López, a los docentes de la escuela de ingeniería Agroindustrial y comercio exterior por sus enseñanzas y orientaciones brindadas en la formación y complementación de nuestra vida profesional y por su apoyo indesmallable en la mejora de nuestra educación.

Los autores.

ÍNDICE GENERAL

Resumen	x
Abstract	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Situación problemática	1
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Objetivos de la Investigación	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Justificación e importancia de la investigación	3
1.5 Antecedentes	4
1.6 Marco Teórico	8
1.6.1 Bases teóricas científicas	8
1.6.1.1 Purines	8
1.6.1.3 Purín maduro	8
1.6.1.4 Abono orgánico	9
1.6.1.5 Tipos de abonos orgánicos	10
1.6.1.6 Estado físico del abono	10
1.6.1.7 Abonos sólidos	11
1.6.1.8 Ventajas del abono orgánico	11
1.6.1.9 Fermentación	12
1.6.1.10 Fermentación en estado sólido	12
1.6.1.11 La temperatura de fermentación	13
1.6.1.12 El pH en la fermentación	13
1.6.1.13 La aireación en la fermentación	13
1.6.1.14 La humedad y la actividad del agua	14
1.6.1.15 El tamaño de partícula	14
1.6.2 Definición de términos básicos	15
1.6.2.1 Optimización	15
1.6.2.2 Mezcla	15
1.6.2.3 Diseño de mezclas	15
1.6.2.4 Homogenización	15

1.6.2.5	Purín	15
1.6.2.6	Fertilizantes o abono	16
1.6.2.7	Compost	16
1.6.2.8	Bokashi	16
1.6.2.9	Fermentación	16
II.	MATERIAL Y MÉTODOS	17
2.1	Tipo y diseño de la investigación	17
2.1.1	Tipo de investigación	17
2.1.2	Diseño de la investigación	17
2.2	Población y muestra	17
2.2.1	Población	17
2.2.2	Muestra	17
2.3	Hipótesis	18
2.4	Variables	18
2.4.1	Variables Independientes	18
2.4.2	Variables Dependientes	18
2.5	Operacionalización de variables	20
III.	RESULTADOS	23
3.1	Abordaje metodológico, técnicas e instrumentos de recolección de datos	23
3.1.1	Métodos de investigación	23
3.1.2	Técnicas de recolección de datos	24
3.1.3	Instrumentos de recolección de datos	24
3.2	Procedimiento para la recolección de datos	26
3.2.1	Recepción de la Materia Prima	26
3.2.2	Pesado	26
3.2.3	Desmenuzado	27
3.2.4	Mezclado	27
3.2.5	Fermentación	27
3.2.6	Secado	27
3.2.7	Molido	27
3.2.8	Tamizado	27
3.2.9	Envasado	28
3.3	Análisis estadístico	28

3.3.1	Diseño Simplex	28
3.4	Principios éticos	30
3.4.1	Principios éticos generales	30
3.4.2	Principio de totalidad/integridad	30
3.4.3	Principio de respeto al ecosistema	31
3.5	Criterios de Rigor Científico	31
IV.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	32
4.1	Resultados	32
4.1.1	Caracterización de los purines	32
4.1.2	Evaluación de la Homogeneidad de las mezclas	34
4.1.3	Caracterización de las mezclas	35
4.1.4	Variable Respuesta pH	37
4.1.5	Variable Respuesta Cec (mmhos/Cm)	39
4.1.6	Variable Respuesta Materia Orgánica (%)	42
4.1.7	Variable Respuesta Nitrógeno Orgánico (%)	45
4.1.8	Variable Respuesta Fosforo (P ₂ O)	48
4.1.9	Variable Respuesta Potasio (K ₂ O)	50
4.1.10	Optimización de la mezcla	53
4.1.10.1	Opciones para el objetivo de los componentes	53
4.1.10.2	Ejecución de la optimización	57
4.2	Discusión de resultados	60
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
6.1	Conclusiones	65
6.2	Recomendaciones	67
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	Anexo	73

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Composición de Nutrientes de los abonos de algunos animales</i>	10
<i>Tabla 2. Tabla de Variables Independientes</i>	20
<i>Tabla 3. Tabla de la Variable Dependiente: Características de los purines</i>	20
<i>Tabla 4. Tabla de la Variable Dependiente: Evaluación de la Homogenización</i>	21
<i>Tabla 5. Tabla de la Variable Dependiente: Características de la mezcla</i>	21
<i>Tabla 6. Tabla de la Variable Dependiente: Optimización de la Mezcla</i>	22
<i>Tabla 7 Tabla de Mezclas de los tres purines</i>	23
<i>Tabla 8. Características fisicoquímicas de los purines</i>	32
<i>Tabla 9. Color de la mezcla: Luminosidad (L*) en la etapa de la homogenización</i>	34
<i>Tabla 10. Matriz de resultados obtenidos a partir del diseño de mezclas</i>	36
<i>Tabla 11. Análisis de varianza para la variable respuesta pH</i>	37
<i>Tabla 12. Coeficientes estadísticos para la variable respuesta pH</i>	38
<i>Tabla 13. Análisis de varianza para la variable Cec (mmhos/Cm)</i>	40
<i>Tabla 14. Coeficientes estadísticos para la variable respuesta Cec (mmhos/Cm)</i>	40
<i>Tabla 15. Análisis de varianza para la variable Materia Orgánica (%)</i>	42
<i>Tabla 16. Coeficientes estadísticos para la variable Materia Orgánica (%)</i>	43
<i>Tabla 17. Análisis de varianza para la variable Nitrógeno Orgánico (%)</i>	45
<i>Tabla 18. Coeficientes estadísticos para la variable Nitrógeno Orgánico (%)</i>	46
<i>Tabla 19. Análisis de varianza para la variable Fósforo (P₂O) (%)</i>	48
<i>Tabla 20. Coeficientes estadísticos para la variable respuesta Fósforo (P₂O) (%)</i>	48
<i>Tabla 21. Análisis de varianza para la variable Potasio (K₂O) (%)</i>	50
<i>Tabla 22. Coeficientes estadísticos para la variable Potasio (K₂O) (%)</i>	51
<i>Tabla 23. Restricciones de las variables para la optimización</i>	57
<i>Tabla 24. Soluciones de la optimización</i>	57

ÍNDICE DE FIGURAS.

<i>Figura 1. Matriz de recolección de datos para ser procesado con del Design Expert 7. ____</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de abono orgánico _____</i>	<i>26</i>
<i>Figura 4. Puntos experimentales, para el estudio de las propiedades sobre la totalidad de una región de tres componentes. _____</i>	<i>29</i>
<i>Figura 6. Matriz de resultados obtenidos a partir del diseño de mezclas _____</i>	<i>35</i>
<i>Figura 7. Gráfico de contorno para la variable respuesta pH _____</i>	<i>38</i>
<i>Figura 8. Gráfico de superficie para la variable respuesta pH _____</i>	<i>39</i>
<i>Figura 9. Gráfico de contorno para la variable Cec (mmhos/Cm) _____</i>	<i>41</i>
<i>Figura 10. Gráfico de superficie para la variable Cec (mmhos/Cm) _____</i>	<i>41</i>
<i>Figura 11. Gráfico de contorno para la variable Materia Orgánica (%) _____</i>	<i>44</i>
<i>Figura 12. Gráfico de superficie para la variable Materia Orgánica (%) _____</i>	<i>44</i>
<i>Figura 13. Gráfico de contorno para la variable Nitrógeno Orgánico (%) _____</i>	<i>47</i>
<i>Figura 14. Gráfico de superficie para la variable Nitrógeno Orgánico (%) _____</i>	<i>47</i>
<i>Figura 16. Gráfico de contorno para la variable Fósforo (P₂O) (%) _____</i>	<i>49</i>
<i>Figura 17. Gráfico de superficie para la variable Fósforo (P₂O) (%) _____</i>	<i>50</i>
<i>Figura 18. Gráfico de contorno para la variable Potasio (K₂O) (%) _____</i>	<i>52</i>
<i>Figura 19. Gráfico de superficie para la variable Potasio (K₂O) (%) _____</i>	<i>52</i>
<i>Figura 20. Minimización de los valores de pH _____</i>	<i>53</i>
<i>Figura 21. Estableciendo el objetivo del Cec = 12 _____</i>	<i>54</i>
<i>Figura 22. Maximización de los valores de Nitrógeno orgánico (NO) _____</i>	<i>54</i>
<i>Figura 23. Maximización de los valores de Nitrógeno orgánico (NO) _____</i>	<i>55</i>
<i>Figura 24. Maximización de los valores de Fósforo (P₂O) _____</i>	<i>55</i>
<i>Figura 25. Maximización de los valores de Potasio (K₂O) _____</i>	<i>56</i>
<i>Figura 26. Maximización de los valores de Calcio (CaO) _____</i>	<i>56</i>
<i>Figura 27. Representación por gráfico de rampas _____</i>	<i>58</i>
<i>Figura 28. Gráfico de contorno de conveniencia _____</i>	<i>59</i>
<i>Figura 30. Pruebas en campo, usando el abono orgánico de la mejor mezcla. _____</i>	<i>74</i>

Resumen

A nivel mundial el aumento poblacional ha incrementado también la producción agrícola y ganadera, y esto a su vez una emisión de subproductos como los purines, trayendo consigo contaminación ambiental en ciertos sectores de la cadena agroalimentaria; por otro lado es bien sabido que el hombre ha utilizado desde hace mucho tiempo, los purines de los animales de las actividades agropecuarias para la elaboración de abonos orgánicos, como fuente de fertilización natural de los cultivos. Sin embargo con la preparación de ciertos abonos orgánicos no se ha podido conseguir niveles estándares de macro y micronutrientes debido a las diferentes características de los purines provenientes de los ganados, por ello la presente investigación tiene como objetivo optimizar la mezcla y homogenización de purines de ganado vacuno (*Bos primigenius Taurus*), equino (*Equus ferus caballus*) y porcino (*Sus scrofa domestica*), para la obtención de abonos orgánicos. Se realizaron pruebas experimentales para la elaboración de un abono orgánico, de origen equino, porcino y vacuno, utilizando el software Design Expert 7. Obteniéndose 13 corridas experimentales, con 3 réplicas cada una; usándose una metodología con un tipo de estudio de mezclas y un modelo de diseño cúbico, con el cual se pudo determinar los valor de pH, en un rango de 7.65 a 8.85, estableciéndose un pH óptimo de 8.24, una Conductividad eléctrica (Cec), en un rango de 4.96 a 19.2 mmhos/cm, con un óptimo de 12 mmhos/cm, Materia Orgánica (MO), en un rango de 44.83 a 60.2 %, con un óptimo de 58.56 %. Nitrógeno Orgánico (N), en un rango de 1.46 y 1.75 %, con un óptimo de 1.676 %. Fósforo total (P_2O), en un rango de 0.4 a 4.28%, con un óptimo de 1.676 %. Potasio total (K_2O), en un rango de 0.2 a 1.68 %, con un óptimo de 1.50 %, Calcio (CaO), en un rango de 0.86 a 1.86 %, con un óptimo de 1.312 %. Con estos resultados se concluyó que la mezcla óptima fue de 42.727 % y 57.273% para porcino y vacuno respectivamente, sin la presencia del abono equino.

Palabras clave: Abonos, mezcla, macronutrientes, micronutrientes.

Abstract

Worldwide, the population increase has also increased in agricultural and livestock production, and this in turn an emission of by-products such as slurry, bringing corresponds to the environment in the sectors of the agri-food chain; On the other hand it is well known that man has been used for a long time, the slurry of animals from agricultural activities for the production of organic fertilizers, as a source of natural fertilization of crops. However, with the preparation of the results. The levels of macro and micronutrients could not be established. The characteristics of the slurry from cattle. bovine (*Bos primigenius Taurus*), equine (*Equus ferus caballus*) and porcine (*Sus scrofa domestica*), to obtain organic fertilizers. Experimental tests were carried out for the elaboration of an organic fertilizer, of equine, porcine and bovine origin. The mixtures were determined using the Design Expert 7 software. Obtaining 13 experimental runs, with 3 replicates each; using a methodology with a type of study of mixtures and a model of cubic design, with which the pH value can be determined, in a range of 7.65 to 8.85, establishing an optimum pH of 8.24, an electrical conductivity (Cec), in a range of 4.96 to 19.2 mmhos / cm, with an optimum of 12 mmhos / cm, Organic Matter (MO), in a range of 44.83 to 60.2%, with an optimum of 58.56%. Organic Nitrogen (N), in a range of 1.46 and 1.75%, with an optimum of 1.676%. Total phosphorus (P₂O), in a range of 0.4 to 4.28%, with an optimum of 1.676%. Total potassium (K₂O), in a range of 0.2 to 1.68%, with an optimum of 1.50%, Calcium (CaO), in a range of 0.86 to 1.86%, with an optimum of 1.312%. With these results it was concluded that the optimal mixture was 42.727% and 57.273% for pigs and cattle respectively, without the presence of equine manure.

Keywords: Fertilizers , mixing, macronutrients , micronutrients.

I. INTRODUCCIÓN

La producción ganadera intensiva puede conllevar una serie de efectos perjudiciales para el medio ambiente. En zonas con alta concentración de ganado, la contaminación de suelos y su impacto ambiental es una seria preocupación que en los últimos años ha sido recogida por la atención pública y materia de numerosa legislación. Los aspectos medioambientales pueden tener un papel muy relevante en la aceptación pública, ubicación, crecimiento y productividad económica de la producción animal. La alimentación de los animales juega un papel importante en la cantidad de contaminantes generados en la granja, existiendo diferentes estrategias nutricionales que pueden reducir la magnitud de la contaminación (Lobera et al., 1998). Según Espejo Marín, C. (1997), las emisiones al medio ambiente generadas por una granja de porcino se pueden originar en la propia granja, o bien durante el almacenamiento, tratamiento o aplicación del purín. Pueden ser emisiones directas al suelo, aguas subterráneas y superficiales, básicamente en forma de purín; o emisiones al aire, en forma de gases, olores, polvo o ruido. Las emisiones más importantes son las relacionadas con el nitrógeno (N) y el fósforo (P), que fomentan especialmente los fenómenos de: i) eutrofización o enriquecimiento de nutrientes en el agua (el aumento de la concentración de compuestos de nitrógeno y fósforo provoca un crecimiento acelerado de las algas o las plantas acuáticas superiores, causando trastornos negativos en el equilibrio de las poblaciones biológicas presentes en el medio acuático y en la propia calidad del agua); y ii) acidificación de suelos y aguas (la reacción ácida de los distintos compuestos producen variaciones del pH que afectan al ecosistema en general).

1.1 Situación problemática

La sostenibilidad y el incremento de la fertilidad del suelo es aún un reto para el mundo, por lo que es necesario difundir tecnologías de mejoramiento de suelos en la agricultura. La reciente y continua volatilidad en los precios de los alimentos ha hecho tomar conciencia de la importancia de la producción agroindustrial como un importante recurso de la seguridad alimentaria y nutricional, tanto en términos del suministro de alimentos, como de generación de empleo e ingresos para la población de bajos recursos así como por su contribución al equilibrio del desarrollo nacional. (Rocha M., Ponce J. y Azero M., 2012) Sin embargo el productor se ve limitado por la falta de un suelo de calidad para la producción, sobre todo en

lugares donde no hay acceso a tierras para siembra. Por otro lado, en los procesos agroindustriales que involucran el sector pecuario, es el compostaje el enfoque preferido para tratar los problemas de desechos de dicho sector. El aprovechamiento de los purines de diferentes tipos de ganado hace que estas prácticas sean muy rentables y a la vez contribuyen a la reducción de impactos ambientales negativos. Para la producción de estos compostajes está supeditado a diferentes factores; uno de ellos es la aireación forzada que tiene varias ventajas, que incluyen un tiempo de compostaje corto, bajos requisitos de espacio y control del proceso. La descomposición de esta materia orgánica, es debida a la producción de calor, el balance de calor y la temperatura que están interrelacionados (Borrás, J. y Sánchez, J. 1997).

En el departamento de Lambayeque aún no se ha implementado estrategias pertinentes para el manejo adecuado de los residuos sólidos principalmente de los orgánicos porque se constituyen en medios potenciales para la reproducción y crecimiento de vectores (microorganismos e insectos) transmisores de enfermedades, además son fuente de contaminación y perjudican notablemente el equilibrio ambiental de recursos básicos como el agua, el aire y el suelo. Teniendo presente la cantidad de residuos orgánicos generados en el departamento de Lambayeque y el manejo inadecuado de los mismos es necesario implementar procedimientos para su manejo y disposición uno de ellos es el proceso de fermentación en condiciones anaerobias con microorganismos específicos generando unas condiciones físico químicas óptimas de homogenización. (Varnero M., 2011)

1.2 Formulación del problema

Cuál es la mezcla y homogenización óptima de los purines de ganado vacuno (*Bos primigenius Taurus*), equino (*Equus ferus caballus*) y porcino (*Sus scrofa domestica*), para obtener abonos orgánicos, con fines agrícolas.

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo general

Optimizar la mezcla y homogenización de purines de ganado vacuno (*Bos primigenius Taurus*), equino (*Equus ferus caballus*) y porcino (*Sus scrofa domestica*), para la obtención de abonos orgánicos.

1.3.2 Objetivos específicos

Caracterizar los purines de ganado vacuno (*Bos primigenius Taurus*), equino (*Equus ferus caballus*) y porcino (*Sus scrofa domestica*)

Evaluar la homogeneidad de las mezclas, usando como indicador de medida el color en escala CIELab de Luminosidad (L*)

Caracterizar las mezclas en términos de pH, conductividad eléctrica (Cec), Materia Orgánica (MO), Nitrógeno Orgánico (N), Fósforo total (P₂O), Potasio total (K₂O) y Calcio (CaO).

Optimizar los niveles de pH, conductividad eléctrica (Cec), Materia Orgánica (MO), Nitrógeno Orgánico (N), Fósforo total (P₂O), Potasio total (K₂O) y Calcio (CaO), para una mejor mezcla de abono orgánico.

1.4 Justificación e importancia de la investigación

El presente trabajo de investigación busca optimizar la mezcla y homogenización de purines de ganado vacuno (*Bos primigenius Taurus*), equino (*Equus ferus caballus*) y porcino (*Sus scrofa domestica*), para obtener abonos orgánicos y tener las condiciones favorables que permitan el cultivo de productos orgánicos, que contribuyan con el medio ambiente y producción netamente orgánica, con responsabilidad en el cuidado del medio ambiente.

Se considera en el proceso de producción del abono orgánico, que el punto más crítico es la etapa de mezclado, generando una falta de homogenización de los componentes que conforman el abono orgánico, lo que produce resultados variables durante su aplicación.

La implementación del abono orgánico permitirá disminuir la contaminación causada por el manejo inadecuado de productos Fertilizantes utilizados en los alimentos que consumimos, además que contribuirá en el cuidado del medio ambiente y de los suelos y el mejoramiento de calidad de vida.

En la utilización de abonos químicos es necesario hacer grandes inversiones de dinero y se corre además con riesgo para la salud de los agricultores por tanto, es más adecuada la utilización de abonos orgánicos ya que por sus características necesitan de una menor inversión además de presentar mejor rendimiento, conservar y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Una clave para la restauración del suelo es maximizar la retención y el reciclaje de materia orgánica y nutriente de las plantas y reducir al mínimo las pérdidas de estos componentes del suelo causados por lixiviación, la escorrentía y la erosión. Por tanto el desafío consiste en identificar las prácticas de manejo del suelo que promuevan la formación de materia orgánica del suelo y la retención de la humedad y garantizar la productividad y la rentabilidad para los agricultores en corto plazo.

