

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Agroindustria Alimentaria
Ingeniería en Agroindustria Alimentaria



Proyecto Especial de Graduación

**Optimización del tiempo de mezcla de alimentos balanceados a través del
método de Microtracers[®] validado mediante prueba de dilución usando
fósforo**

Estudiante

Jordy Javier Arana Garcia

Asesores

Edward Moncada, Mgr.

Raul Espinal, Ph.D.

Honduras, noviembre 2023

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ADELA M. ACOSTA MARCHETTI

Directora Departamento de Agroindustria Alimentaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos	7
Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
Materiales y Métodos	13
Ubicación del Estudio	13
Elaboración del Alimento Balanceado	14
Análisis Físico	16
Granulometría	16
Evaluación de la Mezcla	16
Análisis Químicos	19
Fósforo	19
Proteína	19
Diseño Experimental	19
Análisis Estadístico	19
Resultados y Discusión	21
Granulometría	21
Evaluación de Microtrazadores	22
Validación con Análisis Químicos	24
Proteína Cruda	24
Determinación de Fósforo	25
Conclusiones	27

Recomendaciones..... 28

Referencias..... 29

Anexos..... 31

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Parámetros de la mezcladora a utilizar en este estudio.	13
Cuadro 2 Composición de la dieta “Cerdo desarrollo 2022”	14
Cuadro 3 Determinación de tiempos de mezclado, según tratamiento.....	20
Cuadro 4 Resultados de los diferentes tiempos de mezclado establecidos, según tratamiento.	23
Cuadro 5 Resultados de análisis químicos para validación del Tratamiento 1.	26

Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama de flujo de mezclado.....	15
Figura 2 Diagrama de flujo para prueba de microtrazadores.....	18
Figura 3 Granulometría presentada en la harina de maíz.	21
Figura 4 Granulometría presentada en la harina de soya.	22
Figura 5 Media de trazadores recuperados, según tratamiento.	23
Figura 6 Coeficientes de variación obtenidos, según tratamiento.	24

Índice de Anexos

Anexo A Análisis de cenizas AOAC 923.03	31
Anexo B Determinación de fósforo por espectrofotometría AOAC 985.35	33
Anexo C Determinación de nitrógeno Kjeldahl AOAC 2001.11	34
Anexo D Hoja de toma de datos	36
Anexo E Tabla de resultados por medio de la plantilla Microtracers® Excel de la toma de datos del tratamiento control y su gráfica.....	37
Anexo F Tabla de resultados por medio de la plantilla Microtracers® Excel de la toma de datos del tratamiento 1 y su gráfica.	38
Anexo G Tabla de resultados por medio de la plantilla Microtracers® Excel de la toma de datos del tratamiento 2 y su gráfica.	39
Anexo H Tabla de resultados por medio de la plantilla Microtracers® Excel de la toma de datos del tratamiento 3 y su gráfica.	40
Anexo I Tabla de resultados por medio de la plantilla Microtracers® Excel de la toma de datos del tratamiento 4 y su gráfica.	41
Anexo J Tabla de resultados por medio de la plantilla Microtracers® Excel de la toma de datos del tratamiento 5 y su gráfica.	42
Anexo K Tabla de resultados por medio de la plantilla Microtracers® Excel de la toma de datos del tratamiento 6 y su gráfica.	43
Anexo L Fechas de toma de muestras.	44
Anexo M Tabla de resultados de validación para el mejor tratamiento y sus gráficas.	45
Anexo N Ilustraciones de la investigación.	47

Resumen

El alimento balanceado para consumo animal representa un gran aporte económico a la industria alimentaria. La preparación de este se define como el proceso de unificar los distintos ingredientes hasta obtener la mayor homogeneidad posible. La elaboración de este producto parte de la necesidad de cumplir y brindar a los animales los componentes necesarios para su adecuada nutrición. Esta investigación tuvo por objetivo evaluar el efecto del tiempo de mezclado para optimizar el proceso de producción. Para la lograr este propósito, se estableció un proceso determinado por la empresa Microtracers® usando limaduras de hierro con colorante de grado alimenticio con los cuales se evaluaron seis tratamientos y un control, variando en el tiempo total de mezclado. La dieta utilizada fue “Cerdo desarrollo” debido a que es la de mayor regularidad bajo pedido por parte de la unidad de ganado porcino. Se determinó la eficiencia del mezclado por medio del conteo de microtrazadores recuperados. Para el análisis de datos se utilizó el programa Microsoft Excel® versión 365 elaborado por la empresa Microtracers® y un Diseño Completamente al Azar (DCA) con una separación de medias Duncan. Los resultados mostraron que el tratamiento con menor tiempo de mezcla cumple con el coeficiente de variación óptimo para considerarse una buena mezcla. Se realizó una validación de análisis químicos al mejor resultado determinando la uniformidad de la proteína cruda y el fósforo demostrando la correcta homogeneidad del alimento. El tiempo de mezcla se logró reducir optimizando así las demás etapas de producción.

Palabras clave: coeficiente de variación, mezclado, microtrazadores.

Abstract

Feed represents a great economic contribution to the food industry. The preparation of this is defined as the process of unifying the different ingredients until obtaining the greatest possible homogeneity. The elaboration of this product is based on the need to comply and provide the animals with the necessary components for their adequate nutrition. This research aimed to evaluate the effect of mixing time to optimize the production process. To achieve this purpose, a process determined by the company Microtracers® was established using iron filings with food grade dye, with which six treatments and one control were evaluated, varying in the total mixing time. The diet used was "Development Pig Diet" because it is the most regular one requested by the pig unit. Mixing efficiency was determined by counting recovered microtracers. For data analysis, the Microsoft Excel® 365 program developed by the company Microtracers® and a Completely Randomized Design (CRD) with a Duncan mean separation were used. The results showed that the treatment with the shortest mixing time meets the optimum coefficient of variation to be considered a good mix. A validation of chemical analysis was carried out for the best result, determining the uniformity of crude protein and phosphorus, demonstrating the correct homogeneity of the food. The mixing time was reduced, thus optimizing the other production stages.

Keywords: variation coefficient, microtracers, mixed.

Introducción

La producción mundial de alimentos balanceados para el año 2022 representó un total de 1,266 millones de toneladas métricas. La producción de alimento balanceado aumentó en varias regiones, incluyendo América Latina (1.6%), Norteamérica (0.88%) y Oceanía (0.32%) (Alltech, 2023).

En Honduras se fabrican al año entre 1.3 y 1.4 millones de toneladas de alimentos balanceados para todas las especies (Ruíz, 2018).

El alimento balanceado para consumo animal es de gran importancia y presenta un gran auge dentro de la industria alimentaria. La elaboración de estos alimentos parte de la necesidad de suplir todos los componentes nutricionales que los animales necesitan en cantidades adecuadas con relación a su etapa en desarrollo. La preparación de los piensos se define como un proceso de unificar distintos ingredientes para obtener un producto homogéneo que aporte todos los nutrientes y el animal pueda aprovechar su máximo potencial (Wong, 2016).

La planta de alimentos balanceados Zamorano es la encargada del procesamiento y distribución de producto terminado de las distintas formulaciones para consumo animal a las unidades productivas internas que se encuentran en la universidad. A lo largo de los años la planta ha trabajado con la misma maquinaria y se puede esperar un rendimiento menor a medida que pasa el tiempo. En la planta se procesan dietas para ganado porcino, ganado lechero, vaquillas, terneros y gallinas del área de agricultura orgánica (Arzú, 2018).

La molienda es el primer procesamiento que cumplen las materias primas en la elaboración de alimento balanceado. En la industria, la molienda hace referencia a la reducción de tamaño de partícula, que es aquella operación unitaria en la que el tamaño de los alimentos sólidos es reducido por la aplicación de fuerza. (Bustamante, 2017).

La granulometría es un aspecto útil con una relevancia significativa en cuanto a la nutrición animal se refiere ya que así se estimula un mejor consumo y las tasas de digestión de los nutrientes se aprovechan de la mejor manera. Es de suma importancia centrar la atención a la molienda del maíz

para la elaboración de estos alimentos ya que su propósito es preparar y pulverizar el grano en la estructura óptima de acuerdo con las diversas especies de animales y sus distintas necesidades nutricionales, es por ello, por lo que existen diversas maquinarias para producir alimento molido según la clase de alimento a elaborar en la planta industrial. Específicamente para la producción de concentrados para porcinos y aves se utilizan molinos de matillos o molinos de discos, teniendo en cuenta el diámetro de orificio de la criba y las revoluciones del motor (Martínez, 2018).

Dentro de los mayores retos tanto para el fabricante y cliente es la seguridad de distribución de los nutrientes como las vitaminas, minerales y medicamentos por igual y que cada animal consuma las raciones adecuadas con base a los requerimientos previamente establecidos de acuerdo con el cliente (Banegas, 2009).