1.5 Antecedentes

Los abonos orgánicos son sustancias que están constituidas por desechos de origen animal, vegetal o mixto, que se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, químicas y biológicas. Los abonos orgánicos pueden ser residuos de cultivos dejados en el campo después de la cosecha; cultivos para abonos verdes (principalmente leguminosas fijadoras de nitrógeno); restos orgánicos de la explotación agropecuaria (estiércoles, purín); restos orgánicos del procesamiento de productos agrícolas; desechos domésticos (basuras de vivienda, excretas); compost preparado con las mezclas de los compuestos antes mencionados; etc.

Según Ramos D. y Terry E. (2014), los abonos orgánicos son aquellas sustancias fertilizantes que procedentes de residuos humanos, animales o vegetales y que vienen aportar a las plantas elementos nutrientes indispensables para su desarrollo mejorando la fertilidad del suelo.

Los abonos orgánicos, son los fertilizantes proveniente de la degradación y mineralización de materiales orgánicos (estiércoles, desechos de la cocina, pastos incorporados al suelo en estado verde, etc.) o procedente de residuos animales o vegetales, y contienen bajos porcentajes materia orgánica y nutriente. Los abonos orgánicos, son fertilizantes que no están fabricados con medios industriales, como los abonos nitrogenados (hechos a partir de combustibles fósiles y aire) o los obtenidos de minería, como los fosfatos o el potasio. Son aquellos que provienen de animales, humanos, restos vegetales de alimentos u otra fuente orgánica y natural. (Román P., Martínez M. y Pantoja A., 2013)

Investigadores de la Escuela de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Cartagena han patentado un método para reutilizar con éxito los purines de cerdo como agua de riego y fertilizante. Según Faz A. (2011), se trata de una tecnología a la carta concebida para que el ganadero pueda hacer una gestión sostenible de los purines de cerdo, indica el investigador responsable del grupo Gestión, Aprovechamiento y Recuperación de Suelos y Aguas. La nueva tecnología demuestra que es rentable el reciclaje de purines, los líquidos formados por la orina de los animales, en cultivos agrícolas. Su uso resulta útil sobre todo en cultivos de secano, aunque también es posible su valorización como mejora de suelo en cultivos hortofrutícolas. El autor, señala que estos residuos suponen un problema al pequeño y mediano ganadero por la degradación del suelo que genera su almacenamiento, que normalmente se realiza en fosas. Así mismo, los purines, aunque salen canalizados a fosos desde el cebadero, se acumulan en balsas impermeabilizadas. “Estas pueden causar riesgos para el subsuelo”. El tratamiento de purines propuesto por Faz A. (2011), se convierte en una solución alternativa a los ganaderos que no disponen de tierras en las que deberían depositar los residuos de los cerdos. Hasta ahora, la forma más natural de eliminar los purines de las granjas es incorporarlos directamente al suelo, según las necesidades del cultivo. Pero se incorpora de forma proporcional para evitar la contaminación del suelo. Esta opción no resulta útil a los ganaderos que no disponen de tierras en las que depositar estos residuos.

Por otro lado, nuevas investigaciones en la Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, por Varnero M., Muñoz S. y Zúñiga R. (2009), como es la “Valorización agrícola de purines porcinos procesados con aserrín de Pino”, propone como objeto, regular la humedad excesiva en purines porcinos y obtener un material estabilizado, se implementó una metodología de tratamiento utilizando aserrín de pino como estructurante, en dosis de 1.0, 1.5 y 2.0 m³. Los purines crudos se distribuyeron sobre estas unidades, manteniéndolos cinco días en reposo. Con este material, se formaron pilas en condiciones aeróbicas, realizándose volteos periódicos. Al término del ensayo, se observó en todos los tratamientos una disminución de la salinidad. Los altos contenidos de materia orgánica y de la relación C/N observados en estas mezclas, sumado a la disminución de la humedad del material estructurante, permite suponer que se podría reutilizar con nuevas cargas de purines de cerdo. El producto final tiene características adecuadas en términos de relación amonio/nitrato, para establecer el desarrollo de cultivos sin restricciones y los niveles de coliformes fecales disminuyen drásticamente. Así también el Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Remehue, de Chile, ha realizado investigaciones como “Caracterización de purines de lecherías en el Sur de Chile” cuyo autores Francisco Salazar, Juan Carlos Dumont, David Chadwick, Rodolfo Saldaña y Mabel Santana, en esta investigación, colectaron 50 muestras de purines de predios lecheros ubicados en el Sur de Chile (X Región). Las muestras fueron analizadas para determinar materia seca, pH, materia orgánica, macro nutrientes totales y disponibles (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio). También se analizaron micro nutrientes disponibles y totales (zinc, hierro, manganeso y cobre) y aluminio total. Los resultados permitieron determinar que los purines tenían un bajo contenido de materia seca, ya que 62% de las muestras tenían menos de 4%. Esto refleja la gran cantidad de agua que reciben los pozos de almacenamiento. Se observó una gran variabilidad entre las muestras colectadas, lo que puede ser explicado por diferencias en la alimentación, uso de agua de lavado, aguas lluvia y tiempo de almacenamiento del purín. En general, la concentración de macro y micro nutrientes fue baja.

Según, Waqas, M., Rehan, M., Khan, MD, y Nizami, A.-S. (2018), desarrollaron la investigación: Optimización del compost de residuos alimentarios con el uso de biochar, en la cual tiene como objetivo examinar la influencia del biochar producido a partir de los residuos del césped para acelerar la degradación y las tasas de mineralización del compost de residuos

alimentarios. El biochar producido a dos temperaturas diferentes (350 y 450 ° C) se aplicó a las tasas de 10 y 15% (p / p) de los residuos totales a un biorreactor de compost en el recipiente para evaluar sus efectos en el compost de residuos de alimentos. La calidad del compost se evaluó en función de los índices de estabilización, como el contenido de humedad (MC), la conductividad eléctrica (EC), la degradación de las materias orgánicas (OM), el cambio en el contenido de carbono (TC) y el contenido de nitrógeno mineral, como el amonio (NH₄⁺) y el nitrato (NO₃⁻). El uso de biochar mejoró significativamente el proceso de compostaje y las propiedades fisicoquímicas del compost final. Los resultados mostraron que, en comparación con el ensayo de control, las mezclas de compost modificadas con biochar lograron rápidamente la temperatura termofílica, aumentaron la degradación de la OM en un 14,4–15,3%, la concentración de NH₄⁺ en un 37,8–45,6% y NO₃⁻ en un 50–62%.

Según, Yan Wanga, Yuchun Zhuc, Shuoxin Zhanga y Yongqiang Wang (2018), desarrollaron el manuscrito: ¿Qué podrían promover los agricultores para reemplazar los fertilizantes químicos con fertilizantes orgánicos?, en la cual refieren: que para disminuir el impacto ambiental negativo de los fertilizantes químicos, reemplazar los fertilizantes químicos con más fertilizantes orgánicos para los agricultores es una buena opción. Sin embargo, a la mayoría de los agricultores les gustaría usar fertilizantes químicos en lugar de fertilizantes orgánicos en los países en desarrollo, principalmente porque temen que puedan perder ingresos si usan fertilizantes orgánicos en lugar de fertilizantes químicos. Desde este punto, los formuladores de políticas deben encontrar estrategias para incentivar a los agricultores a usar fertilizantes orgánicos en lugar de fertilizantes químicos. Su objetivo es averiguar qué podría promover a los agricultores reemplazar los fertilizantes químicos con fertilizantes orgánicos parcial o completamente.

Otros investigadores como, Yijun Kang, Yangyang Hao, Min Shen, Qingxin Zhao, Qing Li & Jian Hu (2015), realizaron la investigación denominada: Impactos de la suplementación de fertilizantes químicos con fertilizantes orgánicos fabricados con estiércol de cerdo como sustrato en la propagación de genes de resistencia a la tetraciclina en el suelo, en donde refieren: que el uso de compost de estiércol de cerdo (PM) como sustituto parcial de los fertilizantes químicos convencionales (FQ) se considera un enfoque eficaz en sistemas agrícolas sostenibles. Este estudio tuvo como objetivo analizar los impactos de la

suplementación de FQ con fertilizantes orgánicos (FPS) fabricados con estiércol de cerdo como sustrato en la propagación de los genes de resistencia a la tetraciclina (TRG).

1.6 Marco Teórico

1.6.1 Bases teóricas científicas

1.6.1.1 Purines

Son productos de la mezcla de estiércol y la orina, son ricos en nitrógeno y micro elementos, que cumple la misma función que abono foliar. Tiene un alto contenido en aminoácidos, e incrementa la actividad microbiana del suelo. El purín es una mezcla líquida de un 20 a 25 % de estiércol y un 80 y 85% de orinas. Salcedo L (2008)

1.6.1.2 Maceración de purines

Ésta se inicia a partir del momento que iniciamos el preparado. La acción del agua comienza a extraer las sustancias del material vegetal y prácticamente no hay desarrollo bacteriano. El proceso de maceración dura de doce horas hasta tres días, según la temperatura ambiente. El preparado macerado se utiliza principalmente para aplicar el extracto de las hierbas utilizadas, generalmente concentrado, y para combatir plagas de insectos u hongos. Gonzales L. Jimenez Y. y Sarzosa N. (2014)

1.6.1.3 Purín maduro

Después de una a dos semanas las bacterias han transformado prácticamente todo el material disponible. Hay una mínima concentración de sustancias originales, pocos nutrientes (estos también han sido consumidos en su mayor parte por las bacterias) y una altísima concentración de bacterias (de 300 a 2000 millones de bacterias aeróbicas por miligramo de preparado). Si al comienzo podía haber una diversidad de bacterias, en la medida que avanza el proceso de fermentación, una especie va desplazando a las demás. El cultivo de bacterias que se desarrolla depende del tipo de material vegetal que utilizamos inicialmente. El preparado está listo cuando el material original se encuentra

disuelto completamente (quedando solamente los tallos u otras partes duras). También habrá cambiado de color (cada purín adquiere un color característico) y tendrá un olor fuerte (a “podrido”), que se nota más al batir el líquido. Gonzales L. Jimenez Y. y Sarzosa N. (2014)

1.6.1.4 Abono orgánico

Un fertilizante o abono es cualquier tipo de sustancia orgánica o inorgánica que contiene nutrientes en formas asimilables por las plantas, para mantener o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo, mejorar la calidad del sustrato a nivel nutricional, estimular el crecimiento vegetativo de las plantas, etc. Ejemplos naturales o ecológicos de abono se encuentran tanto en el clásico estiércol, mezclado con los desechos de la agricultura como el forraje, o en el guano formado por los excrementos de las aves (por ejemplo de corral, como el de la gallina). De Liñán C. y De Liñán V. (2015).

Los abonos orgánicos son generalmente de origen animal o vegetal. Pueden ser también de síntesis (urea por ejemplo). Los primeros son típicamente desechos industriales tales como desechos de matadero (sangre desecada, cuerno tostado,) desechos de pescado, lodos de depuración de aguas. Son interesantes por su aporte de nitrógeno de descomposición relativamente lenta, y por su acción favorecedora de la multiplicación rápida de la microflora del suelo, pero enriquecen poco el suelo humus estable. Los segundos pueden ser desechos vegetales (residuos verdes), compostados o no. Pero también pueden ser plantas cultivadas especialmente como abonos verdes o preparados con ese fin como las algas. Son también subproductos de la cría de ganado, tales como el estiércol. Su composición química depende del animal de que proceda y de las circunstancias del momento. Además de sustancia orgánica contiene gran cantidad de elementos como nitrógeno, fósforo y calcio, así como un alto porcentaje de oligoelementos. También puede utilizarse el purín pero su preparación adecuada es costosa. De Liñán C. y De Liñán V. (2015).

Tabla 1 Composición de Nutrientes de los abonos de algunos animales

Nutrientes	Equino	Porcinos	Vacuno
	ppm	ppm	ppm
Nitrógeno	0.85	0.91	0.46
Fósforo	0.13	0.29	0.07
Potasio	0.26	0.28	0.48
pH	9.00	8.00	9.00

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 1, los nutrientes más importantes que se encuentran en los purines de estudio, los que aportan muchos componentes biológicos y elementos necesarios para las plantas; pero, en general, no tienen efectos tan rápidos. Sin embargo, a medio plazo, aportan fertilidad al suelo. Pueden ser restos en descomposición, como el estiércol, o sin descomponerse, como la paja o leguminosas cultivadas para después enterrarlas. Además, determinadas sustancias minerales se utilizan para corregir las deficiencias del suelo, tales como la acidez o la carencia de algún oligoelemento. Ramos D. y Terry E. (2014)

1.6.1.5 Tipos de abonos orgánicos

Los abonos orgánicos pueden categorizarse según su fuente principal de nutrientes, los cuales se liberan gracias a la actividad microbiana. Los abonos orgánicos a su vez se subdividen en abonos orgánicos a su vez se subdividen en abonos orgánicos procesados (aplicación directa sin previa descomposición). Mosquera, B. (2010)

1.6.1.6 Estado físico del abono

El estado físico en que se presenta un abono, que puede ser sólido, líquido y gaseoso. Juega un papel importante en las condiciones de utilización y la eficacia del abono, ya que tanto la homogeneidad de la distribución como su integración más o menos completa en el suelo, van a depender de dicha presentación. Reyes I. (2005)

1.6.1.7 Abonos sólidos

Según Ramos F. (2017) Los abonos sólidos son los de mayor uso y suelen presentarse en las siguientes formas:

a. Abonos en polvo, con grado de finura variable según el tipo de fertilizante. Normalmente no son aconsejables, ya que su manejo resulta molesto, entorpecen el funcionamiento de las máquinas y sufren pérdidas en la manipulación Sin embargo, esta forma si puede ser apropiada cuando la solubilidad en agua es escasa o nula, y resulta idónea en los casos en los que el abono se mezcla íntimamente con el suelo.

b. Abonos granulados. Aquellos en los que al menos el 90 % de las partículas presentan un tamaño de 1-4 mm. Esta presentación permite un manejo más cómodo, un mejor funcionamiento de las abonadoras, una dosificación más exacta y una distribución sobre el terreno más uniforme.

c. Abonos cristalinos, Que facilitan la manipulación y distribución.

d. Abonos perlados (prill). Mediante el sistema de pulverización en una torre de gran altura, se obtienen esferas de tamaño muy uniforme, al solidificarse las gotas durante la caída.

e. Abonos macro granulados. Constituidos por grandes gránulos, de 1-3 cm de diámetro e incluso mayores, de liberación progresiva de los elementos nutritivos. Ramos F. (2017)

1.6.1.8 Ventajas del abono orgánico

Constituye un almacén de nutrientes, especialmente de nitrógeno, fósforo, azufre y micronutrientes y los va liberando lentamente, facilitando su aprovechamiento de las plantas. Córdova O. (2016)

Puede retener 10 veces más nutrientes que las arcillas, aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y aumenta el intercambio y las disponibilidades de nutrientes en el suelo para la planta. Facilita la formación de complejos arcillo-húmicos que retienen los macro y micronutrientes evitando su pérdida por lixiviación y de este modo aumenta su disponibilidad. Proporciona energía para microorganismos, lo cual incrementa la actividad biológica del suelo. Favorecen la nueva estructura del suelo, y aumenta la bioestructura; facilitando la labranza y aumentando sus resistencia en la erosión. Protege la superficie del suelo y aumenta la capacidad de infiltración del agua lo cual reduce el riesgo de erosión. Aumenta la capacidad de retención de agua especialmente de suelos arenosos y por lo tanto ayuda a la conservación de la humedad. Córdova O. (2016)

1.6.1.9 Fermentación

Los conocimientos sobre la fermentación fueron atesorados desde la antigüedad por importantes civilizaciones como la egipcia y la asiria que la emplearon para la producción de bebidas alcohólicas; o como la azteca y la china que la utilizaron en la obtención de productos alimenticios. Las técnicas de fermentación se modernizaron a partir de la aparición de técnicas de cultivos puros de células animales y vegetales, al igual de otro tipo de cultivos microbianos. Así también las fermentaciones se utilizaron para la descomposición de material orgánico por la acción de hongos, levaduras y bacterias. En esta etapa cambia la composición química del preparado, ya que las sustancias iniciales se transforman en enzimas, aminoácidos y otros nutrientes para las plantas. En la medida que avanza la fermentación, disminuyen las sustancias originales, aumenta la población de bacterias y de los productos elaborada por éstas. Los preparados en fermentación se utilizan principalmente como abonos líquidos, para regar el suelo entre las plantas o pulverizando, generalmente sin diluir, como abono foliar. Gandarilla O. López M. (2007)

1.6.1.10 Fermentación en estado sólido

La fermentación en estado sólido se define como el crecimiento de microorganismos en medios sólidos, o semi-sólidos, en ausencia de agua libre. Las fermentaciones de estas características son aquellas en las cuales el sustrato no está ni disuelto ni en suspensión en un gran volumen de agua. El objetivo del proceso es el aumento parcial

del contenido proteico de los alimentos, mejorando además las posibilidades de conservación, cambiando las características físicas y químicas, el color, el olor o el sabor de los mismos. (Mudgett,1986)

1.6.1.11 La temperatura de fermentación

El crecimiento y la formación de productos son resultados de complejas reacciones químicas, y al igual que cualquier otra reacción, están afectados por la temperatura, la que ejerce una acción determinante en el conjunto de actividades celulares. La temperatura es la variable cuyo control, en una fermentación sólida, se considera el más crítico debido a la alta concentración de sustrato por unidad de volumen y a la baja conductividad térmica del sistema heterogéneo sólido - líquido - gas, lo que favorece la acumulación del calor metabólico en el sistema y un aumento de la temperatura del cultivo. Núñez S. (2014)

1.6.1.12 El pH en la fermentación

El pH es otra variable que afecta el desarrollo de los procesos de fermentación en estado sólido, al igual que lo hace en los cultivos sumergidos. Sin embargo, en el caso de la fermentación sólida, su control es prácticamente imposible, debido a la ausencia de instrumentos capaces de medir el pH en la capa de líquido que rodea el sólido. Por otra parte, el mezclado de sólidos es un proceso complejo por lo cual se dificulta también el control de esta variable durante el desarrollo de la fermentación. Núñez S. (2014)

1.6.1.13 La aireación en la fermentación

En la mayoría de los procesos de fermentación en estado sólido participan microorganismos aerobios, y resulta la aireación un factor fundamental para el desarrollo del proceso. La aireación se utiliza para suministrar el oxígeno necesario, para extraer el CO₂ formado, así como para extraer el calor metabólico evolucionado, de manera que el flujo óptimo de aire debe tomar en consideración la naturaleza del microorganismo utilizado, los requerimientos de oxígeno para el crecimiento y/o la formación del producto deseado, la velocidad de generación de calor metabólico, la concentración crítica del dióxido

de carbono y otros metabolitos volátiles, el espesor de la masa de sólido, entre otros. La aireación en las FES es más fácil que las fermentaciones sumergidas, porque la superficie de contacto es mayor entre el aire y el líquido que está absorbido en las partículas. Núñez S. (2014)