La mejor condición del alimento balanceado está determinada por la calidad de la materia prima y la homogeneidad de la mezcla ya que esta puede ser afectada por algunas de las características de los ingredientes como el tamaño, morfología y densidad de las diferentes partículas. Respecto a la uniformidad de la mezcla, depende del tipo de mezcladora y el tiempo de mezclado óptimo determinado en cada planta de elaboración de alimentos balanceados y el orden de agregado de los ingredientes (Antelo, 2008).

El alimento debe ser lo más repartido y homogéneo posible ya que dentro de algunas dietas formuladas se presenta la adición de medicamentos en bajas cantidades y produce un punto crítico en su elaboración ya que podría existir una sobredosificación en una de las unidades producidas y con mayor delicadeza es fundamental para los animales que consumen poco alimento al día como pollos con pocos días de vida y cerdos de cría (Clark et al., 2007).

El diagnóstico del rendimiento de la mezcla es una actividad requerida con el fin de garantizar los niveles de concentración de cada uno de los ingredientes que se indiquen en etiqueta y así cumplir con una evaluación y proceso ético y justificado. Para lograr esto, en toda la industria alimentaria se utiliza un coeficiente de variación (CV) <10% como el nivel que debe alcanzar la uniformidad de la

mezcladora con el tiempo óptimo previamente definido para considerarse una buena mezcla y asegurar cantidad y calidad adecuada del producto final (Clark et al., 2007).

Algunos fabricantes establecen un estándar de 5% o menos como parámetro para considerar una medida aceptable de uniformidad, esto debido a que la variación real depende del indicador a evaluar en las muestras y las variaciones causadas por el error del muestreo y la exactitud y precisión del ensayo (Schofield, 2005).

Dentro de la industria existen varios métodos para medir la eficiencia del mezclado y uno de ellos es haciendo uso de microtrazadores. Estos han sido desarrollados por la empresa Microtracers® y consisten en partículas de hierro o grafito de igual tamaño cubiertos por colorantes alimenticios y sirven como un sistema único de verificación de mezclado de los piensos (Micro-Tracers Inc).

El presente estudio tiene como propósito evaluar la homogeneidad de los piensos y la optimización de diferentes tiempos de mezclado para determinar la eficiencia de una de las mezcladoras de la Planta de alimentos balanceados, Zamorano, siguiendo los protocolos y lineamientos ya establecidos en cada uno de los flujos de procesos desde recepción, pesado, molienda y mezclado de las materias primas. La evaluación de la uniformidad de la mezcla se debe realizar por los menos dos veces al año. Debido a esto se plantearon los siguientes objetivos, evaluar el efecto del tiempo de mezclado para optimizar el proceso de producción, de igual forma, determinar el coeficiente de variación óptimo en el proceso de mezclado sobre la calidad del porcentaje de proteína del producto terminado y validar el mejor resultado analizando el nivel de fósforo por medio del método de dilución.

Materiales y Métodos

Ubicación del Estudio

El estudio se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada a 30 km de Tegucigalpa, carretera a Danlí, Valle del Yeguaré, San Antonio de Oriente, Departamento de Francisco Morazán, República de Honduras. Para la determinación de la eficiencia de la mezcladora, se realizó el estudio en la Planta de Alimentos Balanceados de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP) Zamorano. Los análisis químicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos de Zamorano (LSZ) y el análisis físico se efectuó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ).

La Planta de Alimentos Balanceados de Zamorano cuenta con una producción mensual de aproximadamente de 225,000 kilogramos que son elaborados y distribuidos a las distintas unidades de producción pecuaria dentro de la universidad. Se cuenta con dos mezcladoras con capacidad máxima de 910 y 1364 kilogramos por tanda. La planta está sujeta a cambios de rotación de personal de estudiantes dos veces por día y a un cambio de grupo cada tres semanas como resultado del aprender haciendo con el que cuenta la institución.

Para el efecto de este estudio se utilizó únicamente la mezcladora de 910 kilogramos para la producción de 20 sacos por tanda, la cual se encuentra fija desde el año 2008 con uso diario. En el Cuadro 1 se presentan los parámetros de esta mezcladora establecidos en un POES según Vásquez (2013) para la mencionada planta de producción.

Cuadro 1

Parámetros de la mezcladora a utilizar en este estudio.

Parámetros	Mezcladora
Marca	H.C Davis
Modelo	RG2P
Capacidad (kg)	910
Velocidad (RPM)	1750
Longitud del tanque (cm)	200
Ancho del tanque (cm)	103
Profundidad del tanque (cm)	118

Elaboración del Alimento Balanceado

Se utilizó para propósito de este estudio la dieta de “Cerdo desarrollo 2022”. En el Cuadro 2, se presenta esta formulación utilizada debido a que es el tipo de concentrado de mayor cantidad y regularidad solicitada por la Unidad de Ganado Porcino.

Cuadro 2

Composición de la dieta “Cerdo desarrollo 2022”.

Ingrediente	Cantidad (%)
Maíz comercial	72.43
Harina de Soya	20.30
Melaza	3.0
Aceite de palma	1.3
Carbonato de calcio gris fino	1.04
Biofos	0.87
Sal común	0.50
Vitamina Cerdo 1	0.30
Lisina	0.25
Metionina	0.06
Treonina	0.05
Total	100

El flujo de producción consta de una tolva y una mezcladora para capacidad máxima de 910 kilogramos, una bomba de melaza, un tornillo sin fin, un elevador y una tolva de producto terminado. Los ingredientes, siguiendo las Buenas Prácticas de Manufactura establecidas por Vásquez (2013), el orden de agregado de estos en tolva es el siguiente: harinas fuentes de proteína, subproductos, aditivos donde se incluyen minerales y medicamentos y por último los líquidos.

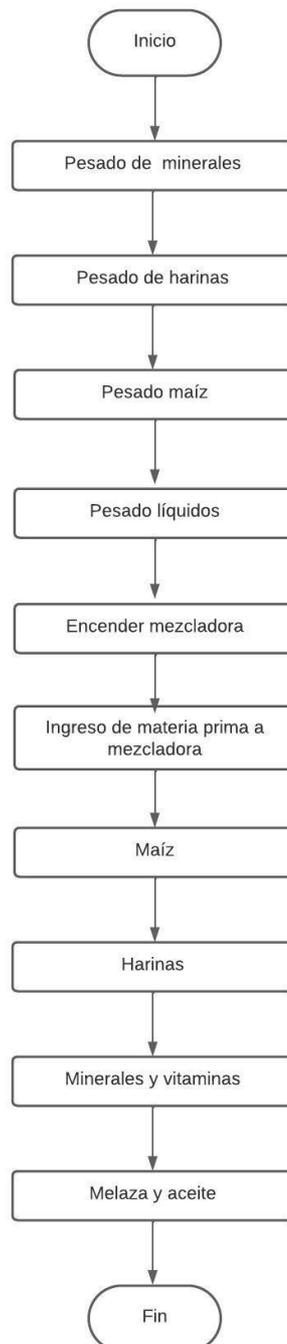
La mezcla se realizó en una mezcladora de la marca Davis, modelo RG2P con capacidad de 910 kilogramos la cual posee un agitador de paletas diseñadas para no raspar las paredes interiores de la mezcladora y asegurar un mejor producto terminado.

La adición de la melaza se realizó mediante una bomba marca Roper con capacidad de bombear 226 kilogramos/minuto. Este flujo es cambiante de acuerdo con el tipo de dieta que se esté elaborando. Luego, la mezcla del alimento balanceado es transportada por el tornillo sin fin, marca Baldor, modelo M3611T girando aproximadamente a 1725 RPM. Finalmente es llevado al elevador

de producto terminado, marca WBG, modelo N con una velocidad de 1715 RPM y cae a la tolva de producto final. En la Figura 1 se presenta el flujo de proceso correspondiente al mezclado de la Planta de Alimentos Balanceados, Zamorano.

Figura 1

Diagrama de flujo de mezclado.



Análisis Físico

Granulometría

El análisis granulométrico y propiedades físicas y funcionales en las harinas son primordiales para la industria, ya que facilita la estandarización y proceso de productos (Rios et al., 2018). El parámetro físico de granulometría se realizó en la harina de maíz y en la harina de soya utilizada en la dieta correspondiente a este estudio para determinar bajo qué medida de partículas se está elaborando la dieta. Se determinó bajo la metodología AOAC 965.22 con una muestra de 50 gramos con un duplicado. Se agitó durante 5 minutos cada muestra y se pesó la harina que se retuvo en cada tamiz (Latimer, 2016).

Evaluación de la Mezcla

Se utilizó el método establecido por la empresa Microtracers® en donde menciona que los microtrazadores son partículas uniformes de limadura de hierro con tamaño homogéneo recubiertos por colorantes alimenticios solubles en una solución de agua-alcohol al 50%. El 95% de estas partículas logran pasar a través de una malla N°35 (417 micrones) pero son retenidos en una malla N°100 (147 micrones) y que después son recuperados magnéticamente y al ser rociado por la solución de alcohol para evidenciar la presencia de estos trazadores. El uso de los trazadores es útil tanto para la rastreabilidad de los diferentes componentes en los piensos acabados, como para el control de la uniformidad de la mezcla, así como para el análisis, semicuantitativo de los microingredientes rastreados (Bagliacca et al., 2002).

Los materiales utilizados para esta evaluación fueron los siguiente: balanza, bolsas de LDPE (13x30 cm), marcador permanente, pala de plástico, detector rotatorio Microtracers, papel filtro de 7.5 y 18 cm de diámetro, taza de aluminio, pinceles y atomizador con etanol al 50%.

Continuando con la metodología utilizada por Microtracers®, para la adición del trazador a la tolva de la mezcladora, se realizó una premezcla de 0.50 kilogramos de maíz molido y 0.0227 kilogramos de trazadores para posteriormente agregar a una tanda de 910 kilogramos. La premezcla

fue añadida al final de agregar los micronutrientes originales de la dieta. La determinación de la cantidad de trazadores se estableció partiendo del supuesto de la empresa en utilizar 0.025 kilogramos de trazadores por cada 1000 kilogramos de alimento.

Para la toma de muestra, el agregado de la premezcla se realizó en tandas de producción de por medio para así evitar posible contaminación de trazadores. Teniendo esto en cuenta, en cada tanda de 910 kilogramos, lo equivalente a 20 sacos de 45 kilogramos, se tomaron 10 muestras de 0.1 kilogramo cada una, mediante una secuencia de sacos números pares que posteriormente fueron rotuladas para un mejor control.

En la recuperación de los trazadores, se utilizó el detector rotatorio magnético, modelo W-99, que es un equipo diseñado por la empresa Microtracers INC, que consta de un armazón de acero inoxidable con un embudo en la parte superior y una salida rectangular en la parte inferior, con un motor eléctrico con un imán circular en su interior, el cual es utilizado para recuperar todas las partículas metálicas. Este se debe colocar en un espacio limpio y nivelado. Se retiró la parte superior del detector y se colocó el papel filtro de 7.5 cm de diámetro en el centro del imán, se procedió a colocar la parte superior y se encendió el equipo. Se vació la muestra previamente obtenida y se apagó el equipo hasta que el embudo del equipo haya quedado vacío por completo.

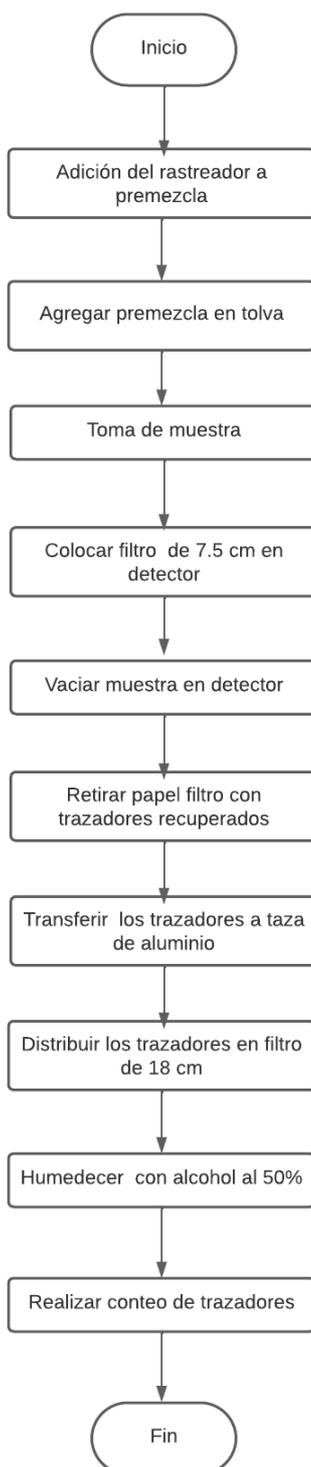
Después de esto, se retiró nuevamente la parte superior y se extrajo el papel filtro con las partículas de hierro atrapadas por el imán y se pasaron a una taza de aluminio con ayuda de un pincel. Esto se realizó para obtener una mayor uniformidad al momento de transferir los trazadores al filtro de 18 cm de diámetro y finalmente se humedeció con la solución de alcohol al 50% para que desprendiera el colorante impregnado y se dejó secar al ambiente.

Para el conteo de los trazadores, se identificó el número de manchas de colorante plasmadas en el filtro y se utilizó la aplicación móvil Microtracers® para el conteo de estas y registrar la cantidad de cada papel filtro. Todo el proceso de recuperación y conteo se repite con cada muestra en todas

las tandas de producción. En la Figura 2 se muestra el flujo de proceso a seguir para la determinación de la cantidad de trazadores.

Figura 2

Diagrama de flujo para prueba de microtrazadores.



Análisis Químicos

Al tratamiento con mejor resultado, teniendo como indicador el coeficiente de variación (CV) y el tiempo de mezclado, se le realizó una validación a nivel de laboratorio, con el fin de comprobar y corroborar que todos los ingredientes de la formulación se distribuyen por igual. Esto se basó en el estudio de un micronutriente y un macronutriente, según la dieta utilizada, para así validar el método empleado por la empresa Microtracers®.

Fósforo

La determinación de fósforo se realizó primero a 10 muestras, replicando la tanda de mejor resultado estadísticamente. Las muestras se incineraron para destruir la matriz orgánica mediante el método AOAC 923.03. Luego, se cuantificó la cantidad de fósforo por muestra por medio de espectrofotometría. En el anexo A y B se presenta la metodología usada.

Proteína

La cuantificación de proteína se realizó a 10 muestras, replicando la tanda de mejor resultado estadísticamente bajo el método AOAC 2001.11 en donde se determinó nitrógeno y, por consiguiente, bajo un factor de conversión, se definió la cantidad de proteína. En el Anexo C se presenta la metodología utilizada.

Diseño Experimental

Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) evaluando seis tratamientos y un control con tres repeticiones cada uno, obteniendo un total de veintiuno unidades experimentales. En el Cuadro 3 se detallan los tratamientos establecidos.

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos se analizaron en el programa SAS® (Statistical Analysis System, por sus siglas en inglés), Versión 9.4, a través de un análisis de varianza (ANDEVA) y una separación de medias (Duncan) a fin de determinar el tratamiento con el mejor resultado. Así mismo, los datos fueron analizados mediante el programa Microsoft Excel® versión 365, elaborado por la empresa

Microtracers® en donde se obtuvieron análisis de diferentes estadígrafos como chi cuadrado y distribución de Poisson para verificación de los parámetros de mezcla ya establecidos.

Cuadro 3

Determinación de tiempos de mezclado, según tratamiento.

Tratamiento	Tiempo mezcla en seco (min)	Tiempo mezcla en húmedo (min)
Control	1:00	5:00
1	1:00	03:30
2	1:00	04:00
3	1:00	04:30
4	1:00	05:30
5	1:00	06:00
6	1:00	06:30

Resultados y Discusión

Granulometría

La Figura 3 muestra la granulometría de la harina de maíz se ajustó en 20 partículas por pulgada cuadrada (mesh). Es decir, la mayor cantidad de gránulos retenidos arroja un tamaño de 850 micrones con un 55.30%. De acuerdo con los resultados de Goodband et al. (2002) donde menciona que el tamaño de partícula en la alimentación del cerdo puede mejorar la conversión del alimento entre un 3 y 8%. Estadísticamente mediante una ecuación de regresión para cerdos comprendidos entre 55 y 108 kilogramos con un rango entre 400 y 1200 micrones determina que la adecuada alimentación porcina comprende un rango de 600 a 800 micrones. Es por ello por lo que este tamaño debe ser corregido mediante un mejor molido del maíz por medio de zarandas o cribas más de menor dimensión para asegurar una harina más fina. De igual forma, verificar el tipo, estado y número de martillos con los que cuenta el molino de la planta en conjunto con su rapidez y fuerza (Cerioli, 2006).

La Figura 4 muestra la granulometría de la harina de soya se ajustó en 20 partículas por pulgada cuadrada (mesh). De igual manera que la harina de maíz, la mayor cantidad de gránulos retenidos arroja un tamaño de 850 micrones con un 55.50%.

Figura 3

Granulometría presentada en la harina de maíz.