1.6.1.14 La humedad y la actividad del agua

El por ciento de humedad en la fermentación sólida puede variar entre 30 y 80%, en dependencia del sólido utilizado, el microorganismo y el objetivo del proceso (formación de producto, crecimiento de la biomasa). Aunque el por ciento de humedad es una de las variables que comúnmente se optimiza en los sistemas de fermentación sólida, hoy se reconoce que no es solo la cantidad de agua presente en el sistema la que ejerce su influencia sobre la eficiencia del proceso, sino el carácter de las interacciones entre el agua y el medio sólido. Por eso no es contradictorio observar que un mismo microorganismo se desarrolle plenamente en dos sustratos diferentes con por cientos de humedad bastante disímiles. La actividad del agua (H_2O) es el parámetro que se ha utilizado para caracterizar cuantitativamente esas interacciones físicas y/o químicas del agua en el sistema. Núñez S. (2014)

1.6.1.15 El tamaño de partícula

El tamaño de partícula está muy ligado a la transferencia de masa en el sistema de fermentación en estado sólido, y para considerar este fenómeno se ha propuesto dividir el análisis en la transferencia de masa intrapartícula y la interpartícula. En el primer caso, influye más el tamaño y la forma del poro de la partícula, así como la porosidad, aunque también influye el tamaño de la partícula. En el segundo caso, el espacio interpartícula es lo más importante y es afectado por el tamaño de la partícula, su forma y la humedad. Otro aspecto que influye en la transferencia de masa durante el proceso, es el cambio de estructura de las partículas de sustrato resultado de la acción de los microorganismos. Núñez S. (2014)

1.6.2 Definición de términos básicos

1.6.2.1 Optimización

Es la selección del mejor elemento (con respecto a algún criterio) de un conjunto de elementos disponibles. DeRousseau, Kasprzyk y Srubar (2018)

1.6.2.2 Mezcla

Una mezcla es un material formado por dos o más componentes unidos, pero no combinados químicamente. En una mezcla no ocurre una reacción química y cada uno de sus componentes mantiene su identidad y propiedades químicas.¹ No obstante, algunas mezclas pueden ser reactivas. Saldaña, J.; Torres, C.; Bernal, J. (2015)

1.6.2.3 Diseño de mezclas

Permiten conocer cuál es la mejor combinación en las proporciones de los componentes de una mezcla que otorga el valor mínimo o máximo de una determinada respuesta. Saldaña, J.; Torres, C.; Bernal, J. (2015)

1.6.2.4 Homogenización

El término homogenización, hace referencia a un proceso por el que se hace que una mezcla presente las mismas propiedades en toda la sustancia, porque así lo muestra la regla general en la tecnología de los alimentos, y se entiende que se realiza una mejora en calidad final del producto. Barceló F. (2003)

1.6.2.5 Purín

Los purines son cualquiera de los residuos de origen orgánico, como aguas residuales y restos de vegetales, cosechas, semillas, concentraciones de animales

muertos, pesca, comida, excrementos sólidos o líquidos, o mezcla de ellos, con capacidad de fermentar o fermentados que tienen impacto medioambiental. Suarez J. (2012)

1.6.2.6 Fertilizantes o abono

Un fertilizante es un tipo de sustancia o denominados nutrientes, en formas químicas saludables y asimilables por las raíces de las plantas, para mantener y/o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo y mejora la fertilidad del suelo con el propósito de obtener altos rendimientos agrícolas. Suarez J. (2012)

1.6.2.7 Compost

Un compost es una mezcla de materiales orgánicos (estiércoles de animales, residuos de cosecha y residuos de basuras domésticas), de tal manera que fomenten su degradación y descomposición. El producto final se usa para fertilizar y enriquecer la tierra de los cultivos. Suarez J. (2012)

1.6.2.8 Bokashi

La palabra “BoKashi” es un término del idioma japonés que significa abono fermentado. La preparación de este abono se debe realizar en un sitio protegido de los rayos solares, lluvias y viento, ya que incide en el proceso de fermentación y puede generar la pérdida de nutrientes; el piso debe ser a nivel y, en lo posible, de cemento o tierra firme. Suarez J. (2012)

1.6.2.9 Fermentación

La fermentación es un proceso que realizan muchos microorganismos, efectuando reacciones sobre algunos compuestos orgánicos y liberando energía. Hay muchos tipos diferentes de fermentación, pero en condiciones fermentativas solamente se efectúa una oxidación parcial de los átomos de carbono del compuesto orgánico y, por consiguiente, sólo una pequeña cantidad de la energía potencial disponible se libera. Gandarilla O. López M. (2007)

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Tipo y diseño de la investigación

2.1.1 Tipo de investigación

La presente propuesta de proyecto se ubica en una investigación de tipo descriptiva, ya que señalaremos las particularidades que presenta la optimización de la mezcla y homogenización de purines de ganado vacuno (*Bos primigenius Taurus*), equino (*Equus ferus caballus*) y porcino (*Sus scrofa domestica*), para la obtención de abonos orgánicos.

2.1.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es Experimental porque se tiene el manejo de la variable independiente, ya que puede manipularla de manera intencional.

En laboratorio, se realizará pruebas con la presencia de la variable independiente; que será en esta investigación, administrar las proporciones en la mezcla de purines, o administrar más de una variable independiente, para luego medir su efecto en la variable dependiente, como es la composición de los abonos orgánicos obtenidos.

2.2 Población y muestra

2.2.1 Población

El estiércol a emplear en la presente investigación provino de los diferentes establos y granjas de la provincia de Chiclayo del departamento de Lambayeque.

2.2.2 Muestra

Para el cálculo de las muestras, se inició con el número de los ensayos experimentales los que nos permitió saber cuánto de purines se emplearía. Pata la presente

investigación se trabajó con 10 kilogramos de estiércol de vacuno, 10 kilogramos de estiércol de equino y 10 kilogramos de porcinos, siendo recolectados y previamente seleccionados de acuerdo a sus características físicas.

2.3 Hipótesis

Hi: Con la optimización de 3 componentes en la mezcla de purines de: ganado vacuno, equino y porcino, y su homogenización, obtendremos una composición del abono orgánico apto para el uso agrícola según Norma Técnica Peruana.

Ho: Con la optimización de 3 componentes en la mezcla de purines de: ganado vacuno, equino y porcino, y su homogenización, no obtendremos una composición del abono orgánico apto para el uso agrícola según Norma Técnica Peruana.

2.4 Variables

2.4.1 Variables Independientes

a. Mezcla: Proporción de purines

- Purín de ganado vacuno seco (1-100 %)
- Purín de ganado equino seco (1-100 %)
- Purín de ganado porcino seco (1-100 %)

2.4.2 Variables Dependientes

b. Caracterización de los purines

- Determinación del pH
- Conductividad eléctrica (Cec) (mmhos/Cm)
- Materia Orgánica (MO) (%).
- Determinación del Nitrógeno Orgánico (N) (%).
- Determinación de Fósforo total (óxido de difósforo = P₂O) (%).

- Determinación de Potasio total (óxido de potasio = K_2O) (%).
- Determinar los rangos de Calcio (óxido de calcio = CaO) (%).

c. Evaluación de la Homogeneidad de las mezclas

- Color de la mezcla: Luminosidad (L^*)

d. Caracterización de las mezclas

- Determinación del pH
- Conductividad eléctrica (Cec) (mmhos/Cm)
- Materia Orgánica (MO) (%).
- Determinación del Nitrógeno Orgánico (N) (%).
- Determinación de Fósforo total (óxido de difósforo = P_2O) (%).
- Determinación de Potasio total (óxido de potasio = K_2O) (%).
- Determinar los rangos de Calcio (óxido de calcio = CaO) (%).

e. Optimización de la mezcla:

- Proporción de purín de ganado vacuno (%)
- Proporción de purín de ganado equino (%)
- Proporción de purín de ganado porcino (%)
- Conveniencia de la mezcla (Adimensional)

2.5 Operacionalización de variables

Tabla 2. Tabla de Variables Independientes

Variables Independientes	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
Mezcla: Proporción de purines	Proporción de purín de ganado vacuno	1 a 100%	Métodos gravimétricos
	Proporción de purín de ganado equino	1 a 100%	Métodos gravimétricos
	Proporción de purín de ganado porcino	1 a 100%	Métodos gravimétricos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Tabla de la Variable Dependiente: Características de los purines

Variables Dependientes	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
Características de los purines	pH	[H] ⁺	NOM-021- REC NAT-2000 Método: AS-02
	Conductividad eléctrica Cec	mmhos/Cm	NOM-021- REC NAT-2000 Método: AS-18
	Materia Orgánica	% MO	NOM-021- REC NAT-2000 Método: AS-07

Nitrógeno Orgánico	% NO	Método kjeldahl
Fósforo total (óxido de difósforo = P ₂ O)	% P ₂ O	Análisis de Fosforo <i>Método Bray y Kurtz</i>
Potasio total (óxido de potasio = K ₂ O)	% K ₂ O	NOM-021- REC NAT-2000 Método: AS-13
Calcio (óxido de calcio = CaO)	% CaO	NOM-021- REC NAT-2000 Método: AS-13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Tabla de la Variable Dependiente: Evaluación de la Homogenización

Variab Dependientes	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
Evaluación de la Homogenización	Color	Luminosidad	Técnica colorimétrica CIELab

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Tabla de la Variable Dependiente: Características de la mezcla

Variab Dependientes	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
Características de la mezcla	pH	[H] ⁺	NOM-021- REC NAT-2000 Método: AS-02
	Conductividad eléctrica Cec	mmhos/Cm	NOM-021- REC NAT-2000 Método: AS-18
	Materia Orgánica	% MO	NOM-021-

			REC NAT-2000
			Método: AS-07
Nitrógeno Orgánico	% NO		Método kjeldahl
Fósforo total (óxido de difósforo = P ₂ O)	% P ₂ O		Análisis de Fosforo <i>Método Bray y Kurtz</i>
Potasio total (óxido de potasio = K ₂ O)	% K ₂ O		NOM-021- REC NAT-2000 Método: AS-13
Calcio (óxido de calcio = CaO)	% CaO		NOM-021- REC NAT-2000 Método: AS-13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Tabla de la Variable Dependiente: Optimización de la Mezcla

Variables Dependientes	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
Optimización de la Mezcla	Proporción de purín de ganado vacuno	%	
	Proporción de purín de ganado equino	%	Optimización
	Proporción de purín de ganado porcino	%	Design Expert
	Conveniencia de la mezcla	Adimensional	

Fuente: Elaboración propia

III. RESULTADOS

3.1 Abordaje metodológico, técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.1.1 Métodos de investigación

Se utilizó métodos de estudio experimentales de mezclas con tres variables independientes; para determinar la mezcla más óptima donde será pertinente, para ello, el uso de un diseño D-optimal, con un modelo cuadrático.

Tabla 7 Tabla de Mezclas de los tres purines

N° Mezclas	Purín de Equino %	Purín de Porcino %	Purín de Vacuno %
1	100.00	0.00	0.00
2	66.67	0.00	33.33
3	33.33	0.00	66.67
4	66.67	33.33	0.00
5	16.67	66.67	16.67
6	0.00	33.33	66.67
7	33.33	66.67	0.00
8	0.00	66.67	33.33
9	16.67	16.67	66.67
10	0.00	0.00	100.00
11	33.33	33.33	33.33
12	66.67	16.67	16.67
13	0.00	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4, se observa 13 experimentos, de los cuales se hicieron tres repeticiones para cada mezcla.

3.1.2 Técnicas de recolección de datos

Se determinó según la Norma Técnica Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Para el caso de las variables dependientes, se determinaron mediante las siguientes técnicas de recolección:

- Determinación del pH ($[H]^+$): NOM-021-RECNAT-2000 Método: AS-02
- Conductividad eléctrica (Cec) (mmhos/Cm): NOM-021-RECNAT-2000 Método: AS-18
- Materia Orgánica (MO) (%):NOM-021-RECNAT-2000 Método: AS-07
- Determinación del Nitrógeno Orgánico (N) (%): Método kjeldahl
- Determinación de Fósforo total (óxido de difósforo = P_2O) (%): Análisis de Fosforo *Método Bray y Kurtz*
- Determinación de Potasio total (óxido de potasio = K_2O) (%):NOM-021-RECNAT-2000 Método: AS-13
- Determinar los rangos de Calcio (óxido de calcio = CaO) (%):NOM-021-RECNAT-2000 Método: AS-13

3.1.3 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados en esta investigación, en primer lugar por ser muy versátil su uso y adecuado, son las hojas cálculo para trabajar de forma ordenada en la recopilación de datos obtenidos de las técnicas de recolección. Los formatos elaborados nos permitirán organizar las variables independientes y sus respuestas como variables dependientes.

En segundo lugar otro instrumento importante de recolección de datos, es el software DESING EXPERT 7.0, la cual es una herramienta estadística muy útil para el procesamiento de datos y obtener las respuestas según los modelos estadísticos elegidos.

Matriz de recolección de datos

Std	Run	Block	Component 1 A.Equino %	Component 2 B.Porcino %	Component 3 C.Vacuño %	Response 1 pH	Response 2 Cec mmhoas/Cm	Response 3 Materia Orgánica %	Response 4 Nitrógeno Orgánico %	Response 5 Fósforo (P2O) %	Response 6 Potasio (K2O) %	Response 7 Calcio (Cao) %
8	1	Block 1	100.000	0.000	0.000							
	2	Block 1	66.667	0.000	33.333							
	3	Block 1	33.333	0.000	66.667							
	4	Block 1	66.667	33.333	0.000							
	5	Block 1	16.667	66.667	16.667							
	6	Block 1	0.000	33.333	66.667							
	7	Block 1	33.333	66.667	0.000							
	8	Block 1	0.000	66.667	33.333							
	9	Block 1	16.667	16.667	66.667							
	10	Block 1	0.000	0.000	100.000							
	11	Block 1	33.333	33.333	33.333							
	12	Block 1	66.667	16.667	16.667							
	13	Block 1	0.000	100.000	0.000							

Figura 1. Matriz de recolección de datos para ser procesado con del Design Expert 7.
Fuente: Elaboración Propia

3.2 Procedimiento para la recolección de datos

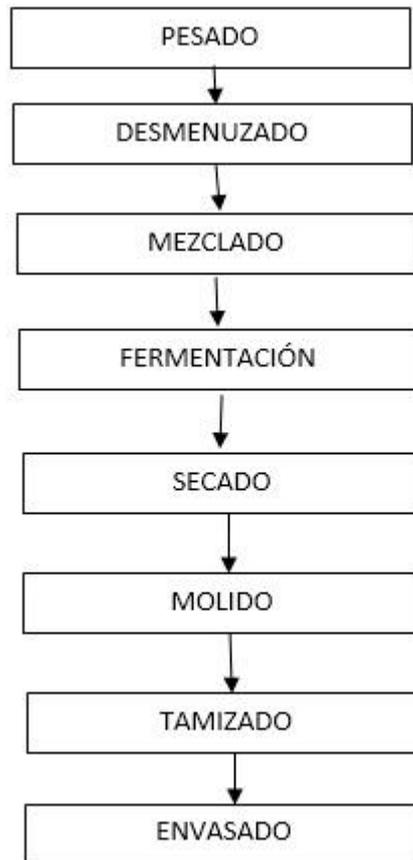


Figura 2. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de abono orgánico
Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Recepción de la Materia Prima

En esta operación se recibe identificando la procedencia de la materia prima en bolsas de polietileno de 10 kg. de alta densidad .

3.2.2 Pesado

En esta operación se pesan los purines de ganado vacuno (*Bos primigenius Taurus*), equino (*Equus ferus caballus*) y porcino (*Sus scrofa domestica*), según la mezclas experimentales, obtenidas del diseño estadístico.

3.2.3 Desmenuzado

En esta operación se homogenizan los purines a un determinado tamaño de partícula, utilizando un tamiz de diámetro 0.5 mm, para luego llevarlas a la operación de mezclado.

3.2.4 Mezclado

En esta operación se mezclan los purines ya homogenizados en un mezclador tipo V, en un tiempo de 15 minutos por mezcla, y de acuerdo a las proporciones obtenidas, de ganado vacuno (*Bos primigenius Taurus*), equino (*Equus ferus caballus*) y porcino (*Sus scrofa domestica*)

3.2.5 Fermentación

En esta operación se realiza en un biodigestor anaeróbico, para la degradación de los purines, controlado a una temperatura de 55 ± 5 °C y un tiempo de 21 días.

3.2.6 Secado

En esta operación se seca la mezcla obtenida de la fermentación, a temperatura de 45°C por 24 horas, en secador de aire forzado.

3.2.7 Molido

En esta operación reduce el tamaño de partícula en un molino de disco, a una granulometría comercial de 0.5 mm y homogénea.

3.2.8 Tamizado

En esta operación se usa tamices de 0.5 mm de diámetro, para el tamaño uniforme de las partículas del abono.

3.2.9 Envasado

En esta operación se utilizó bolsas de polietileno de alta densidad, de una capacidad de 400 gramos, haciendo un total de trece muestras y por triplicado.

3.3 Análisis estadístico

La existencia de una gran variedad de métodos de diseño de experimentos genera la necesidad de un exhaustivo análisis previo con el fin de seleccionar el método más conveniente, en función del objetivo perseguido. Luego, la elección del diseño de experimentos se define con la cantidad de factores involucrados en el proceso.

Para el análisis estadístico se usó un diseño de mezclas, obtenido a través del software Design Expert 7, con un diseño inicial de malla simplex, modelo cubico. Como se muestra en la figura con tres componentes: X_1 , X_2 y X_3 .

3.3.1 Diseño Simplex

Considerando que la mezcla está formada por tres componentes donde: X_1 , X_2 y X_3 representan el porcentaje de cada una de ellas, la suma de las tres fracciones debe ser igual a 1 (100%), en consecuencia, deben cumplir la siguiente condición:

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1 \quad \text{(Ecuación 1)}$$

La región experimental en este caso queda definida por un triángulo equilátero (Simplex) como muestra la Figura 4, donde los ejes de cada componente X_i se extienden desde su correspondiente vértice ($X_i = 100$) al punto medio del lado opuesto ($X_i = 0$). Cada vértice representa el componente puro (100%).

Diseño de mezcla de tres componentes

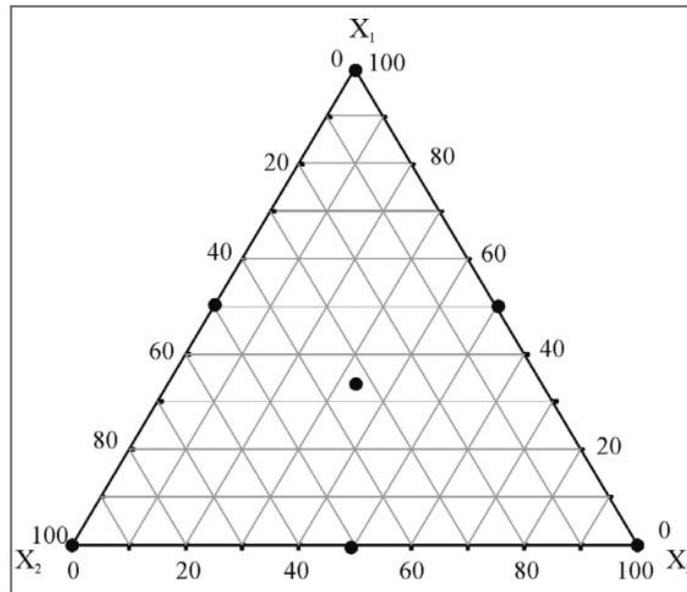


Figura 3. Puntos experimentales, para el estudio de las propiedades sobre la totalidad de una región de tres componentes.

Fuente: Menéndez, Bonavetti & Irassar (2008)

El punto central del área representada se denomina centroide y se caracteriza por las coordenadas $X_1 = X_2 = X_3 = 33,33\%$. Consecuentemente un buen diseño de experimento para el estudio de las propiedades sobre la totalidad de una región de tres componentes, sería como la presentada por los 7 puntos en la Figura 4, denominado Diseño Centroide Simplex. Luego, las propiedades de interés se evalúan para cada mezcla del diseño y se modelan como función de sus componentes mediante la ecuación 2.

$$Y = aX_1 + bX_2 + cX_3 + dX_1 X_2 + eX_1 X_3 + fX_2 X_3 + gX_1 X_2 X_3 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde, X_1 , X_2 y X_3 son las proporciones de los componentes de la mezcla en cada experimento del diseño, a, \dots, g representan los coeficientes e Y es la respuesta o la propiedad.

3.4 Principios éticos

3.4.1 Principios éticos generales

La presente investigación conlleva una relación entre los seres humanos, la producción y el medio ambiente, de ellos suelen presentarse conflictos debido a dilemas éticos de difícil solución, bien sea por una deficiente comprensión de lo que significa la coherencia entre ciencia y conciencia o bien por querer abordar los problemas éticos de las investigaciones sólo desde categorías lógicas abstractas; se hace necesario tener criterios establecidos sobre unos principios éticos fundamentales que sirvan de guía para la preparación concienzuda de protocolos de investigación científica y la ejecución coherente con ellos hasta el final. Dichos principios no se constituyen de ninguna manera en reglas rígidas para la solución de problemas concretos relacionados con la investigación. Nos sirven, sin embargo, como marco de referencia para la búsqueda de soluciones coherentes y fundamentales racionalmente para problemas específicos de carácter ético. (Osorio, 2000)

3.4.2 Principio de totalidad/integridad

Totalidad, del latín totum, universalidad y calidad de total que lo comprende todo en su especie. Es el conjunto de todo lo que conforma una especie. También equivale a summa que significa perfección, complemento. En griego holos = totalidad, es captar el todo en las partes y las partes en el todo de tal manera que nos encontremos siempre con una síntesis que ordena, organiza, regula y hace que las partes logren su meta en un todo y que cada todo tenga la suya en otra totalidad siempre mayor. Integridad, del latín integer, que significa unidad intacta y también totalidad. La integridad de la persona incluye la totalidad fisiológica, psicológica, social, ecológica, axiológica y espiritual. De ahí que, la totalidad se asimile al concepto de integridad. La persona humana es un ser total (totum) e integral (integer) conformado por su yo y sus circunstancias de espacio y tiempo en relación con otras personas con quienes forma comunidad en interdependencia con un ecosistema. Ningún elemento es desproporcionado en esta interrelación. Cada uno promueve el bien que el conjunto exige; y cada uno cede ante el otro por el bien del conjunto. La integridad/totalidad, en este sentido, es sinónimo de salud. (Osorio, 2000)

3.4.3 Principio de respeto al ecosistema

La comprensión de este principio exige algunos conceptos previos a saber: Ecología, del griego oikos: casa, y logos: tratado, estudio; es la verdadera ciencia casera, o sea la ciencia de todos, la de nuestra casa, a la cual debemos cuidar todos. A modo de definición se dice que Ecología "es el estudio de la estructura y funcionamiento de la naturaleza, incluyendo en ella a todos los seres vivos y al ambiente en que viven y sus interrelaciones; vale decir, el estudio de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas que conforman la naturaleza". (Osorio, 2000)

"El ecosistema, es la unidad funcional básica de la ecología que incluye a la vez los siguientes componentes: todos los seres vivos (vegetales, animales, microorganismos) en equilibrio entre ellos; el ambiente en que viven todos estos seres vivos; las relaciones entre dichos seres vivos y el ambiente; el flujo de energía que permite al conjunto funcionar como un sistema abierto e interrelacionado con otros ecosistemas". Los ecosistemas evolucionan natural y espontáneamente, siempre que no se interpongan factores externos artificiales, hacia comunidades vegetales y animales equilibradas en su estructura y funciones. (Osorio, 2000)

3.5 Criterios de Rigor Científico

Los criterios iniciales de rigor científico se ajustaron a medida que se revisaron los estudios. Los criterios finales para un diseño de investigación aceptable fueron:

- Se incluyó un grupo de comparación.
- Se utilizó un diseño previo.
- Se incorporó un método para establecer la equivalencia del programa y los grupos de control.
- Se reportaron pruebas estadísticas de significación.

IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Resultados

4.1.1 Caracterización de los purines

En la tabla 8, se describe las características fisicoquímicas de los purines utilizados en la investigación.

Tabla 8. Características fisicoquímicas de los purines

Características	Purín de ganado Vacuno	Purín de ganado Equino	Purín de ganado Porcino
pH	7.5±0.2	7.9±0.3	8.9±0.4
Conductividad eléctrica (Cec) (mmhos/Cm)	14.71±0.34	19.84±0.25	10.57±0.15
Materia Orgánica (MO) (%)	56.73±0.23	43.45±0.12	65.79±0.23
Nitrógeno Orgánico (N) (%)	1.75±0.26	1.45±0.44	1.57±0.25
Fósforo Total (óxido de difósforo = P ₂ O) (%)	4.37±0.26	2.45±0.36	0.43±0.17
Potasio Total (óxido de potasio = K ₂ O) (%)	0.97±0.35	0.22±0.37	1.71±0.29
Calcio (óxido de calcio = CaO) (%)	1.92±0.36	1.34±0.47	0.82±0.37

Fuente: Elaboración propia

Los resultado de la tabla 8, observamos que tiene una desviación estándar, debido a que cada análisis de hicieron con tres replicas.

4.1.2 Evaluación de la Homogeneidad de las mezclas

Tabla 9. Color de la mezcla: Luminosidad (L^*) en la etapa de la homogenización

N° de Mezclas	Purín de	Purín de	Purín de	L^*_1 0 min	L^*_2 2 min	L^*_3 4 min	L^*_4 6 min	L^*_5 8 min	L^*_6 10 min	L^*_7 12 min
	Equino %	Porcino %	Vacuno %							
1	100.00	0.00	0.00	30.45±12.91	29.29±9.57	28.29±6.28	26.26±5.21	24.73±2.91	23.65±2.12	22.21±0.71
2	66.67	0.00	33.33	33.95±10.63	30.29±9.31	29.29±6.18	28.26±4.99	26.73±3.13	23.85±1.36	21.46±0.22
3	33.33	0.00	66.67	31.87±11.16	29.59±8.27	27.23±7.38	26.16±5.51	25.23±2.36	23.15±2.52	22.64±0.49
4	66.67	33.33	0.00	32.95±12.48	31.25±8.43	27.29±6.58	25.26±4.78	24.73±3.69	22.65±1.74	21.72±0.58
5	16.67	66.67	16.67	34.95±12.63	33.24±8.47	29.29±7.58	28.26±4.52	26.73±2.44	24.15±2.72	23.88±0.76
6	0.00	33.33	66.67	31.95±11.75	30.28±9.37	28.29±7.78	27.22±5.43	25.73±3.75	23.25±1.92	21.43±0.77
7	33.33	66.67	0.00	32.95±13.37	31.29±8.48	27.29±6.18	26.37±4.88	25.73±2.22	24.85±2.14	22.52±0.96
8	0.00	66.67	33.33	32.95±12.59	31.23±9.49	28.29±7.38	27.26±5.23	27.73±3.56	25.65±1.82	23.15±0.76
9	16.67	16.67	66.67	31.95±11.63	29.69±9.43	27.29±7.58	26.26±4.95	26.73±2.53	25.65±2.72	22.63±0.85
10	0.00	0.00	100.00	30.95±12.75	29.26±9.47	26.29±6.18	25.26±4.16	25.73±3.23	23.65±1.62	22.36±0.66
11	33.33	33.33	33.33	36.95±14.82	33.35±9.45	31.29±7.38	29.26±5.37	28.73±3.64	26.65±1.43	24.68±0.47
12	66.67	16.67	16.67	34.95±13.27	32.22±8.44	31.29±6.28	28.26±5.63	26.73±2.15	24.65±1.72	23.71±0.33
13	0.00	100.00	0.00	32.95±13.11	31.21±8.67	30.29±7.28	29.26±4.74	27.73±3.92	26.65±2.22	23.95±0.72

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Caracterización de las mezclas

Según nuestro instrumento de recolección de datos, una hoja de análisis del software Desing Expert 7, nos muestra las trece (13) mezclas, de las cuales se llenó las celdas de las respuestas: pH, conductividad eléctrica (Cec), Materia Orgánica (MO), Nitrógeno Orgánico (N), Fósforo total (P₂O), Potasio total (K₂O) y Calcio (CaO) de las diferentes mezclas. Como se ve en la Figura 6.

Matriz de resultados del diseño de mezclas

Std	Run	Block	Component 1 A. Equino %	Component 2 B. Porcino %	Component 3 C. Vacuno %	Response 1 pH	Response 2 Cec mmhos/Cm	Response 3 Materia Orgánica %	Response 4 Nitrógeno Orgánico %	Response 5 Fósforo (P2O) %	Response 6 Potasio (K2O) %	Response 7 Calcio (CaO) %
8	1	Block 1	100.000	0.000	0.000	7.7	4.96	44.83	1.46	0.4	0.2	0.86
1	2	Block 1	66.667	0.000	33.333	8.2	10.15	58.9	1.7	0.53	0.32	0.92
3	3	Block 1	33.333	0.000	66.667	8.4	11.84	50.06	1.58	0.72	0.45	0.9
11	4	Block 1	66.667	33.333	0.000	7.75	5.72	55	1.66	1.37	0.84	1.08
13	5	Block 1	16.667	66.667	16.667	7.7	5.26	49.56	1.55	3.2	1.47	1.4
7	6	Block 1	0.000	33.333	66.667	8.2	14.65	59.3	1.7	1.92	1.33	1.07
9	7	Block 1	33.333	66.667	0.000	7.65	8.7	50.46	1.47	2.7	1.47	1.2
12	8	Block 1	0.000	66.667	33.333	7.8	6.43	54.9	1.63	2.59	1.67	1.25
10	9	Block 1	16.667	16.667	66.667	8.4	12.4	55.6	1.84	1.58	1.1	1.05
5	10	Block 1	0.000	0.000	100.000	8.85	19.2	60.2	1.75	0.73	0.45	1.38
6	11	Block 1	33.333	33.333	33.333	8.1	9.1	56.6	1.68	1.7	0.92	1.29
2	12	Block 1	66.667	16.667	16.667	8	8.3	58	1.74	1.43	0.81	1.4
4	13	Block 1	0.000	100.000	0.000	7.8	7.07	52.68	1.66	4.28	1.68	1.86

Figura 4. Matriz de resultados obtenidos a partir del diseño de mezclas

Fuente: Elaboración propia

Nota: Elaborado con el software Desing Expert 7.0.0.

Tabla 10. Matriz de resultados obtenidos a partir del diseño de mezclas

N° de Mezclas	Purin de Equino %	Purin de Porcino %	Purin de Vacuno %	pH	Cec (mmhos/Cm)	Materia Orgánica (%)	Nitrógeno Orgánico (%)	Fosforo (P2O)	Potasio (K2O)	Calcio (CaO)
1	100.00	0.00	0.00	7.70±0.05	4.96±0.11	44.83±0.05	1.46±0.02	0.40±0.09	0.20±0.09	0.86±0.12
2	66.67	0.00	33.33	8.20±0.13	10.15±0.07	58.90±0.03	1.70±0.03	0.53±0.09	0.32±0.07	0.92±0.15
3	33.33	0.00	66.67	8.40±0.02	11.84±0.13	50.06±0.04	1.58±0.03	0.72±0.12	0.45±0.06	0.90±0.09
4	66.67	33.33	0.00	7.75±0.08	5.72±0.13	55.00±0.06	1.66±0.07	1.37±0.09	0.84±0.03	1.08±0.08
5	16.67	66.67	16.67	7.70±0.11	5.26±0.15	49.56±0.02	1.55±0.06	3.20±0.10	1.47±0.04	1.40±0.05
6	0.00	33.33	66.67	8.20±0.03	14.65±0.16	59.30±0.08	1.70±0.05	1.92±0.09	1.33±0.02	1.07±0.07
7	33.33	66.67	0.00	7.65±0.03	8.70±0.17	50.46±0.02	1.47±0.04	2.70±0.05	1.47±0.04	1.20±0.11
8	0.00	66.67	33.33	7.80±0.15	6.43±0.18	54.90±0.04	1.63±0.05	2.59±0.12	1.67±0.12	1.25±0.13
9	16.67	16.67	66.67	8.40±0.01	12.40±0.08	55.60±0.05	1.64±0.08	1.58±0.14	1.10±0.18	1.05±0.09
10	0.00	0.00	100.00	8.85±0.16	19.20±0.07	60.20±0.07	1.75±0.03	0.73±0.16	0.45±0.04	1.38±0.12
11	33.33	33.33	33.33	8.10±0.04	9.10±0.07	56.60±0.04	1.68±0.04	1.70±0.09	0.92±0.02	1.29±0.14
12	66.67	16.67	16.67	8.00±0.19	8.30±0.05	58.00±0.05	1.74±0.03	1.43±0.11	0.81±0.04	1.40±0.11
13	0.00	100.00	0.00	7.80±0.02	7.07±0.04	52.68±0.09	1.66±0.03	4.28±0.013	1.68±0.13	1.86±0.07

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Analizado con la ayuda del software Desing Expert 7.0.0.

4.1.4 Variable Respuesta pH

En la Tabla 11 siguiente se puede apreciar el Análisis de varianza para la variable respuesta pH, para un modelo estadístico de primer orden, el cual es significativo. El modelo con un F - valor de 46.06, implica que el modelo es significativo. Solo hay una posibilidad 0,01 % de que un " modelo F - Valor " sea alto y podría ocurrir debido al ruido. Los valores de Prob > F menos de 0,0500 indican que las condiciones del modelo son significativas. En este caso los componentes de la mezcla lineal, son condiciones del modelo significativas. Por otro lado valores superiores a 0.1000 indican que las condiciones del modelo no son significativas.

Tabla 11. Análisis de varianza para la variable respuesta pH

Source	Suma de cuadrados	df	Promedio cuadrado	F Value	p-value Prob > F	Significancia
Model	1.40	2	0.70	46.06	< 0.0001	significativo
Linear Mixture	1.40	2	0.70	46.06	< 0.0001	
Residual	0.15	10	0.015			
Cor Total	1.55	12				

Fuente: Elaboración propia

Nota: Elaborado con el software Desing Expert 7.0.0.

El valor R^2 Predicho de 0.7846 está altamente relacionado con el valor R^2 Ajustado de 0,8825. El valor Precisión Adecuada, mide la relación señal a ruido. Una mayor proporción de 4 es deseable. La proporción de 19.221 indica una señal adecuada. Este modelo se puede utilizar para navegar por el espacio del diseño.

En la Figura 7 se observa el gráfico de contorno para la variable respuesta pH, que va desde 7.65 a 8.85 de pH, donde las variables independientes es la proporción de cada muestra (Muestra de equino A, Muestra de porcino B y Muestra de vacuno C). Se observa que a una mayor concentración de abono de vacuno, superior a 90 %, con 5 % de abono equino y 5 % de abono porcino, podemos decir que el pH tiende a aumentar hasta un valor mayor a 8.5.

Tabla 12. Coeficientes estadísticos para la variable respuesta pH

Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor
Desv. Std.	0.12	R ²	0.9021
Promedio	8.04	R ² Ajustado	0.8825
Coef. de Var. (%)	1.53	R ² Predicho	0.7846
PRESS	0.33	Precisión Adecuada	19.221

Fuente: Elaboración propia

Nota: Elaborado con el software Desing Expert 7.0.0.

La ecuación final en términos de sus componentes reales:

$$pH = + 7.80753 * \text{Equino} + 7.59013 * \text{Porcino} + 0.087293 * \text{Vacuno}$$

Gráfico de contorno para el pH

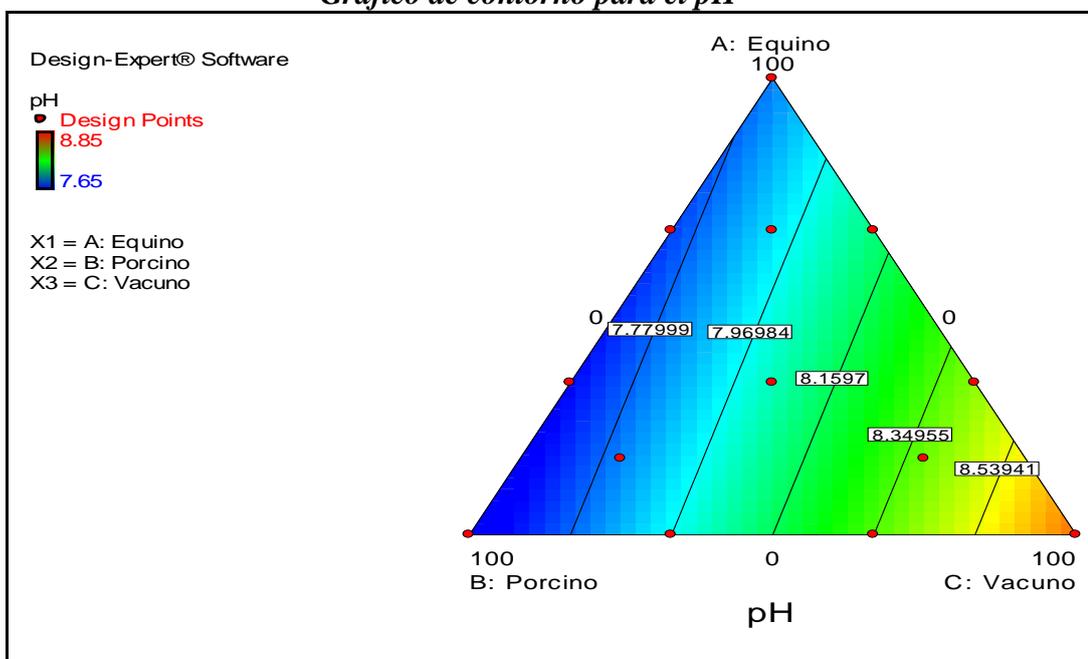


Figura 5. Gráfico de contorno para la variable respuesta pH

Fuente: Elaboración propia

Nota: Elaborado con el software Desing Expert 7.0.0.

En la Figura 7 siguiente se observa el gráfico de superficie para la variable respuesta pH, donde podemos apreciar el comportamiento del pH, al mezclar los tres componentes.