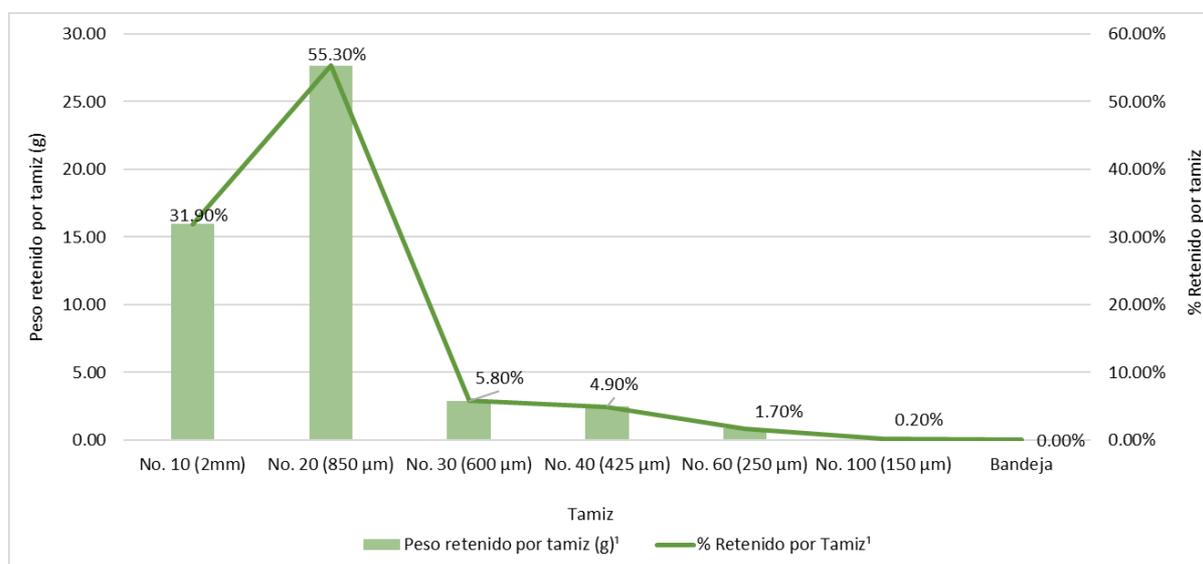
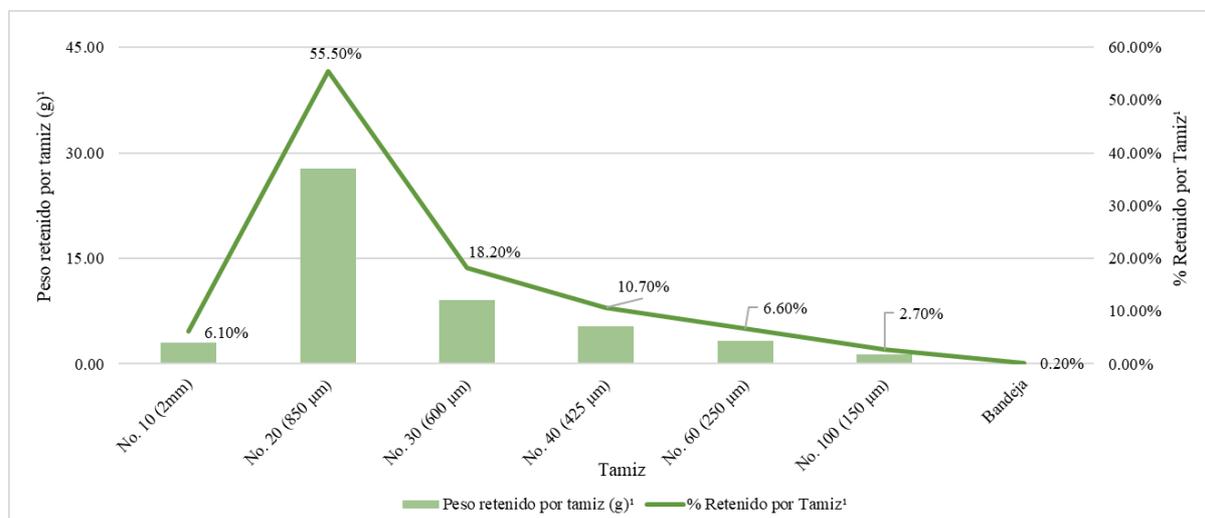


Figura 4

Granulometría presentada en la harina de soya.



Evaluación de Microtrazadores

Los resultados obtenidos tuvieron base en la cantidad de microtrazadores recuperados, según (Micro-Tracers Inc) se recupera no menos del 98% de los trazadores que pasan a través del detector. De acuerdo con la empresa, 1 gramo de microtrazadores = 25000 partículas de limaduras de hierro. El cálculo de recuperación se estableció mediante la cantidad utilizada de trazadores según la tanda de producción de 910 kilogramos.

$22.7 \text{ gramos microtrazadores} \times 25,000 \text{ partículas} = 567,500 \text{ partículas en total.}$

$567,500 \text{ partículas} / 910 \text{ kg alimento} = 623 \text{ partículas por kg.}$

$623 \text{ partículas} \times 0.1 \text{ kilogramos alimento} = 62 \text{ partículas por kg.}$

62 partículas por cada muestra de 0.1 kilogramos.

En el Cuadro 4 se muestran los resultados obtenidos en la plantilla de Microtracers® en el programa Microsoft Excel® en versión 365, en el que se indica que los tratamientos 1 y 2 cuentan con mayor media de recuperación de los trazadores, estos con el menor tiempo de mezclado. Estos resultados se encuentran por arriba del cálculo teórico esperado por la empresa. Como menciona

Quillupangui (2011), de esta manera se evalúa con exactitud la variable de conteo o de proporciones generando así los límites de decisión en la industria con base a la calidad del concentrado.

Respecto a los resultados correspondientes a los coeficientes de variación, se muestra que no tienen una interacción directa con el tiempo de mezclado.

Cuadro 4

Resultados de los diferentes tiempos de mezclado establecidos, según tratamiento.

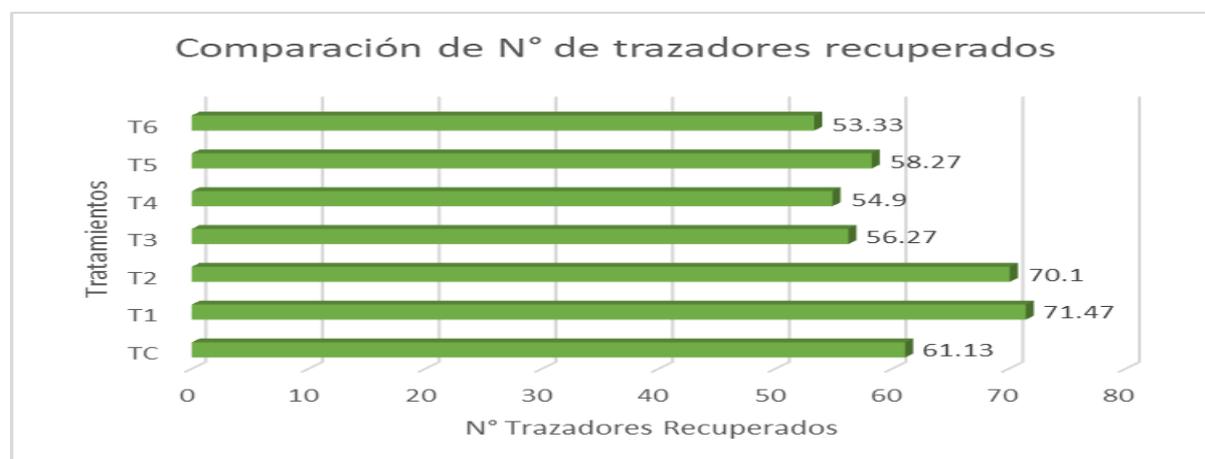
Tratamiento	TMS (minutos)	TMH (minutos)	No. Trazadores recuperados Media \pm D.E.	C.V (%)
Control	01:00	05:00	61.13 \pm 7.58 ^B	12.40
1	01:00	03:30	71.47 \pm 6.52 ^A	9.12
2	01:00	04:00	70.10 \pm 7.87 ^A	11.23
3	01:00	04:30	56.27 \pm 4.51 ^{BC}	8.02
4	01:00	05:30	54.90 \pm 9.03 ^{BC}	15.74
5	01:00	06:00	58.27 \pm 5.45 ^{BC}	9.35
6	01:00	06:30	53.33 \pm 4.68 ^C	8.77

Nota. TMS = Tiempo mezcla en seco, TMH = Tiempo mezcla en húmedo, D.E = Desviación estándar, C.V = coeficiente de variación expresado en porcentaje. A-C = Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa entre tratamientos ($P < 0.05$).

Existe una diferencia significativa de los Tratamientos 1 y 2 en comparación con los demás tratamientos ya que, como se observa en la Figura 5, los menores tiempos obtuvieron la mayor recuperación de media de los trazadores, superando la media de 62 partículas recuperadas atribuyendo así que los tiempos inferiores de mezclado siguen siendo óptimos para establecerlos dentro de la planta de alimentos.

Figura 5

Media de trazadores recuperados, según tratamiento.