Gráfico de superficie para la variable respuesta pH

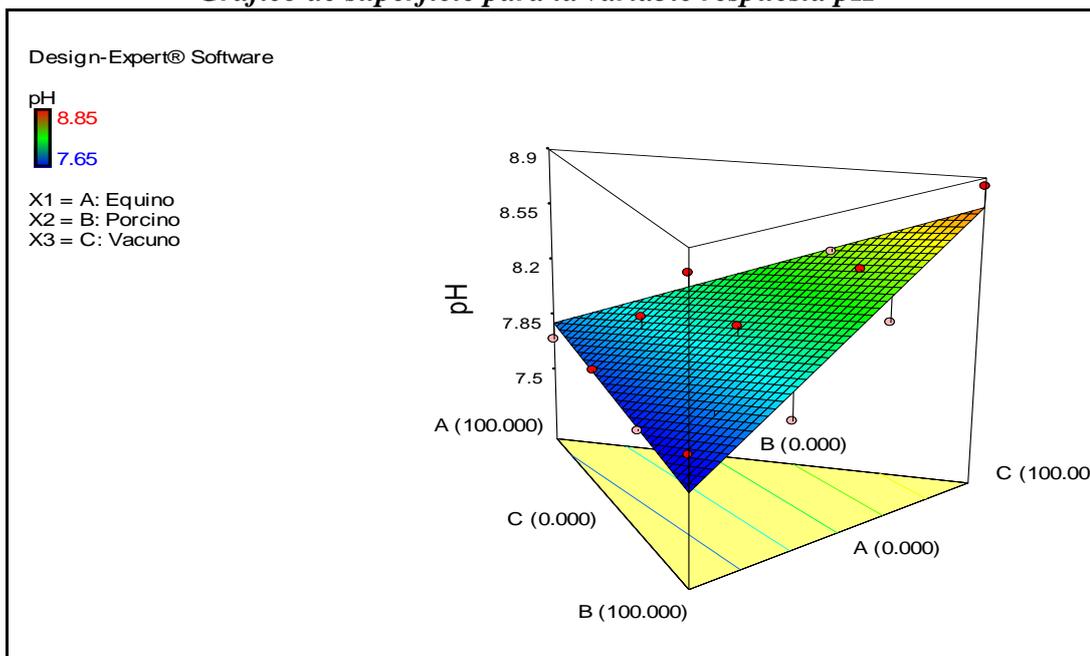


Figura 6. Gráfico de superficie para la variable respuesta pH

Fuente: Elaboración propia

Nota: Elaborado con el software Desing Expert 7.0.0.

4.1.5 Variable Respuesta Cec (mmhos/Cm)

En la Tabla 13, siguiente se puede apreciar el Análisis de varianza para la variable respuesta Cec (mmhos/Cm), para un modelo estadístico de primer orden, el cual es significativo. El modelo con un F - valor de 23.09, implica que el modelo es significativo. Solo hay una posibilidad 0,02 % de que un " modelo F - Valor " este grande podría ocurrir debido al ruido. Los valores de Prob > F menos de 0,0500 indican que las condiciones del modelo son significativas. En este caso los componentes de la mezcla lineal, son condiciones del modelo significativos. Además los valores superiores a 0.1000 indican que las condiciones del modelo no son significativas.

Tabla 13. Análisis de varianza para la variable Cec (mmhos/Cm)

Source	Suma de cuadrados	df	Promedio cuadrado	F Value	p-value Prob > F	Significancia
Model	168.81	2	84.40	23.09	0.0002	significativo
Linear Mixture	168.81	2	84.40	23.09	0.0002	
Residual	36.55	10	3.66			
Cor Total	205.36	12				

Fuente: Elaboración propia

El valor "R² Predicho" de 0.6839 está razonablemente de acuerdo con el valor " R² de 0,7864. El valor "Precisión Adecuada" mide la relación señal a ruido. Una mayor proporción de 4 es deseable. La proporción de 12.526 indica una señal adecuada. Este modelo se puede utilizar para navegar por el espacio del diseño.

Tabla 14. Coeficientes estadísticos para la variable respuesta Cec (mmhos/Cm)

Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor
Desv. Std.	1.91	R ²	0.8220
Promedio	9.52	R ² Ajustado	0.7864
Coef. de Var. (%)	20.08	R ² Predicho	0.6839
PRESS	64.92	Precisión Adecuada	12.526

Fuente: Elaboración propia

La ecuación final en términos de sus componentes reales:

$$\text{Cec} = + 5.67980 * \text{Equino} + 5.70067 * \text{Porcino} + 17.18415 * \text{Vacuno}$$

En la figura siguiente se observa el gráfico de contorno para la variable respuesta Cec, que va desde una rango de 4.96 a 19.2 de mmhos/Cm, donde las variables independientes es el porcentaje de cada muestra (Muestra de purines de equino A, porcino B y vacuno C).

Gráfico de contorno para la variable Cec (mmhos/Cm)

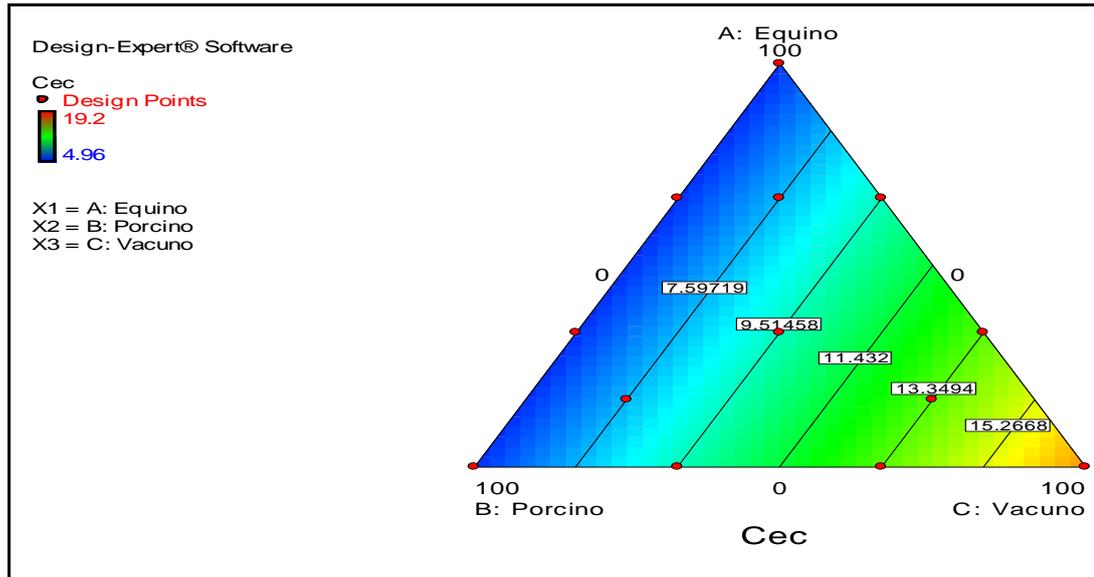


Figura 7. Gráfico de contorno para la variable Cec (mmhos/Cm)

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 10 siguiente se observa el gráfico de superficie para la variable respuesta *Cec* (mmhos/Cm, donde podemos apreciar el comportamiento de la *Cec* (mmhos/Cm, al mezclar los tres componentes.

Gráfico de superficie para la variable Cec (mmhos/Cm)

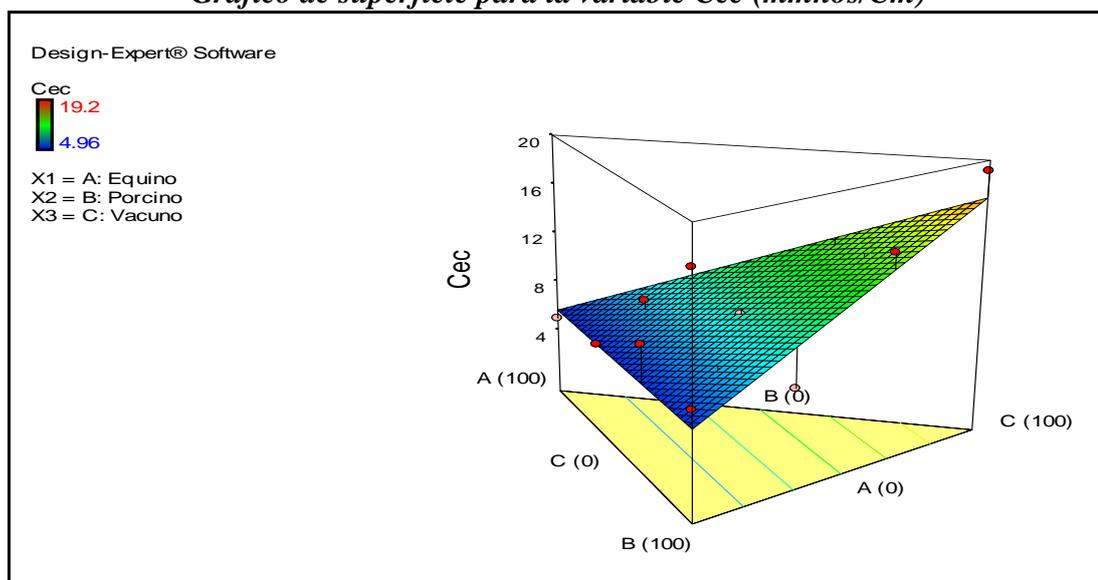


Figura 8. Gráfico de superficie para la variable Cec (mmhos/Cm)

Fuente: Elaboración propia

4.1.6 Variable Respuesta Materia Orgánica (%)

En la Tabla siguiente se puede apreciar el Análisis de varianza para la variable respuesta Materia Orgánica para un modelo estadístico de orden cúbico, el cual es significativo. El modelo con un F - valor de 11.50, implica que el modelo es significativo. Solo hay una posibilidad 3.46 % de que un " modelo F - Valor " este grande podría ocurrir debido al ruido. Los valores de "Prob > F " menos de 0,0500 indican que las condiciones del modelo son significativas. Valores superiores a 0.1000 indican que las condiciones del modelo no son significativas.

Tabla 15. Análisis de varianza para la variable Materia Orgánica (%)

Source	Suma de cuadrados	df	Promedio cuadrado	F Va-lue	p-value Prob > F	Significancia
Model	242.94	9	26.99	11.5	0.0346	significancia
Linear Mixture	72.85	2	36.42	15.52	0.0262	
AB	13.52	1	13.52	5.76	0.0959	
AC	4.53	1	4.53	1.93	0.2589	
BC	0.56	1	0.56	0.24	0.6591	
ABC	2.16E-04	1	2.16E-04	9.22E-05	0.9929	
AB(A-B)	34.01	1	34.01	14.49	0.0319	
AC(A-C)	97.73	1	97.73	41.64	0.0075	
BC(B-C)	7.94	1	7.94	3.38	0.1631	
Residual	7.04	3	2.35			
Cor Total	249.98	12				

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla se observa que un valor negativo de " Pred R² " implica que la media general es un mejor predictor de la respuesta que el modelo actual. El valor de " Adeq precisión " mide la relación señal a ruido. Una mayor proporción de 4 es deseable. La proporción es de 11.399, que indica una señal adecuada. Este modelo se puede utilizar para navegar por el espacio de diseño.

Tabla 16. Coeficientes estadísticos para la variable Materia Orgánica (%)

Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor
Desv. Std.	1.531947	R ²	0.9718
Promedio	54.31461	R ² Ajustado	0.8873
Coef. de Var. (%)	2.820506	R ² Predicho	-5.2301
PRESS	1557.435	Precisión Adecuada	11.3990

Fuente: Elaboración Propia

La ecuación final en términos de sus componentes reales:

Materia Orgánica =

$$\begin{aligned} &+44.79337 * \text{Equino} \\ &+52.66168 * \text{Porcino} \\ &+60.04592 * \text{Vacuno} \\ &+16.40134 * \text{Equino} * \text{Porcino} \\ &+9.49462 * \text{Equino} * \text{Vacuno} \\ &+3.33374 * \text{Porcino} * \text{Vacuno} \\ &+0.42779 * \text{Equino} * \text{Porcino} * \text{Vacuno} \\ &+49.83177 * \text{Equino} * \text{Porcino} * (\text{Equino-Porcino}) \\ &+84.47444 * \text{Equino} * \text{Vacuno} * (\text{Equino-Vacuno}) \\ &-24.08233 * \text{Porcino} * \text{Vacuno} * (\text{Porcino-Vacuno}) \end{aligned}$$

En la figura siguiente se observa el gráfico de contorno para la variable respuesta Materia Orgánica, que va desde una rango de 44.83 a 60.2 %, donde las variables independientes es el porcentaje de cada muestra (Muestra de purines de equino A, porcino B y vacuno C).

Gráfico de contorno para la variable Materia Orgánica (%)

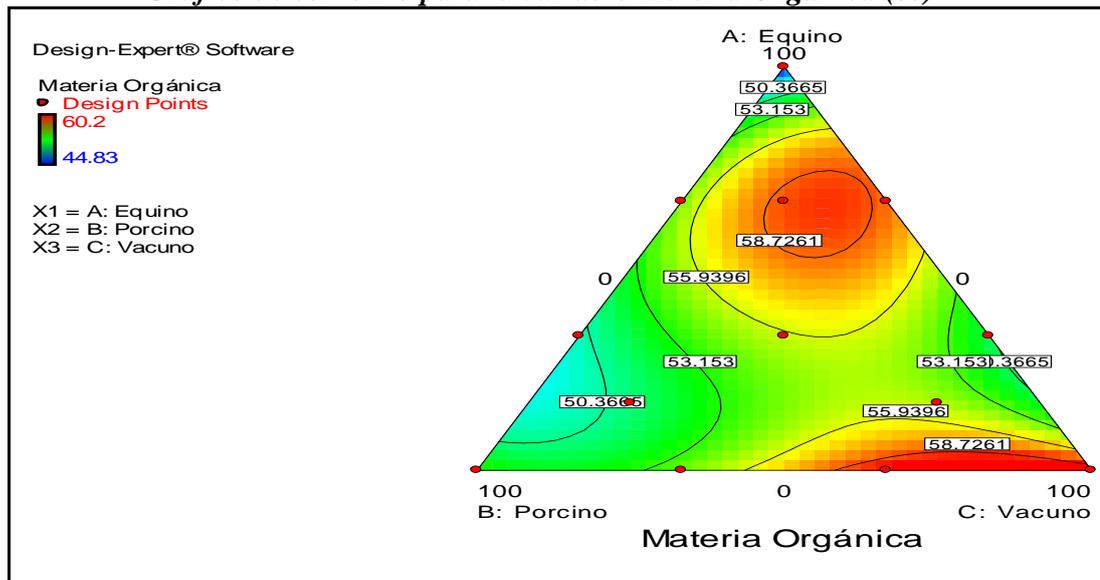


Figura 9. Gráfico de contorno para la variable Materia Orgánica (%)

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 12 siguiente se observa el gráfico de superficie para la variable respuesta *Materia Orgánica (%)*, donde podemos apreciar el comportamiento de la *Materia Orgánica (%)*, al mezclar los tres componentes.

Gráfico de superficie para la variable Materia Orgánica (%)

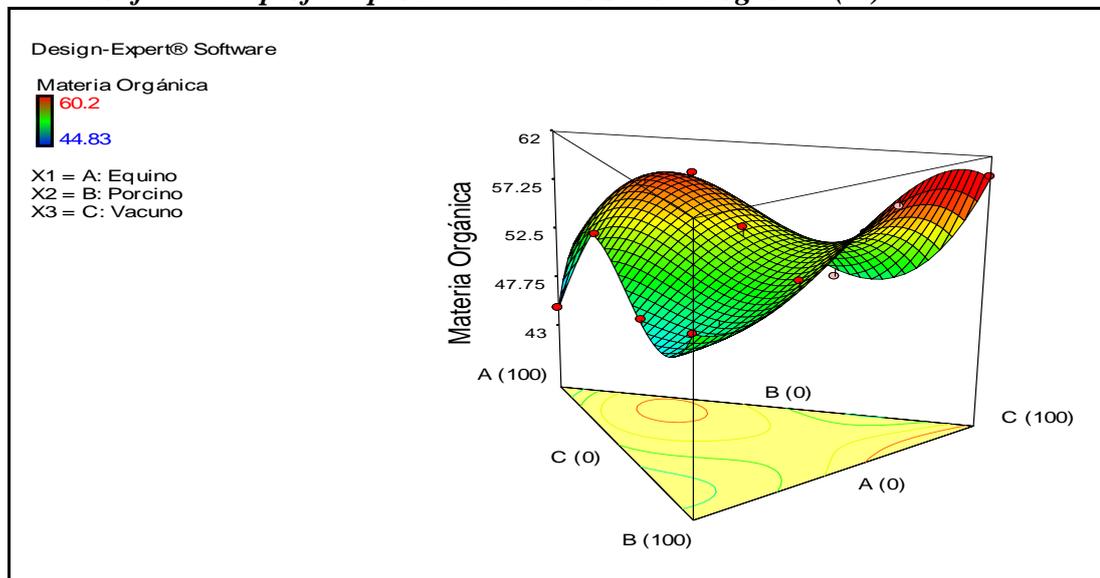


Figura 10. Gráfico de superficie para la variable Materia Orgánica (%)

Fuente: Elaboración propia

4.1.7 Variable Respuesta Nitrógeno Orgánico (%)

En la Tabla 17 siguiente se puede apreciar el Análisis de varianza para la variable respuesta Nitrógeno Orgánico para un modelo estadístico de orden cúbico, el cual es significativo. El modelo con un F - valor de 113.95, implica que el modelo es significativo. Solo hay una posibilidad 0.12 % de que un " modelo F - Valor " este grande podría ocurrir debido al ruido. Los valores de "Prob > F " menos de 0,0500 indican que las condiciones del modelo son significativas. En este caso componentes de mezcla lineal , AC , BC , ABC , AB (A- B) , AC (A- C) son los términos del modelo significativos. Valores superiores a 0.1000 indican que las condiciones del modelo no son significativas.

Tabla 17. Análisis de varianza para la variable Nitrógeno Orgánico (%)

Source	Suma de cuadrados	df	Promedio cuadrado	F Value	p-value Prob > F	Significancia
Model	0.103727	9	0.011525	113.950	0.0012	significativo
Linear Mixture	0.024286	2	0.01214	120.063	0.0014	
AB	2.106E-05	1	2.106E-05	0.20829	0.6791	
AC	0.001126	1	0.00112	11.1349	0.0445	
BC	0.00152	1	0.00152	15.0440	0.0304	
ABC	0.002228	1	0.00222	22.0344	0.0183	
AB(A-B)	0.037719	1	0.03771	372.931	0.0003	
AC(A-C)	0.027618	1	0.02761	273.068	0.0005	
BC(B-C)	0.000785	1	0.00078	7.76546	0.0686	
Residual	0.000303	3	0.00010			
Cor Total	0.104030	12				

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla se observa que un valor negativo de " Pred R² " implica que la media general es un mejor predictor de la respuesta que el modelo actual. En la siguiente tabla se observa que el valor " Pred R² " de 0.2194 no está razonablemente de acuerdo con el valor " Adj R - Squared " de 0,9883, como normalmente se esperaría. Esto puede indicar un gran efecto de bloque o un posible problema en el modelo y / o datos . Cosas a tener en cuenta son la reducción de modelo, transformación respuesta, valores

atípicos , etc. El valor de " Adeq precisión " mide la relación señal a ruido. Una mayor proporción de 4 es deseable. La proporción es de 33.108, que indica una señal adecuada. Este modelo se puede utilizar para navegar por el espacio de diseño.

Tabla 18. Coeficientes estadísticos para la variable Nitrógeno Orgánico (%)

Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor
Desv. Std.	0.010056	R ²	0.997083
Promedio	1.632307	R ² Ajustado	0.988333
Coef. de Var. (%)	0.616119	R ² Predicho	0.219449
PRESS	0.081201	Precisión Adecuada	33.10805

Fuente: Elaboración Propia

La ecuación final en términos de sus componentes reales:

Nitrógeno Orgánico =

$$\begin{aligned}
 &+1.45989 * \text{Equino} \\
 &+1.65902 * \text{Porcino} \\
 &+1.74939 * \text{Vacuno} \\
 &+0.020475 * \text{Equino} * \text{Porcino} \\
 &+0.14970 * \text{Equino} * \text{Vacuno} \\
 &-0.17401 * \text{Porcino} * \text{Vacuno} \\
 &+1.37298 * \text{Equino} * \text{Porcino} * \text{Vacuno} \\
 &+1.65959 * \text{Equino} * \text{Porcino} * (\text{Equino-Porcino}) \\
 &+1.42011 * \text{Equino} * \text{Vacuno} * (\text{Equino-Vacuno}) \\
 &-0.23948 * \text{Porcino} * \text{Vacuno} * (\text{Porcino-Vacuno})
 \end{aligned}$$

En la figura siguiente se observa el gráfico de contorno para la variable respuesta Materia Orgánica, que va desde una rango de 1.46 a 1.75 %, donde las variables independientes es el porcentaje de cada muestra (Muestra de purines de equino A, porcino B y vacuno C).

Gráfico de contorno para la variable Nitrógeno Orgánico (%)

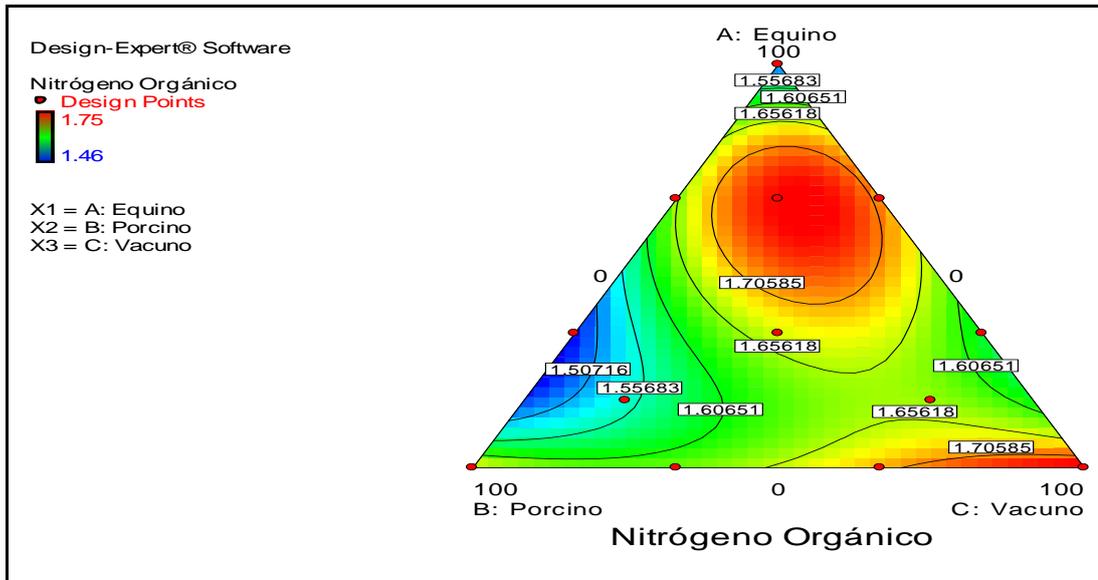


Figura 11. Gráfico de contorno para la variable Nitrógeno Orgánico (%)
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 14 siguiente se observa el gráfico de superficie para la variable respuesta *Nitrógeno Orgánico (%)*, donde podemos apreciar el comportamiento del *Nitrógeno Orgánico (%)*, al mezclar los tres componentes.

Gráfico de superficie para la variable Nitrógeno Orgánico (%)

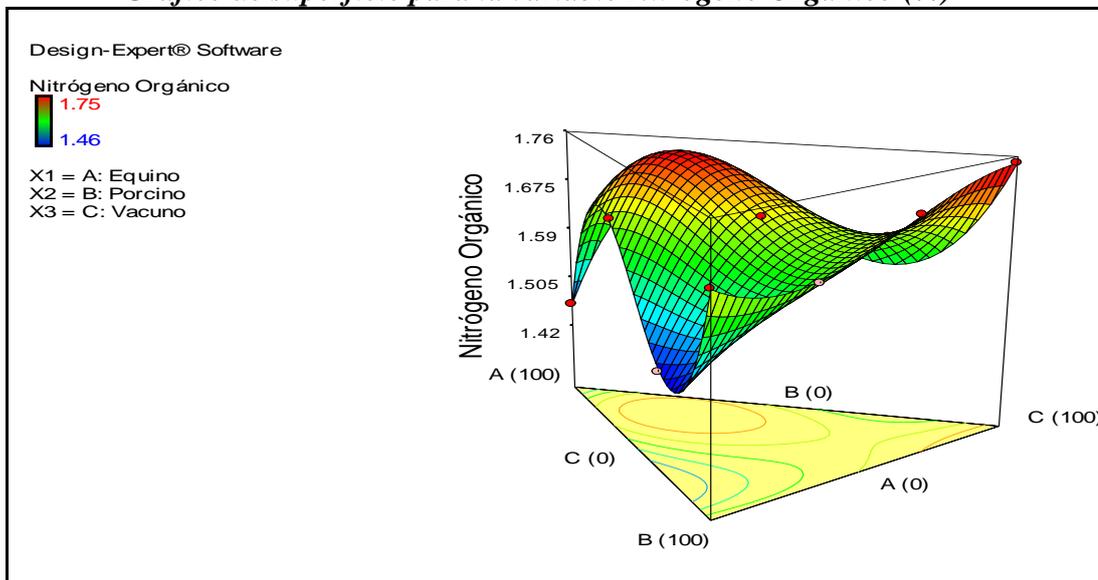


Figura 12. Gráfico de superficie para la variable Nitrógeno Orgánico (%)
Fuente: Elaboración propia

4.1.8 Variable Respuesta Fosforo (P₂O)

En la Tabla 19 siguiente se puede apreciar el Análisis de varianza para la variable respuesta Fosforo (P₂O) (%), para un modelo estadístico de primer orden, el cual es significativo. El modelo con un F - valor de 131.09, implica que el modelo es significativo. Solo hay una posibilidad 0,01 % de que un " modelo F - Valor " este grande podría ocurrir debido al ruido. Los valores de "Prob > F " menos de 0,0500 indican que las condiciones del modelo son significativas. En este caso los componentes de la mezcla lineal, son condiciones del modelo significativas. Valores superiores a 0.1000 indican que las condiciones del modelo no son significativas.

Tabla 19. Análisis de varianza para la variable Fósforo (P₂O) (%)

Source	Suma de cuadrados	df	Promedio cuadrado	F Value	p-value Prob > F	Significancia
Model	15.24	2	7.62	131.09	< 0.0001	significativo
<i>Linear Mixture</i>	<i>15.24</i>	<i>2</i>	<i>7.62</i>	<i>131.09</i>	<i>< 0.0001</i>	
Residual	0.58	10	0.058			
Cor Total	15.82	12				

Fuente: Elaboración Propia

El valor " Pred R² " de 0.9400 está razonablemente de acuerdo con el valor " Adj R - Squared " de 0,9559. El valor " Adeq precisión " mide la relación señal a ruido. Como se muestra en la Tabla 20. Una mayor proporción de 4 es deseable. La proporción de 31.454 indica una señal adecuada. Este modelo se puede utilizar para navegar por el espacio del diseño.

Tabla 20. Coeficientes estadísticos para la variable respuesta Fósforo (P₂O) (%)

Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor
Desv. Std.	0.3048	R ²	0.9823
Promedio	1.7807	R ² Ajustado	0.9559
Coef. de Var. (%)	17.116	R ² Predicho	0.9400
PRESS	121.36	Precisión Adecuada	14.504

Fuente: Elaboración Propia

La ecuación final en términos de sus componentes reales:

$$\text{Cec} = + 0.42773 * \text{Equino} + 4.07033 * \text{Porcino} + 0.84425 * \text{Vacuno}$$

En la Figura 16 siguiente se observa el gráfico de contorno para la variable respuesta Fósforo (P_2O) (%), que va desde una rango de 0.4 a 4.28 % de P_2O , donde las variables independientes es el porcentaje de cada muestra (Muestra de purines de equino A, porcino B y vacuno C).

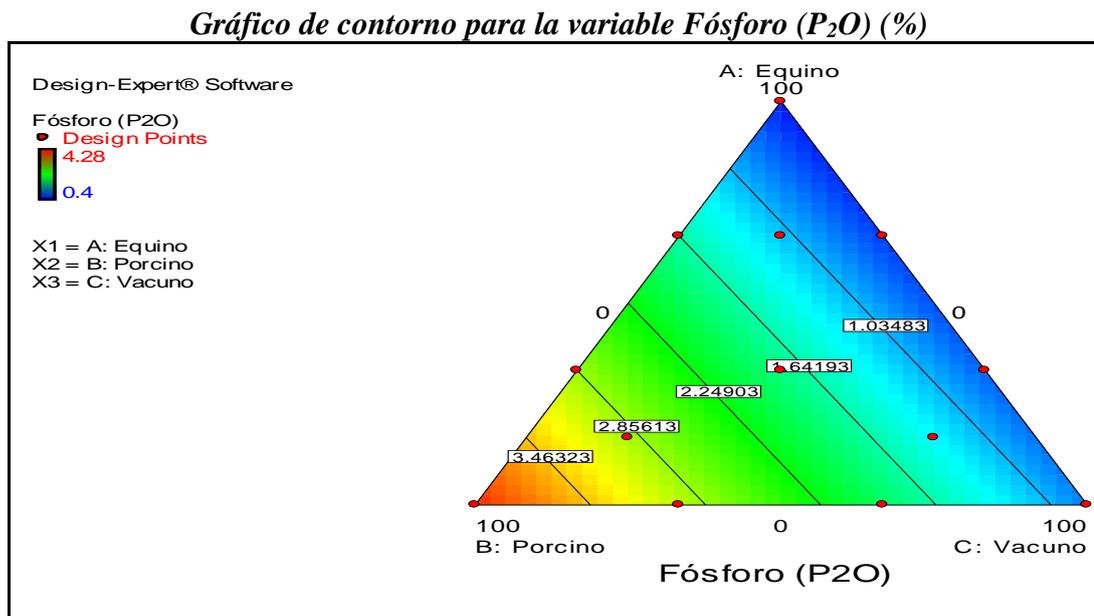


Figura 13. Gráfico de contorno para la variable Fósforo (P_2O) (%)
Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 17 siguiente se observa el gráfico de superficie para la variable respuesta Fósforo (P_2O) (%), donde podemos apreciar el comportamiento del Fósforo (P_2O) (%), al mezclar los tres componentes.

Gráfico de superficie para la variable Fósforo (P₂O) (%)

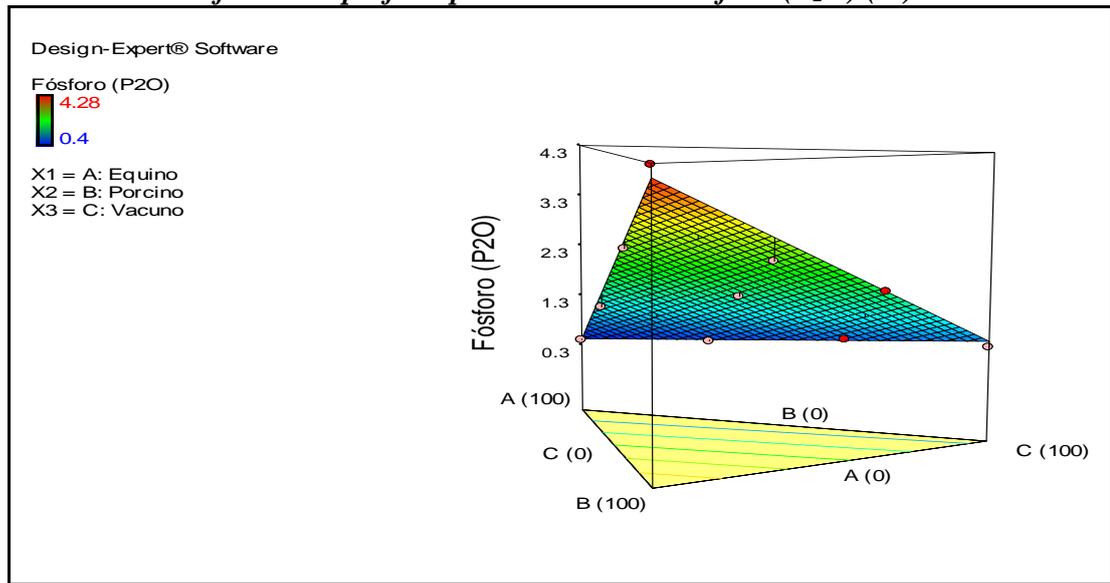


Figura 14. Gráfico de superficie para la variable Fósforo (P₂O) (%)
 Fuente: Elaboración Propia

4.1.9 Variable Respuesta Potasio (K₂O)

En la Tabla 21 se puede apreciar el Análisis de varianza para la variable respuesta Potasio (K₂O) (%), para un modelo estadístico de primer orden, el cual es significativo. El modelo con un F - valor de 42.87, implica que el modelo es significativo. Solo hay una posibilidad 0,01 % de que un " modelo F - Valor " este grande podría ocurrir debido al ruido. Los valores de "Prob > F " menos de 0,0500 indican que las condiciones del modelo son significativas. En este caso los componentes de la mezcla lineal, son condiciones del modelo significativos. Valores superiores a 0.1000 indican que las condiciones del modelo no son significativas.

Tabla 21. Análisis de varianza para la variable Potasio (K₂O) (%)

Source	Suma de cuadrados	df	Promedio cuadrado	F Value	p-value Prob > F	Significancia
Model	2.90	2	1.45	42.87	< 0.0001	signif
Linear Mixture	2.90	2	1.45	42.87	< 0.0001	
Residual	0.34	10	0.034			
Cor Total	3.24	12				

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla se observa un valor " Pred R² " de 0.7766 y está razonablemente de acuerdo con el valor " Adj R - Squared " de 0,8747. El valor " Adeq precisión " mide la relación señal a ruido, como se muestra en la Tabla 22.. Una mayor proporción de 4 es deseable. La proporción de 18.969 indica una señal adecuada. Este modelo se puede utilizar para navegar por el espacio del diseño.

Tabla 22. Coeficientes estadísticos para la variable Potasio (K₂O) (%)

Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor
Std. Dev.	0.18	R-Squared	0.8956
Mean	0.98	Adj R-Squared	0.8747
C.V. %	18.82	Pred R-Squared	0.7766
PRESS	0.72	Adeq Precision	18.969

Fuente: Elaboración propia

La ecuación final en términos de sus componentes reales:

$$\text{Cec} = + 0.27421 * \text{Equino} + 1.95074 * \text{Porcino} + 0.70813 * \text{Vacuno}$$

En la figura siguiente se observa el gráfico de contorno para la variable respuesta Potasio (K₂O) (%), que va desde una rango de 0.2 a 1.68 % de K₂O, donde las variables independientes es el porcentaje de cada muestra (Muestra de purines de equino A, porcino B y vacuno C).

Gráfico de contorno para la variable Potasio (K_2O) (%)

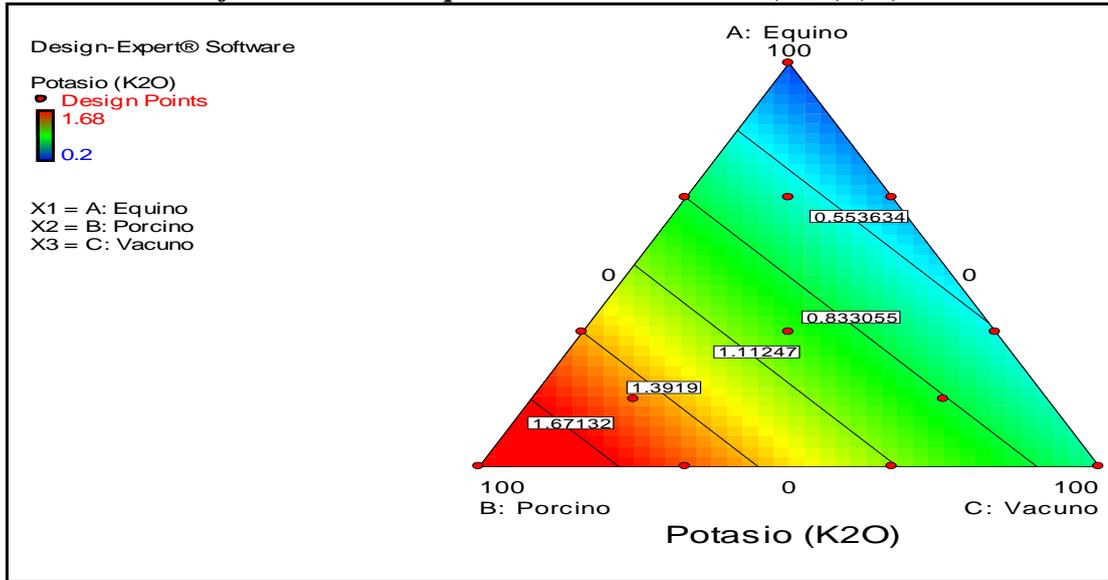


Figura 15. Gráfico de contorno para la variable Potasio (K_2O) (%)

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 19 siguiente se observa el gráfico de superficie para la variable respuesta *Potasio (K_2O) (%)*, donde podemos apreciar el comportamiento del *Potasio (K_2O) (%)*, al mezclar los tres componentes.

Gráfico de superficie para la variable Potasio (K_2O) (%)

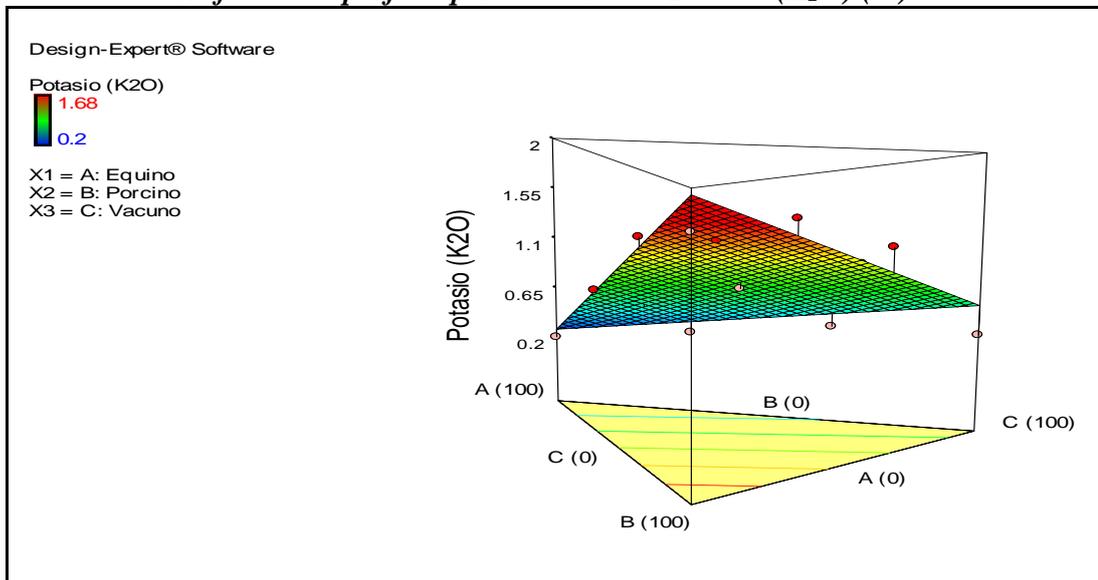


Figura 16. Gráfico de superficie para la variable Potasio (K_2O) (%)

Fuente: Elaboración propia

4.1.10 Optimización de la mezcla

4.1.10.1 Opciones para el objetivo de los componentes

Los componentes se fijaron a los niveles especificados según los parámetros comerciales. Por conveniencia se estableció el objetivo minimizar los valores de pH, focalizados a 7.65, entre los limites como Baja y Alta de 7.65 de 8.85 respectivamente.