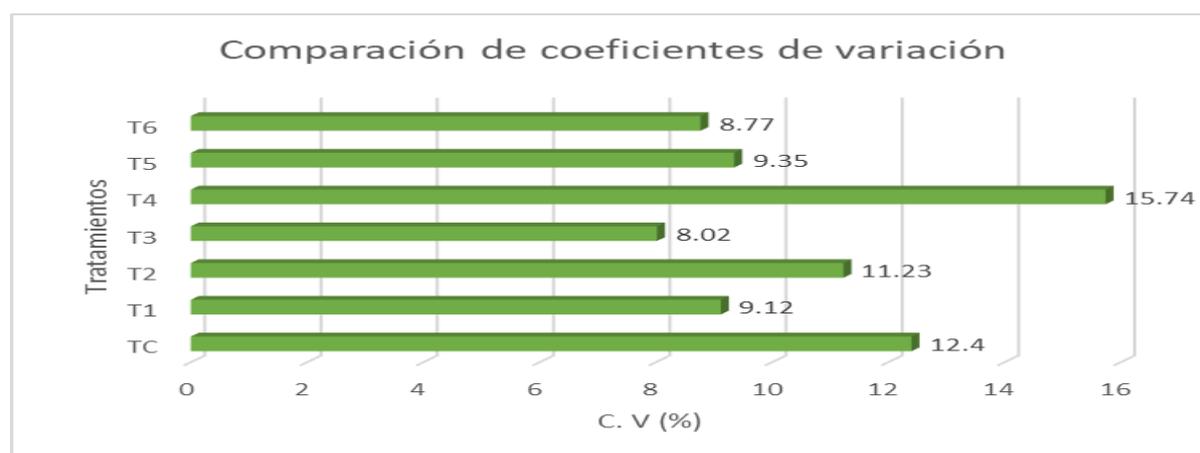


De acuerdo con los datos obtenidos, el Tratamiento 4 registró el coeficiente de variación más bajo, sin embargo, según Schofield (2005), determina que un buen mezclado se logra obtener con un coeficiente de variación <10% que es el índice usado a través de la industria para asegurar un nivel de uniformidad de los piensos en la mezcladora. A manera de optimizar el tiempo de mezcla en la Planta de alimentos balanceados, el mejor resultado fue el Tratamiento 1 con un coeficiente de variación de 9.12% calificando como buena mezcla al estar por debajo del parámetro establecido.

Como indica la Figura 6, los coeficientes de variación no tienen una relación con el aumento del tiempo y se corrobora que la Planta de alimentos balanceados, Zamorano, tiene la capacidad de asegurar un buen mezclado en el menor tiempo de mezcla posible.

Figura 6

Coefficientes de variación obtenidos, según tratamiento.



Validación con Análisis Químicos

Proteína Cruda

En la presenta investigación, se obtuvo como resultado 14.74 g/100 g de proteína cruda al efectuar el promedio de las muestras analizadas para la validación del Tratamiento 1. Este resultado se asemeja al porcentaje esperado por la unidad de ganado porcino para la dieta evaluada en este estudio ya que esta es del 15.5% siendo definida por Castillo (2013). Es importante cumplir con los requerimientos establecidos por el cliente, ya que, según Contreras (2016), la deficiencia de proteínas

en la dieta de los animales puede provocar una disminución en la capacidad de resistencia corporal, insuficiente formación de proteínas del mismo tipo y por consiguiente, desgaste muscular. Además, se le atribuye una actividad enzimática disminuida produciendo un retraso en los procesos metabólicos, productivos y menor resistencia a las infecciones.

Determinación de Fósforo

La cuantificación de la presencia de fósforo al efectuar el promedio de las muestras analizadas para la validación del Tratamiento 1, tuvo como resultado 0.30 g/100 g. El fósforo es un mineral esencial para el metabolismo del organismo animal donde interviene en el desarrollo y mantenimiento beneficioso de las estructuras óseas. Es un componente del ATP y de los ácidos nucleicos y forma parte de los fosfolípidos que integran y dan flexibilidad a las membranas celulares (Pedehontâa, 2010).

El fósforo es un componente que necesita un suministro adecuado en la dieta de los cerdos ya que así puede satisfacer las necesidades diarias y sostener la homeostasis de este micronutriente (Schröder et al., 1996).

La demanda de fósforo de los cerdos en desarrollo y crecimiento comprende los requisitos para el mantenimiento y la deposición tisular. El fósforo es de los ingredientes en los alimentos balanceados que debe ser digeridos y absorbidos por el cerdo antes de su reparto final entre los dos componentes con las necesidades ya mencionadas (Zhai et al., 2022).

En el Cuadro 5 se muestran los resultados obtenidos del proceso de validación del mejor tratamiento con base a los datos obtenidos por medio del método de Microtracers® midiendo a la cantidad de proteína cruda y fósforo de la dieta.

Cuadro 5

Resultados de análisis químicos para validación del Tratamiento 1.

Nutrientes	Media \pm D.E. (g/100g)	C.V(%)
Proteína	14.74 \pm 0.53	3.60
Fósforo	0.30 \pm 0.034	11.12

Nota. D.E = Desviación estándar, C.V = coeficiente de variación expresado en porcentaje.

Conclusiones

El tiempo de mezcla tuvo una reducción significativa en el proceso de producción ya que al reducir el periodo de mezclado se optimizan todas las demás etapas posteriores del proceso.

El coeficiente de variación óptimo para mezclado estuvo por debajo del 10% siendo así validado por los niveles de proteína cruda encontrados en el producto final.

Los resultados obtenidos por el método de la empresa Microtracers® mostraron uniformidad en la mayoría de los tratamientos y el tiempo más eficiente permitió estar alineado a los datos obtenidos por el método de dilución de fósforo.

Recomendaciones

Ajustar la granulometría del maíz utilizado para las dietas de cerdos a 600 micrones.

Realizar el estudio en la mezcladora de 30 quintales para verificar la eficiencia de mezclado y determinar si existe una diferencia con la mezcladora de 20 quintales.

Realizar el estudio evaluando distintas dietas para la unidad de ganado lechero y para la producción de aves.

Evaluar con otros métodos frecuentemente usados para llevar un mejor control de mezclado como el uso de cintas de medición de sodio.

Referencias

- Alltech. (2023). *Perspectivas del sector agroalimentario de Alltech*. <https://www.alltech.com/sites/default/files/2023-01/Alltech%20Agri-Food%20Outlook%202023%20ES%20v2.pdf>
- Antelo, X. (2008). *Efecto del tiempo y procedimiento de mezclado del alimento balanceado para gallinas ponedoras sobre la producción y calidad del huevo de mesa* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b426b018-44b0-4873-a015-ffc31ad540ef/content>
- Arzú, L. (2018). *Optimización del tiempo de mezcla de alimentos balanceados a través del método de Microtracers® en la planta de alimentos balanceados de Zamorano* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/0d357da7-917d-43d0-9950-eb6978d83782/content>
- Bagliacca, M., Paci, G., Marzoni, M. y Lisi, E. (2002). Impiego di particelle di ferro colorate (Microtracers©) come traccianti dei mangimi e per il controllo della miscelazione. *Large Animals Review*, 8(2), 9–12. https://vetjournal.it/images/archive/pdf_riviste/2430.pdf
- Banegas, D. (2009). *Efecto del tiempo y procedimiento de mezclado del alimento balanceado en la producción de pollos de engorde* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/4d05139f-2a72-426d-9250-ea2d764cc61a/content>
- Bustamante, A. (2017). *Optimización del proceso de molienda de la Planta 2 de Minera Saucito* [Tesis de Pregrado]. Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, México. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/25933/Optimizacion%20del%20proceso%20de%20molienda%20en%20la%20planta%202.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castillo, R. (2013). Contribuciones de la Escuela Agrícola Panamericana a la Producción Porcina. *Ceiba*, 52(1), 90–98. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v52i1.975>
- Cerioni, D. (2006). *Relevamiento granulométrico de las dietas utilizadas por criaderos de cerdo en el área de influencia de la Universidad Nacional de Río Cuarto* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina. <https://repodigital.unrc.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/62948/62948.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Clark, P. M., Behnke, K. C. y Poole, D. R. (2007). Effects of Marker Selection and Mix Time on the Coefficient of Variation (Mix Uniformity) of Broiler Feed. *Journal of Applied Poultry Research*, 16(3), 464–470. <https://doi.org/10.1093/japr/16.3.464>
- Contreras, A. (2016). *Comportamiento productivo y composición nutricional de la carne de cerdos alimentados con dietas bajas en proteína con diferentes niveles de lisina en etapa de finalización*. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/65778>
- Goodband, R., Tokach, M. y Nelssen, J. (2002). The Effects of Diet Particle Size on Animal Performance. *MF-2050 Feed Manufacturing*. <https://bookstore.ksre.ksu.edu/pubs/mf2050.pdf>