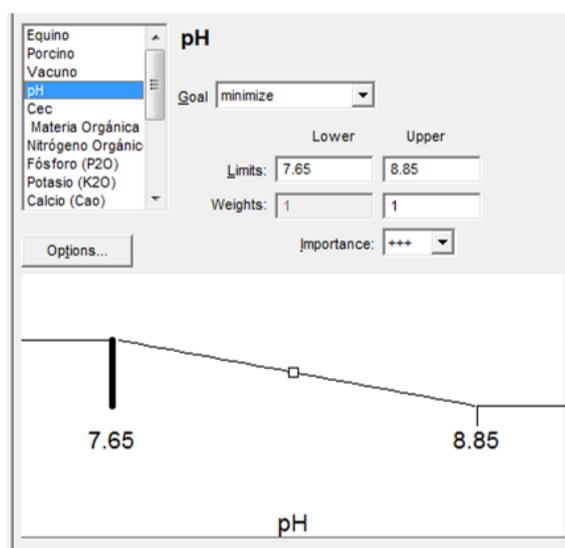


Figura 17. Minimización de los valores de pH

Fuente: Elaboración propia

Por conveniencia se estableció el objetivo en 12 para los valores Conductividad eléctrica Cec, focalizados entre los limites como Baja y Alta de 4.96 de 19.2 respectivamente.

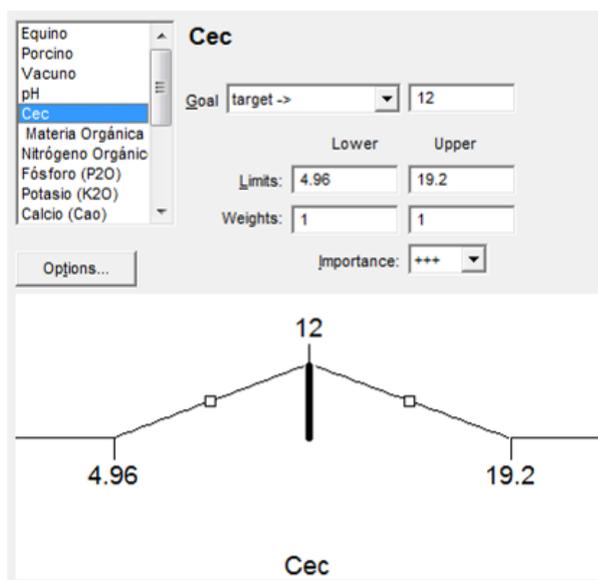


Figura 18. Estableciendo el objetivo del Cec = 12
Fuente: Elaboración propia

Por conveniencia se estableció el objetivo maximizar los valores de materia orgánica (MO), focalizados entre los límites como Baja y Alta de 44.83 de 60.2 respectivamente.

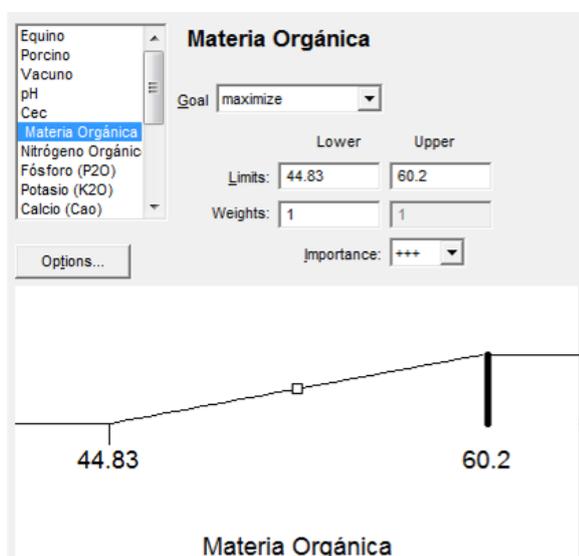


Figura 19. Maximización de los valores de Nitrógeno orgánico (NO)
Fuente: Elaboración propia

Por conveniencia se estableció el objetivo maximizar los valores de Nitrógeno orgánico (NO), focalizados entre los límites como Baja y Alta de 1.46 de 1.75 respectivamente.

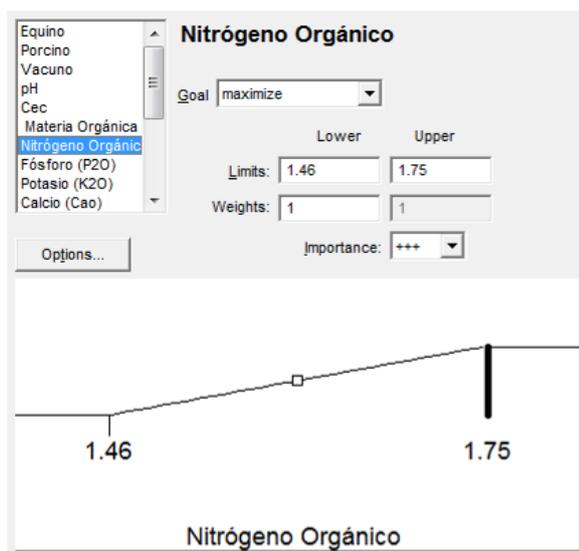


Figura 20. Maximización de los valores de Nitrógeno orgánico (NO)

Fuente: Elaboración propia

Por conveniencia se estableció el objetivo maximizar los valores de Fósforo (P_2O), focalizados entre los límites como Baja y Alta de 0.4 de 4.28 respectivamente.

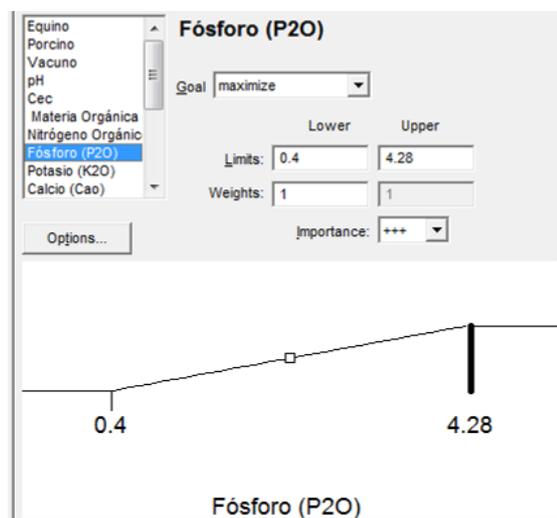


Figura 21. Maximización de los valores de Fósforo (P_2O)

Fuente: Elaboración propia

Por conveniencia se estableció el objetivo maximizar los valores de Potasio (K_2O), focalizados entre los límites como Baja y Alta de 0.2 de 1.68 respectivamente.

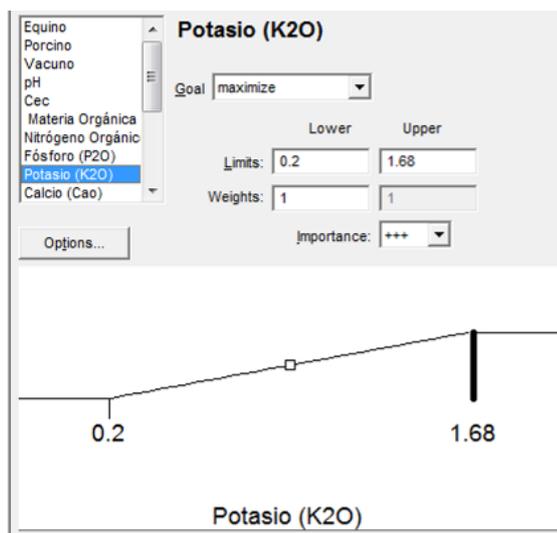


Figura 22. Maximización de los valores de Potasio (K₂O)
Fuente: Elaboración propia

Por conveniencia se estableció el objetivo maximizar los valores de Calcio (CaO), focalizados entre los límites como Baja y Alta de 0.2 de 1.68 respectivamente.

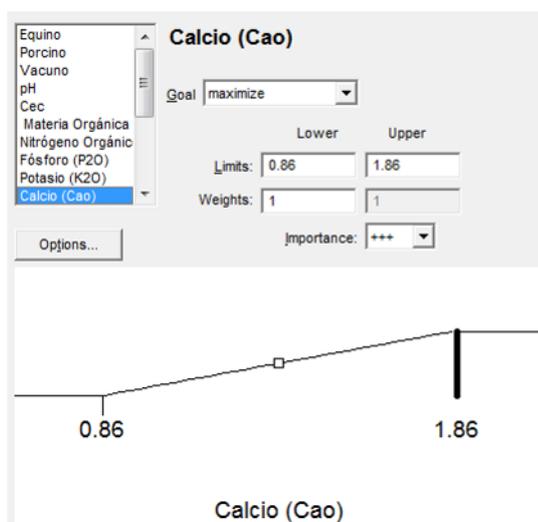


Figura 23. Maximización de los valores de Calcio (CaO)
Fuente: Elaboración propia

4.1.10.2 Ejecución de la optimización

En la tabla 12, se observa las restricciones de las variables para la optimización de las mezclas.

Tabla 23. Restricciones de las variables para la optimización

Nombre	notación	Limite	Limite
		Inferior	superior
pH	minimización	7.65	8.85
Cec	Objetivo = 12	4.96	19.2
Materia Orgánica (%)	maximización	44.83	60.2
Nitrógeno Orgánico (%)	maximización	1.46	1.75
Fósforo (P ₂ O) (%)	maximización	0.4	4.28
Potasio (K ₂ O) (%)	maximización	0.2	1.68
Calcio (Cao) (%)	maximización	0.86	1.86

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13, se observa las soluciones de las variables para la optimización de las mezclas.

Tabla 24. Soluciones de la optimización

Nombre	Optimo
Equino	0
Porcino	42.727
Vacuno	57.273
pH	8.2425
Cec	11.999
Materia Orgánica	58.563
Nitrógeno Orgánico	1.6767
Fósforo (P ₂ O)	2.0908
Potasio (K ₂ O)	1.5056
Calcio (Cao)	1.3126
Conveniencia (Desirability)	0.6671

Fuente: Elaboración propia

A continuación se da un Reporte de rampas sobre la optimización numérica de las mezclas

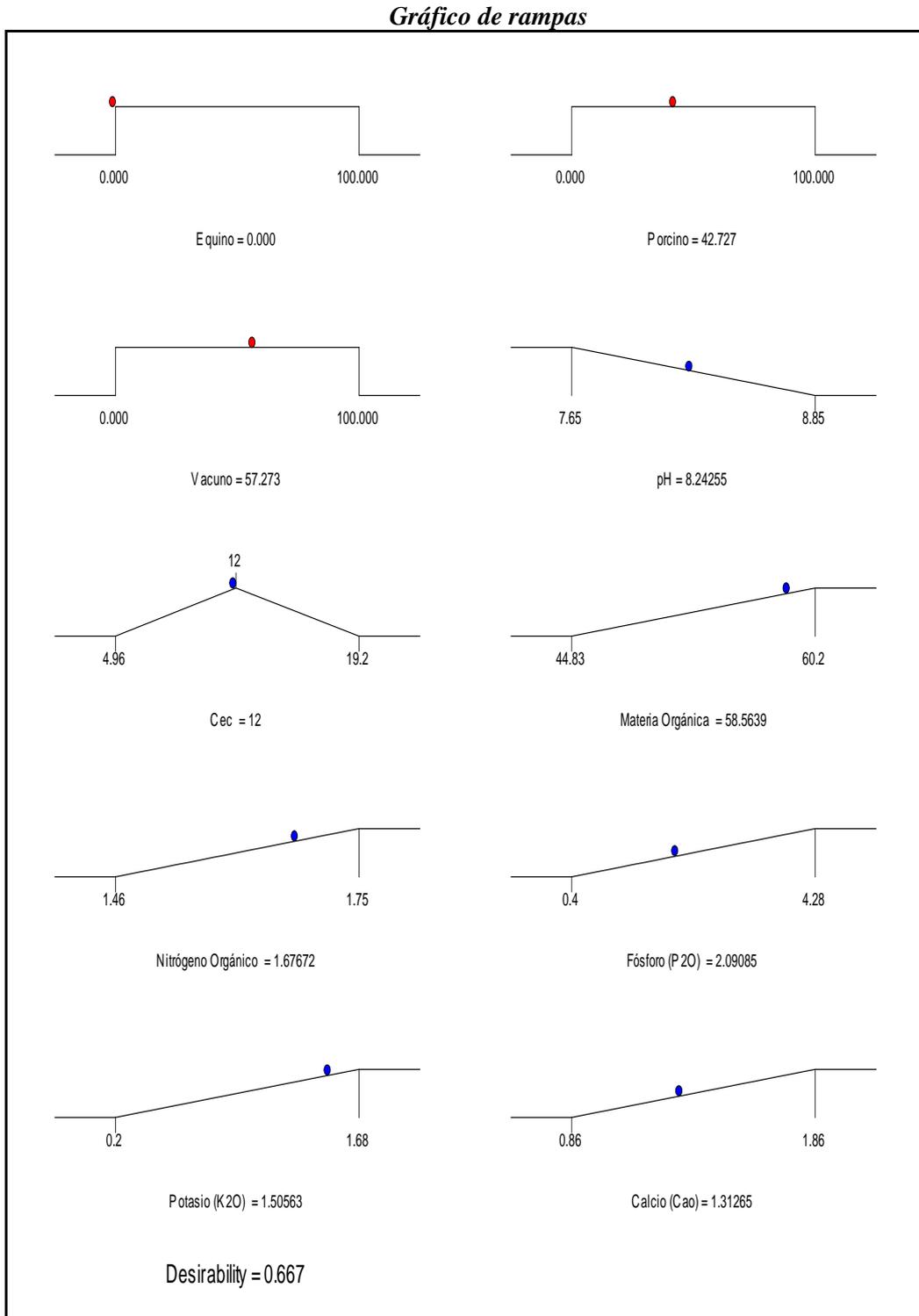


Figura 24. Representación por gráfico de rampas
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 28 se observa el grafico de contorno de la optimización donde podemos hacer una predicción por conveniencia (Desirability) con un valor de 0.667 .

Gráfico de contorno de conveniencia

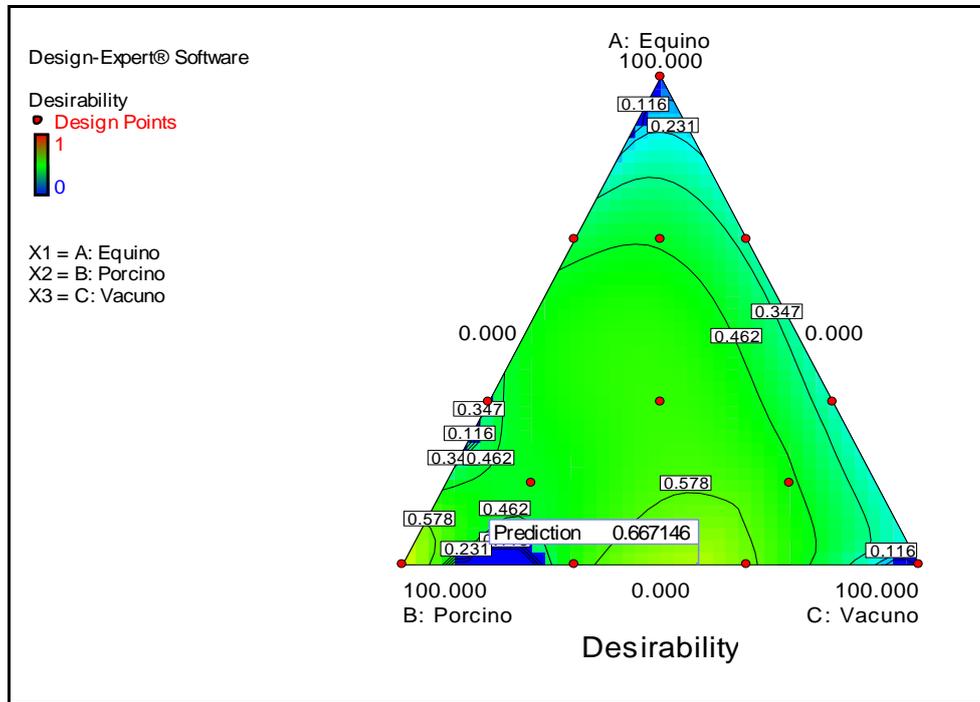


Figura 25. Gráfico de contorno de conveniencia

Fuente: Elaboración propia

Podemos alcanzar esa conveniencia de 0.667.146, con una mezcla óptima de: 0 % de Equino, 42.727 % de Porcino y 57.273 % de Vacuno.

4.2 Discusión de resultados

Se caracterizaron los purines de ganado vacuno (*Bos primigenius Taurus*), equino (*Equus ferus caballus*) y porcino (*Sus scrofa domestica*) obteniendo un menor pH de 7.5 ± 0.2 para vacuno y uno mayor para porcino de 8.9 ± 0.4 , conductividad eléctrica (Cec) más alta de 19.84 ± 0.2 para equino y una más baja de 10.57 ± 0.15 para el porcino, en cuestión de Materia Orgánica (MO), se obtuvo un mayor valor de 65.79 ± 0.23 y un menor valor de 43.45 ± 0.12 para el equino, por otro lado para el Nitrógeno Orgánico (N) se obtuvo un mayor valor de 1.74 ± 0.26 para vacuno y un menor valor de 1.45 ± 0.44 , para el caso de Fósforo total (P_2O) se obtuvo un mayor valor de 4.37 ± 0.44 para vacuno y un menor valor de 0.43 ± 0.17 para porcino, Para el caso de Potasio total (K_2O) se obtuvo un mayor valor de 1.71 ± 0.29 para el porcino y un menor valor de 0.22 ± 0.37 para equino y para el Calcio (CaO) se obtuvo un mayor valor de 1.92 ± 0.36 para el vacuno y un menor valor de 0.82 ± 0.37 .

En la Evaluación de la homogeneidad de las mezclas, usando como indicador de medida el color en escala CIELab de Luminosidad (L^*), en el que se realizó el mezclado en una mezcladora tipo V, en la cual se homogenizaron las muestras por un espacio de tiempo mayor a 12 minutos en agitación, cuyo indicador fue color de las muestras medido con la escala de Luminosidad que va desde un valor promedio de 32.95 ± 12.91 hasta un valor promedio en el último minuto de 21.43 ± 0.58 , donde tenemos que tener en cuenta el principal indicador que es la desviación estándar, como se ve, desde 12.91 hasta 0.58, la cual nos garantiza una buena homogenización según el color de las mezclas, menor sea la desviación estándar mejor será la homogenización.

En cuanto a la caracterización de las mezclas, a partir de los purines provenientes de ganado equino, vacuno y porcino. Los cuales previos a los tratamientos de acondicionamiento se procedieron al mezclado, según una matriz estadística desarrollada con el software Desing Extert 7.0. Los presentes abonos orgánicos de la investigación, en contenidos originales y mezclados entre ellos, presentaron características como: reacción moderada a fuertemente alcalina, valores aceptables por estar contenidos en los parámetros de los diferentes tipos de estiércoles, principalmente de equino y vacunos. Los contenidos

de salinidad son variados, siendo bajos con tendencia alta en algunos de ellos, esta característica es propia de su contenido variable de nutrición del ganado.