- Latimer, G. W. (Ed.). (2016). *Official methods of analysis of AOAC International* (20th Edition). AOAC International.
- Martínez, M. (2018). *Evaluación del tamaño de partícula en el alimento balanceado de cerdo mediante un análisis granulométrico* [Tesis de Pregrado]. Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, México. <http://reini.utcv.edu.mx/bitstream/123456789/423/1/6824.pdf>
- Micro-Tracers Inc. *Manual para su utilización en alimentos concentrados para animales*. California, USA. <https://microtracers.com/wp-content/uploads/2017/05/Manual-Para-Su-Utilizacion-En-Alimentos-Concentrados-Para-Animales-7-24-13-ZE.pdf>
- Pedehontãa, L. F. (2010). *Importancia del fósforo en la nutrición animal : valoración de materias primas e insumos de origen animal y vegetal*. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/2208>
- Quillupangui, P. (2011). *Estudio de la dispersión de los componentes del alimento reproductoras Broiler B (RBB) en el sistema de distribución planta-comedero y su efecto en la producción de huevos*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3833/3/CD-3604.pdf>
- Rios, M. J. B. L., Damasceno, J., Moreira Araujo, Regilda Saraiva Dos Reis, Figueiredo, E., Moura, M. y Hashimoto, J. (2018). Chemical, granulometric and technological characteristics of whole flours from commercial cultivars of cowpea. *Revista Caatinga*, 31(1), 217–224. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n125rc>
- Ruíz, B. (2018). *Los desafíos de la industria hondureña de alimentos balanceados*. Honduras. <https://www.industriaavicola.net/mercados-y-negocios/los-desafios-de-la-industria-hondurena-de-alimentos-balanceados/>
- Schofield, E. (Ed.). (2005). *Mixing: Vol. 3. Feed Manufacturing Technology* (5ª ed.). Kansas State University. <https://es.scribd.com/document/521508757/Feed-Manufacturing-Technology-Version-5>
- Schröder, B., Breves, G. y Rodehutschord, M. (1996). Mechanisms of intestinal phosphorus absorption and availability of dietary phosphorus in pigs. *DTW. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 103(6), 209–214.
- Vásquez, G. (2013). *Elaboración de manual de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) para la Planta de Alimentos Balanceados de Zamorano* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/3c4e2e3e-d04c-40a0-ad3e-ef91f501574f/content>
- Wong, A. (2016). *Incidencia del tiempo y adición de insumos sobre la homogeneidad de alimentos balanceados elaborados en mezcladores de cintas* [Tesis de Pregrado]. Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú. <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7414e7bb-0fd5-4585-94af-19d4fd4d0efe/content>
- Zhai, H., Adeola, O. y Liu, J. (2022). Phosphorus nutrition of growing pigs. *Animal Nutrition (Zhongguo Xu Mu Shou Yi Xue Hui)*, 9, 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.01.010>

Anexos

Anexo A

Análisis de cenizas AOAC 923.03

Procedimiento:

Preparación de la cristalería

1. Limpiar todo el material volumétrico utilizado por inmersión durante la noche en HNO₃ al 20 % (v/v).
2. Lavar 3 veces con agua destilada o agua desionizada.

Preparación de las cenizas

1. Trabajar con las cenizas obtenidas según el método AOAC 923.03.
2. Si la ceniza contiene partículas de C (es decir, que es de color gris) realice los siguientes pasos:

Humedezca con 1 ml de agua y agregar 3 ml de HNO₃.

Seque en la estufa o en baño de vapor a 95 °C.

Incinerere a 525 °C, 1 - 2 h.

3. A la ceniza contenida en el crisol agregar 5 ml de HNO₃ 1 M.
4. Calentar en un baño de vapor o una estufa a 95 °C 2-3 minutos para disolver.
5. Añadir la solución a un matraz volumétrico de 50 ml.
6. Hacer lavados al crisol con 2 porciones de 5 ml de HNO₃ 1 M, y agregar al matraz volumétrico de 50 ml.
7. Para Ca y Mg: añadir 8,8 ml de solución de LaCl₃ 1 % a la dilución final de 50 ml de cada estándar y la muestra para obtener una concentración de 0,1 % (p/v) de La, si el volumen de la dilución final es diferente hacer el cálculo correspondiente de la cantidad de LaCl₃ 1 %.
8. Para Na y K: añadir 3.15 ml de solución de CsCl 10 % a la dilución final de 50 ml de cada estándar y la muestra para obtener una concentración de 0,5 % (p/v) de Cs, si el volumen de la dilución final es diferente hacer el cálculo correspondiente de la cantidad de CsCl 10 %.

9. Las concentraciones de cada elemento dentro del rango lineal del instrumento son indicadas en laboratorio según tabla.
10. Diluir con HNO_3 1M. Las diluciones adicionales necesarias son calculadas dependiendo de la concentración teórica de cada mineral presente en el producto analizado.
11. Prepare dos blancos que representen a toda la cristalería y reactivos empleados a través de todo el procedimiento.
12. Prepare la curva de calibración para cada mineral que se determine.
13. Determine las soluciones de ensayo de forma similar en el espectrofotómetro de absorción atómica.
14. Realizar los cálculos tomando en cuenta el peso de la muestra y las diluciones realizadas.

Anexo B

Determinación de fósforo por espectrofotometría AOAC 985.35

Procedimiento

Preparación de la muestra

1. Tomar las muestras se preparadas como se indica en LSZ-MT-P08 Extracción con Mehlich 3 para muestras de suelo, LSZ-MT-P34 Digestión Húmeda de fertilizantes para fertilizantes o LSZ-MT-P14 Digestión húmeda con ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno para muestras de abonos o foliares.
2. En el caso de los patrones de la curva de calibración o de las muestras de agua, tomar 5 mL y agregar 15 mL de agua destilada en un tubo de ensayo.
3. Agregar 4 mL de reactivo B, tapar con papel parafina y agitar.
4. Esperar 20 min.
5. Usando agua destilada como cero de calibración, hacer la lectura del fosforo a 660 nm en el espectrofotómetro que se opera según se muestra en LSZ-MT-I08 Operación del espectrofotómetro.
6. Las lecturas de fosforo de suelos se apuntan en LSZ-MT-F23 Lecturas en Determinación de Fósforo en Suelos y las lecturas de todas las otras muestras se apuntan en LSZ-MT-F24 Lecturas en Determinación de Fósforo en Muestras Especiales.

Anexo C

Determinación de nitrógeno Kjeldahl AOAC 2001.11

Preparación

1. Tomar la muestra pretratada según LSZ-MT-P06 Preparación y Molienda de muestras de tejido vegetal.
2. Revisar LSZ-MT-I14 Operación digestor FOSS y LSZ-MT-I13 Operación destilador FOSS. 4.2 Pesado y digestión
3. Pesar las muestras y estándares registrando cada muestra en LSZ-MT-F11 Bitácora de pesos. Si se pesa ≥ 1 g, con precisión de 0,0001 g, no pesar más de 1,2 g. Para muestras con N 0,48-4%, pesar aproximadamente 1,0 de muestra. Para un contenido de N con 4-8%, pesar aproximadamente 0,5 g de muestra. Si el $N > 8\%$ pesar aproximadamente 0,3 g de muestra.
4. Si la muestra es foliar, pesar 1 de gramo sobre un papel tarado, doblando el papel alrededor de la muestra y colocar dentro de un tubo de Kjeldahl.
5. Incluir un blanco en cada lote que contenga el papel de pesar doblado.
6. Agregar 2 tabletas de catalizador (Kjeltabs Cu 3.5 or 7 g K_2SO_4 + 0,8 g $CuSO_4$) y 12 mL de ácido sulfúrico a cada tubo, usando un dispensador. Dejar las muestras en la campana de gases.
7. Encender el digestor y calentar a 420 °C.
8. Colocar los tubos en el bloque del digestor y encender el sistema de agua de vacío. Después de 10 minutos, cerrar parcialmente el sistema de agua de vacío dejando que los gases sean captados.
9. Digestar por unos 60 minutos.
10. Apagar el digestor, remover el rack de tubos y dejar enfriar por unos 20 minutos con la campana de gases encendida.

Destilación

1. Colocar el tubo en la unidad de destilación y agregar automáticamente 50 mL de NaOH 40%. Ajustar el tubo con el digestado a la unidad de destilación y ajustar para que se agreguen 80 mL de agua automáticamente como volumen de dilución.
2. Agregar 30 mL de solución de ácido bórico con indicador en el Erlenmeyer de 500 mL.
3. Colocar el Erlenmeyer en el destilador sumergiendo el tubo de destilación en el líquido.
4. Destilar hasta obtener unos 150 mL de líquido en el Erlenmeyer, es decir por 5 minutos automáticamente. Permitir que la reacción pare o usar el modo SAFE (Steam Addition for Equilibration), para prevenir una reacción violenta.
5. Titular el contenido del Erlenmeyer con el ácido clorhídrico 0,1000 a viraje violeta (justo antes del cambio a rosa). Registrar el volumen gastado en LSZ-MT-F14 Lecturas en Determinación de Nitrógeno.
6. Al final lavar el destilador y el exhaustor.

Cálculos

Los cálculos se hacen automáticamente en el LSZ-MC-F46 Libro Maestro de cálculo usando las fórmulas mostradas abajo: $g/100g \text{ N Kjeldahl} = (V_s - V_b) * M * 14,01 / W * 10$

donde:

V_s : Volumen (mL) de solución titulante gastado en la muestra

V_b : Volumen (mL) de solución titulante gastado en el blanco

M : Molaridad estándar del HCl

14,01: peso atómico del nitrógeno

W : peso de la muestra en gramos

10: factor para convertir mg/g a g/100g.

Interpretación y reporte de resultados

1. Reportar los resultados en g/100 g de nitrógeno indicando el método con dos decimales.

Anexo D

Hoja de toma de datos

Toma de datos

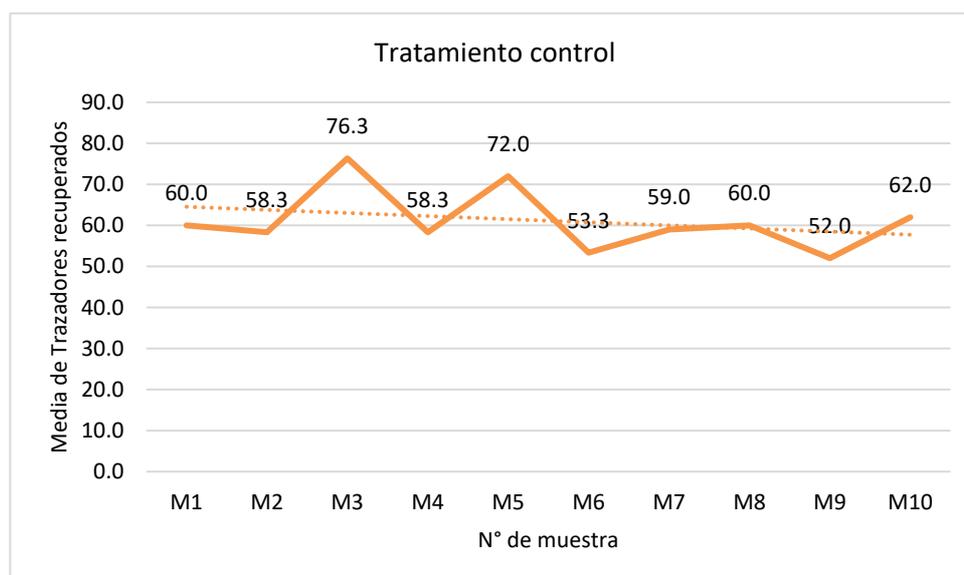
TRT	REP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{X}
C	1	67	54	76	51	57	64	47	42	57	56	57,1
	2	45	59	64	54	67	33	57	77	55	79	59,0
	3	68	62	89	70	92	63	73	61	44	51	67,3
TRT 1	1	68	67	85	67	73	47	57	67	61	83	67,5
	2	87	62	69	94	71	90	77	81	72	55	75,8
	3	74	79	76	70	73	69	63	98	64	45	71,1
TRT 2	1	89	61	65	48	58	55	71	74	55	62	63,8
	2	83	67	69	71	63	85	69	65	83	63	71,8
	3	93	77	89	95	62	79	55	63	75	59	74,7
TRT 3	1	54	67	49	50	51	48	55	64	38	67	54,3
	2	53	61	59	56	66	56	54	42	47	66	56,0
	3	51	31	53	78	62	65	64	60	62	59	58,5
TRT 4	1	48	54	52	44	76	73	19	50	21	20	45,7
	2	55	27	62	51	57	62	51	57	38	41	50,1
	3	70	70	82	70	82	79	62	44	56	74	68,9
TRT 5	1	53	58	58	57	30	56	63	50	67	50	54,2
	2	63	57	62	47	52	36	49	61	60	63	55,0
	3	76	65	66	70	60	70	47	78	64	60	65,6
TRT 6	1	56	55	51	60	41	61	61	55	57	64	56,1
	2	40	73	53	57	52	54	41	40	52	38	50,0
	3	35	37	80	47	61	54	51	55	56	63	53,9

TRT	Tiempo Seco	Tiempo Húmedo
Control	1	5
1	1	3.5
2	1	4
3	1	4.5
4	1	5.5
5	1	6
6	1	6.5

Anexo E

Tabla de resultados por medio de la plantilla Microtracers® Excel de la toma de datos del tratamiento control y su gráfica.

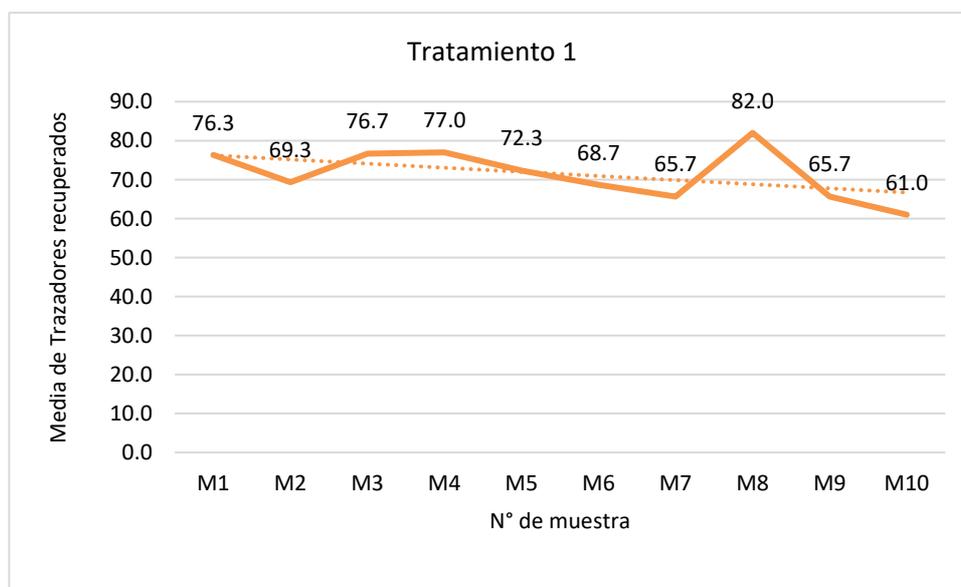
Muestra	R1	R2	R3	Media por muestra
M1	67	45	68	60.0
M2	54	59	62	58.3
M3	76	64	89	76.3
M4	51	54	70	58.3
M5	57	67	92	72.0
M6	64	33	63	53.3
M7	47	57	73	59.0
M8	42	77	61	60.0
M9	57	55	44	52.0
M10	56	79	51	62.0
Media	57.1	59	67.3	61.13
Desv Est	9.89	13.86	14.97	7.58
Coef V	17.33	23.5	22.24	12.40
Coef-Poi	13.23	13.02	12.19	12.79
Chi²	15.43	29.32	29.96	8.46
Prob	5.14	0.03	0.02	39.03



Anexo F

Tabla de resultados por medio de la plantilla Microtracers® Excel de la toma de datos del tratamiento 1 y su gráfica.

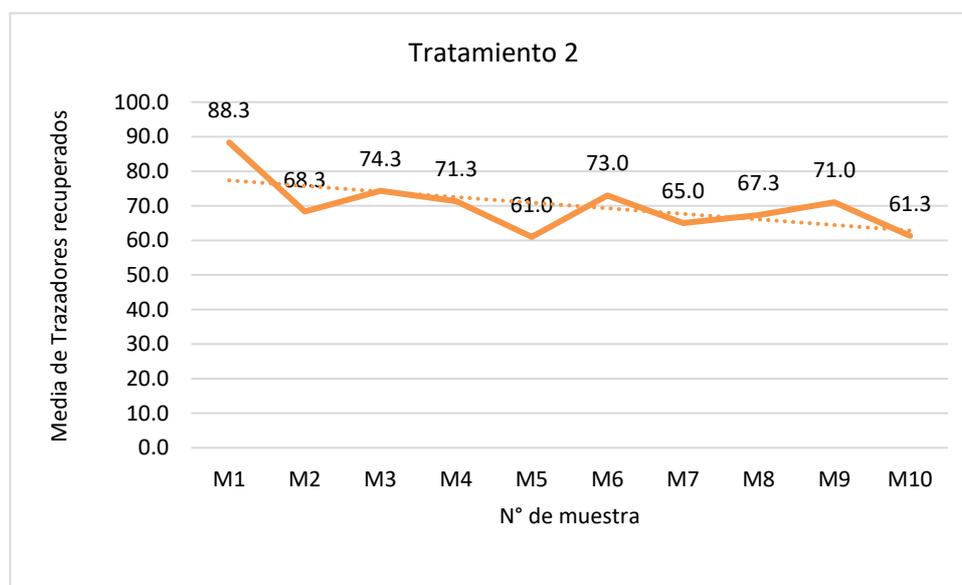
Muestra	R1	R2	R3	Media por muestra
M1	68	87	74	76.3
M2	67	62	79	69.3
M3	85	69	76	76.7
M4	67	94	70	77.0
M5	73	71	73	72.3
M6	47	90	69	68.7
M7	57	77	63	65.7
M8	67	81	98	82.0
M9	61	72	64	65.7
M10	83	55	45	61.0
Media	67.5	75.8	71.1	71.47
Desv Est	11.31	12.44	13.44	6.52
Coef V	16.75	16.42	18.9	9.12
Coef-Poi	12.17	11.49	11.86	11.83
Chi²	17.04	18.39	22.85	5.35
Prob	2.96	1.85	0.36	71.97



Anexo G

Tabla de resultados por medio de la plantilla Microtracers® Excel de la toma de datos del tratamiento 2 y su gráfica.