El pH de las muestras es uno de los parámetros que mejor refleja las propiedades químicas de cualquier abono, El pH es un factor que determina la disponibilidad de muchos de los elementos necesarios para el crecimiento de las plantas. Aunque no sea posible deducir la acidez total del suelo midiendo el pH, según Thomas (1982) hay tres rangos de pH que son muy Informativos sobre la química de los abonos: Un pH < 4 Indica la presencia de ácidos libres, generalmente resultantes de la oxidación de sulfuros, Un pH < 5,5 Indica la presencia de aluminio Intercambiable. Un pH entre 7.8 y 8.2 Indica con frecuencia la presencia de alto contenido de CaCO₃. Para las muestras realizadas se visualiza que las mezclas con una mayor cantidad de abono de vacuno se incrementa a niveles de 8.2 y 8.4 de pH. (Sheifa J. McKean , 1993)

La salinidad de los abonos puede ser determinada por convención en extractos acuosos de una pasta saturada de abono (US Sallnity Laboratory Staff, 1954). Se puede estimar la salinidad del abono midiendo la conductividad eléctrica del extracto. La tolerancia de los cultivos a la salinidad está relacionada con la conductividad eléctrica del extracto saturado del abono, Nortcliff (1988). Algunos análisis particulares de los abonos están descritos en el libro del instituto Geográfico Agustín Codazzi (1973).

No existe un método de rutina con el cual se puede determinar la materia orgánica (MO) en los abonos de una manera satisfactoria. Por esa razón normalmente se estima Indirectamente utilizando la medida del contenido del carbón orgánico (CO) en el abono. Se usa un procedimiento modificado de Walkley y Black (1934), que está basado en una oxidación húmeda, para determinar el contenido de CO en el abono.

Es difícil cuantificar precisamente la cantidad de MO en el suelo, pero se puede medir el contenido de CO y estimar la MO usando un factor de conversión basado en el porcentaje de CO en la MO. Se asume que la MO contiene 58% de CO y se usa el factor de Van Bemmelen de 1.72 para estimar la MO. En realidad, este factor es muy variable entre diferentes abonos, por tanto se recomienda trabajar con el valor de CO y no con MO.

El nitrógeno total en el abono está compuesto de 97 hasta 99 % de nitrógeno orgánico. y menos de 2 % Inorgánico. La fracción orgánica se hace disponible a la planta a través del tiempo dependiendo de las condiciones en el suelo. La fracción Inorgánica que la planta aprovecha contiene los iones amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3) y nitrito (NO_2^+). La forma de nitrógeno aprovechado por la planta depende del pH del suelo, la temperatura, la actividad microbiana y la presencia de otros iones en la solución del suelo, pero normalmente la planta aprovecha el Ion nitrato y lo reduce después a amonio. Bajo condiciones anaeróbicas el ion nitrito puede estar en la solución del suelo y es tóxico aún en niveles bajos. (Sheifa J. McKean , 1993)

Debido a la Importancia del papel del nitrógeno en el crecimiento de la planta, es muy Importante buscar una valoración precisa del nitrógeno disponible para la planta. La determinación del amonio y nitrato extractables en el suelo se confunde por las transformaciones biológicas las cuales cambian los niveles y formas de nitrógeno en el suelo (Buckman y Brady, 1977). Por causa de estas transformaciones, Idealmente las muestras de suelo deben ser analizadas Inmediatamente después de tomarlas. Muchas veces esto es imposible y existen varios pretratamiento para conservar la muestra (Sheifa J. McKean , 1993)

El fósforo es uno de los elementos mayores que es esencial para la planta. Algunas proteínas y enzimas en la planta necesitan fósforo y el elemento tiene un papel muy Importante en el metabolismo y la estructura de la planta. la planta aprovecha el fósforo del suelo en la forma de los aniones fosfato dihidrógeno [H_2PO_4] o fosfato monohidrógeno (HPO_4^{2-}), dependiendo del pH del suelo. El contenido de fósforo en el tejido normalmente está entre 0.1 hasta 0.5 % del peso seco, pero en algunas cultivos llega hasta el 1%. Una deficiencia de fósforo causa un crecimiento lento de la planta. Las hojas viejas muestran un color verde oscuro con una pigmentación purpúrea. Los Síntomas de un exceso del elemento se asemejan a las de algunas deficiencias de micronutrientes. El libro de Mengel y Klirkby (1982) tiene una descripción más detallada sobre el fósforo en la planta. (Sheifa J. McKean , 1993)

Se leen los contenidos totales de Ca, Mg, K Y de los micronutrientes después de la descomposición del tejido por digestión ácida o por calcinación. En abonos con un pH

menor de 5.5, se lee Ca y Mg Intercambiables después de extracción con una solución de KCl y K Intercambiable después de extracción con una solución de Bray II .Si el pH es mayor de 5.5 se lee Ca, Mg y K en el extracto de acetato de amonio. Los micronutrientes disponibles en el suelo se determinan después de extracción con la solución de Mehlich. (Sheifa J. McKean ,1993)

En la mayoría de los países se han establecido unas cantidades mínimas para poder considerar que un determinado producto contiene el elemento en cuestión. En España, los contenidos mínimos establecidos son los siguientes: Hierro (Fe) 0,1%, Zinc (Zn) 0,05%, Boro (B) 0,02%, Molibdeno (Mo) 5 ppm, Manganeso (Mn) 0,05%, Cloro (Cl) 0,1% y Cobre (Cu) 0,05%.

Para las muestras de estudio, en su composición química se resalta en la mayoría de las muestras, el alto contenido en materia orgánica por encima del 44 % hasta un valor del 60 %; lo que da a entender la riqueza de las mezclas y su buen contenido de nutrientes, resaltando el nitrógeno, fósforo, potasio y calcio. La relación C/N como indicadora de descomposición gradual del material orgánico, así como de mineralización, asimilación y movilización de los nutrientes de carbono y nitrógeno, en su mayor parte están entre 16-17 a 18%, es decir equilibrio y rápida descomposición y mineralización, por lo que los materiales en su mayor parte son de mucha utilidad para dar vida al suelo, mejorar la eficiencia de fertilizantes, retener humedad y ser contribuyentes de mejor aireación y circulación del agua, cuando se incorporen a los suelos agrícolas.

La determinación del contenido de elemento asimilable que define la riqueza del fertilizante obedece a unas normas concretas de análisis para cada tipo de fertilizante en particular que, de algún modo, se estima que refleja la cantidad de elemento que puede participar activamente en las reacciones del sistema suelo-planta. Al analizar las propiedades específicas de los principales fertilizantes, se examinará el valor agronómico del contenido fertilizante en cada caso. En el caso de los fertilizantes simples, la riqueza o unidad fertilizante corresponde a la cantidad del único elemento nutritivo que contiene, expresada en porcentaje o lo que es igual, en Kg. de elemento por cada 100 Kg. de producto.

Para la optimización se obtuvo en primer lugar la mezcla óptima según los criterios de minimización y maximización en las variables de estudio, que nos dieron como resultado, para equino 0 %, para porcino 42.72 % y para vacuno 57.27 %, con ello se determinó los niveles en sus características fisicoquímicas. Para el caso del pH 8.2425, para la conductividad eléctrica 11.99, para la materia orgánica 58.56 %, para el Fósforo (P₂O) 2.0908 %, para el Potasio (K₂O) 1.5056 % y para el calcio (CaO) un 1.3126 %, todo esto llegando a una conveniencia del orden de 0.6671,

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se caracterizó individualmente los purines de estudio de ganado vacuno (*Bos primigenius Taurus*), equino (*Equus ferus caballus*) y porcino (*Sus scrofa domestica*) obteniendo el mejor pH de 8.9 ± 0.4 para porcino, conductividad eléctrica (Cec) la mejor fue de 10.57 ± 0.15 para porcino, en cuestión de Materia Orgánica (MO), la mejor que se obtuvo fue de 65.79 ± 0.23 para porcino, por otro lado para el Nitrógeno Orgánico (N) se obtuvo un mayor y mejor valor de 1.74 ± 0.26 % para vacuno, para el caso de Fósforo total (P_2O) se obtuvo un mejor valor de 4.37 ± 0.44 para vacuno, Para el caso de Potasio total (K_2O) se obtuvo un mejor valor de 1.71 ± 0.29 para el porcino y para el Calcio (CaO) se obtuvo un mejor valor de 1.92 ± 0.36 para el vacuno.

En la homogenización se obtuvo una mejor mezcla cuando la operación se realizó por un tiempo mayor a 12 minutos, en todas las mezclas, obteniendo valores de Luminosidad que va desde un valor promedio de 32.95 ± 12.91 hasta un valor promedio en el minuto 12 de 21.43 ± 0.58 , observado una desviación estándar, que va desde 12.91 hasta 0.58, la cual nos garantiza una buena homogenización según el color de las mezclas, menor sea la desviación estándar mejor será la homogenización.

Se determinó el valor de pH, que estuvieron en un rango de 7.65 y 8.85, donde se pudo establecer un pH óptimo de 8.24255, utilizando una proporción de la mezcla de 42.727 % y 57.273% para porcino y vacuno respectivamente

Se determinó los valores de Conductividad eléctrica (Cec), que estuvieron en un rango de 4.96 y 19.2, donde se pudo establecer una Conductividad eléctrica (Cec) óptima de 12, según conveniencia, utilizando una proporción de la mezcla de 42.727 % y 57.273% para porcino y vacuno respectivamente

Se determinó los valores de Materia Orgánica (MO), que estuvieron en un rango de 44.83 y 60.2, donde se pudo establecer una Materia Orgánica (MO), óptima de 58.5639 %, utilizando una proporción de la mezcla de 42.727 % y 57.273% para porcino y vacuno respectivamente

Se determinó los valores de Nitrógeno Orgánico (N), que estuvieron en un rango de 1.46 y 1.75, donde se pudo establecer un nivel de Nitrógeno Orgánico (N), óptimo de 1.67672 %, utilizando una proporción de la mezcla de 42.727 % y 57.273% para porcino y vacuno respectivamente

Se determinó los valores de Fósforo total (P₂O), que estuvieron en un rango de 0.4 y 4.28, donde se pudo establecer un nivel de Fósforo total (P₂O), óptimo de 2.09085 %, utilizando una proporción de la mezcla de 42.727 % y 57.273% para porcino y vacuno respectivamente

Se determinó los valores de Potasio total (K₂O), que estuvieron en un rango de 0.2 y 1.68, donde se pudo establecer un nivel de Potasio total (K₂O), óptimo de 1.50563 %, utilizando una proporción de la mezcla de 42.727 % y 57.273% para porcino y vacuno respectivamente

Se determinó los valores de Calcio (CaO), que estuvieron en un rango de 0.86 y 1.86, donde se pudo establecer un nivel de Calcio (CaO), óptimo de 1.31265 %, utilizando una proporción de la mezcla de 42.727 % y 57.273% para porcino y vacuno respectivamente.

Se determinó una conveniencia en la optimización de 0.667, para la mezcla.

6.2 Recomendaciones

Realizar estudios con otros tipos de purines, como de animales menores, aves, cuyes, conejos, etc.

Realizar una operación de molido uniforme, controlado por tamices de diferente medida, en el proceso de elaboración de abonos a partir de purines, así mismo las temperaturas deberían ser controladas en esta operación.

Realizar una operación de secado controlado con temperatura y tiempo, para poder llegar a valores de humedad menores a 10 %.

Usar siempre una mezcladora en la incorporación de las materias primas para la elaboración del abono.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barceló F. (2003) Técnicas instrumentales en bioquímica y biología. Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico. Universidad de las Islas Baleares, 2003. ISBN 8476328087
- Borrás, J. y Sánchez, J. (1997). Intensificación de la ganadería porcina y problemas medioambientales en la Conca de Tremp (Pirineo Catalán). Espacio, Tiempo y Forma. Serie VI, Geografía, tomo 10, pp. 75-90.
- Coma, J. y Bonet, J. (2004). Producción ganadera y contaminación ambiental. En García; De Blas y González (Coords.): Nutrición y Alimentación Animal. XX Curso de Especialización FEDNA. pp. 237- 272.
- Córdova O. (2016) Proyecto Mejoramiento del Servicio de Agua del sistema de Riego Cerro Negro y Amarillo, Distrito El Carmen de la Frontera, Huancabamba-Piura. Ministerio de Desarrollo e inclusión social. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/224383172/abonos-organicos-docx>
- De Liñán C. y De Liñán V. (2015). Vademécum de productos fitosanitarios y nutricionales 2015. p. 832. ISBN 9788416389216.
- DeRousseau, Kasprzyk y Srubar (2018) Optimización del diseño computacional de mezclas de hormigón: una revisión. Department of Civil, Environmental, and Architectural Engineering, University of Colorado Boulder, 1111 Engineering Drive, ECOT 441 UCB 428, Boulder, CO 80309- 0428, USA. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.04.007>
- Espejo Marín, C. (1996). Sistemas de explotación ganadera: notas en torno a su concepto. Lurralde, nº 19, pp. 89-104.
- Espejo Marín, C. (1997). Sistemas de explotación del ganado en la Región de Murcia. Papeles de Geografía, nº 26, pp. 79-92.
- Espejo Marín, C. (2005). La energía eléctrica en régimen especial en España. En Amica Verba in Honorem Prof. Antonio Roldán Pérez, Murcia, Universidad de Murcia, pp. 249-263.
- Faz A. (2011). Método que convierte purines de cerdo en fertilizante y agua de riego. Escuela de ingeniería Agrónoma. Universidad politécnica de Cartagena. Recuperado de: <http://www.upct.es/saladeprensa/notas.php?id=1912>

- Gandarilla O. López M. (2007). Universidad Autónoma Metropolitana. División de ciencias básicas e ingeniería licenciatura ingeniería electrónica. Sistema de control de fermentador. Recuperado de: <http://148.206.53.84/tesiuami/UAMI14478.pdf>
- Gonzales L. Jimenez Y. y Sarzosa N. (2014) “Sustancias naturales inhibidoras para el control de algunos microorganismos” Universidad nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Facultad de ciencias del ambiente. Escuela académico profesional de ingeniería ambiental. Huaraz - Perú 2014
- Instituto Geográfico Aguslln Codazzi. (1973). Métodos analíticos da laboratorio da suelos. Tercera edición. Bogotá.
- Lobera, J.B. (1996). Tratamiento integral de purines. Murcia, Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua, 61 pp.
- Núñez S. (2014) Estimación y Control De Procesos Biotecnológicos Multivariados. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/44031/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Menéndez, Bonavetti & Irassar (2008). Los Diseños de Experimentos. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. email: lem@fio.unicen.edu.ar. Recuperado de: <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/11415/000511207.pdf?sequence=1>
- Mengel K. y Kirkby, E.A. (1982). Phosphorus. Capítulo 9. En Principales of Plant Nutrition. P387-410.
- Mosquera, B. (2010). Abonos orgánicos. Protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Ecuador: Fondo para la protección del agua (FONAG), con apoyo de la USAID. p. 5. p. 5.
- Nortcliff. S. (1988). Soil formation and characteristics of soil profiles. Capítulo 5 en Russell's Soil Conditions and Plant Growth. 11 th edición. A. Wild (ed).
- Osorio (2000) j. Principios éticos de la investigación en seres humanos y en animales. Universidad del Valle, Cali, Colombia. Recuperado de: http://medicinabuenosaires.com/demo/revistas/vol60-00/2/v60_n2_255_258.pdf

- Ramos D. y Terry E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Departamento de Fitotecnia, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), gaveta postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007
- Ramos F. (2017) Nutrición Vegetal. Universidad Autónoma de Aguas Calientes. Recuperado de: <https://agricoladigital.com/wp-content/uploads/2017/09/Nutrici%C3%B3n-Vegetal.pdf>
- Reyes i. (2005). Diseño de registros para el control de los procesos del área de producción de una planta automatizada de fertilizantes. Universidad de la Salle. Facultad de Administración Agropecuaria. Bogotá, D.C. Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/5111/00780692.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rocha M., Ponce J. y Azero M. (2012). Estudio del mejoramiento de la calidad del suelo por el uso de diferentes enmiendas orgánicas en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigenavar. Waycha*) en la Granja Modelo Pairumani. Departamento de Investigación y Difusión Agrobiológica, Granja Modelo Pairumani, Fundación Simón I. Patiño, Cochabamba, Bolivia. Pairumani. e-mail: mirvia.rocha@gmail.com, Recuperado de: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892012000200002
- Román P., Martínez M. y Pantoja A. (2013) MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile, 2013. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Sheifa J. McKean (1993) Manual de Análisis de Suelos y Tejido Vegetal - Una guía teórica y práctica de metodologías. Centro Internacional de Agricultura Tropical· CIAT.
- Salcedo L. (2008) Elaboración y evaluación de un biol frente a los abonos químicos en un cultivo de pepino, en la parroquia Guayllabamba del cantón quito provincia de pichincha. Universidad Nacional de Loja. Área agropecuaria y de recursos

naturales renovables. Carrera de ingeniería en administración y producción agropecuaria. Loja – Ecuador 2008

Saldaña, J.; Torres, C.; Bernal, J. (2015). Termodinámica para Ingenieros. Grupo Editorial Patria. ISBN 9786077442707.

Suarez J. (2012) Fertilizante Organico a partir de residuos organicos (petalos de girasol). Recuperado de: <http://unacfiq-metodologia.blogspot.com/2012/11/fertilizante-organico-partir-de.html>

Thomas, G. W. (1982). Exchangeable cations. Capitulo 9 en Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy 9. 2nd Edition. ASA SSSA. A.L. Page. A.H. Miller y D.R. Keeney (eds). ASA. SSSA.

US Salinity Laboratory Staff, (1954). Diagnosis and Improvement of saline and alkaline soils Agric. Handbook No. 60. USDA.

Varnero M., Muñoz S. y Zúñiga R. (2009) Valorización Agrícola de Purines Porcinos Procesados con Aserrín de Pino. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Casilla 1004, Santiago-Chile. e-mail: mvarnero@uchile.cl, smunoz@uchile.cl, rzunigas@vtr.net). Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642009000600011

Varnero M. (2011). Manual de Biogas. FAO. Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. Santiago de Chile, 2011. hernanromero@vtr.net. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

Walkley, A. Y Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37 29-38.

Waqas, M., Rehan, M., Khan, MD, y Nizami, A.-S. (2018). Conversión de residuos alimenticios a productos de fermentación. Módulo de Referencia en Ciencia de los Alimentos. doi: 10.1016 / b978-0-08-100596-5.22294-4

Yan Wang, Yuchun Zhuc, Shuoxin Zhanga y Yongqiang Wang (2018) ¿Qué promoverá los agricultores para reemplazar los fertilizantes químicos con fertilizantes orgánicos? a.College of Forestry, Northwest A& F University, Yangling, 712100, Shaanxi, PR China b.College of Science, Northwest A& F University,

Yangling, 712100, Shaanxi, PR China c.College of Economics & Management,
Northwest A& F University, Yangling, 712100, Shaanxi, PR China.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.222>

Yijun Kang, Yangyang Hao, Min Shen, Qingxin Zhao, Qing Li & Jian Hu (2015).
Impactos de la suplementación de fertilizantes químicos con fertilizantes
orgánicos fabricados con estiércol de cerdo como sustrato en la propagación de
genes de resistencia a la tetraciclina en el suelo. a.Environmental Science &
Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu, PR China b.College of
Marine and Bio-engineering, Yancheng Teachers University, Yancheng,
Jiangsu, PR China.

Anexo



Figura 26. Pruebas en campo, usando el abono orgánico de la mejor mezcla.
Fuente: Elaboración Propia