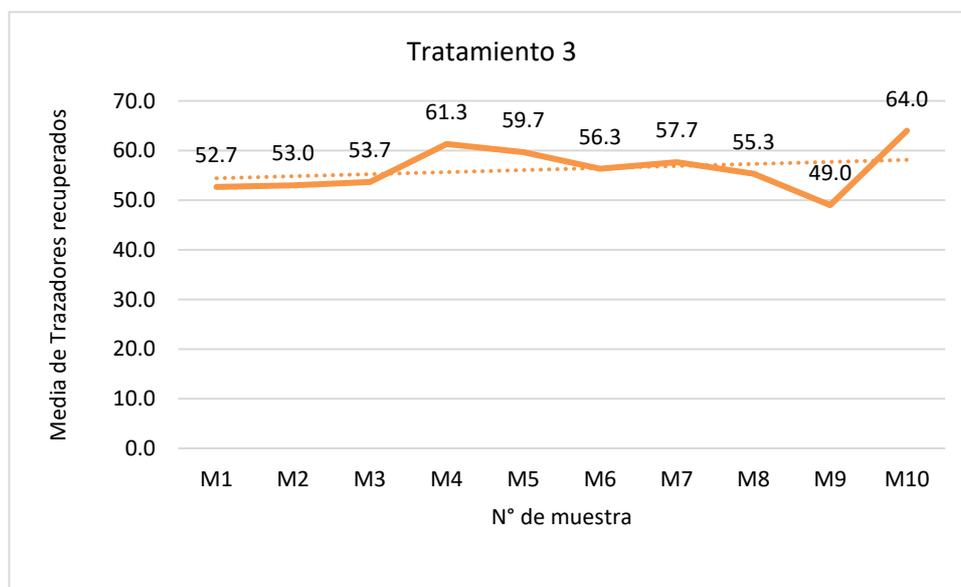
Muestra	R1	R2	R3	Media por muestra
M1	89	83	93	88.3
M2	61	67	77	68.3
M3	65	69	89	74.3
M4	48	71	95	71.3
M5	58	63	62	61.0
M6	55	85	79	73.0
M7	71	69	55	65.0
M8	74	65	63	67.3
M9	55	83	75	71.0
M10	62	63	59	61.3
Media	63.8	71.8	74.7	70.10
Desv Est	11.75	8.6	14.56	7.87
Coef V	18.41	11.98	19.49	11.23
Coef-Poi	12.52	11.8	11.57	11.94
Chi²	19.46	9.27	25.54	7.95
Prob	1.26	32	0.13	43.80



Anexo H

Tabla de resultados por medio de la plantilla Microtracers® Excel de la toma de datos del tratamiento 3 y su gráfica.

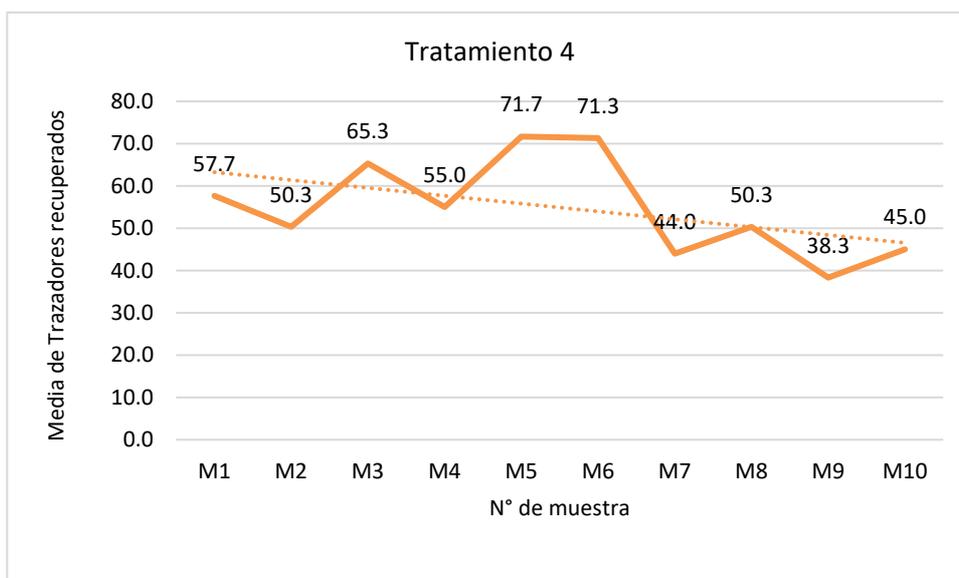
Muestra	R1	R2	R3	Media por muestra
M1	54	53	51	52.7
M2	67	61	31	53.0
M3	49	59	53	53.7
M4	50	56	78	61.3
M5	51	66	62	59.7
M6	48	56	65	56.3
M7	55	54	64	57.7
M8	64	42	60	55.3
M9	38	47	62	49.0
M10	67	66	59	64.0
Media	54.3	56	58.5	56.27
Desv Est	9.31	7.63	12.12	4.51
Coef V	17.15	13.63	20.72	8.02
Coef-Poi	13.57	13.36	13.07	13.33
Chi²	14.37	9.36	22.61	3.25
Prob	7.27	31.31	0.39	91.75



Anexo I

Tabla de resultados por medio de la plantilla Microtracers® Excel de la toma de datos del tratamiento 4 y su gráfica.

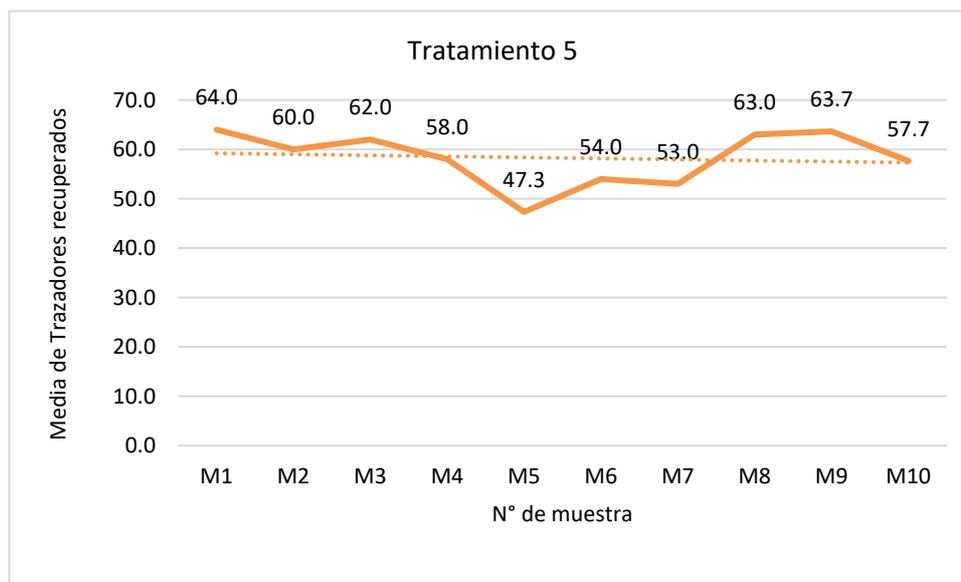
Muestra	R1	R2	R3	Media por muestra
M1	48	55	70	57.7
M2	54	27	70	50.3
M3	52	62	82	65.3
M4	44	51	70	55.0
M5	76	57	82	71.7
M6	73	62	79	71.3
M7	19	51	62	44.0
M8	50	57	44	50.3
M9	21	38	56	38.3
M10	20	41	74	45.0
Media	45.7	50.1	68.9	54.90
Desv Est	12.36	10.98	12.06	9.03
Coef V	23.45	21.74	17.5	15.74
Coef-Poi	13.78	14.07	12.05	13.20
Chi²	26.07	21.48	19	12.80
Prob	0.1	0.6	1.49	11.90



Anexo J

Tabla de resultados por medio de la plantilla Microtracers® Excel de la toma de datos del tratamiento 5 y su gráfica.

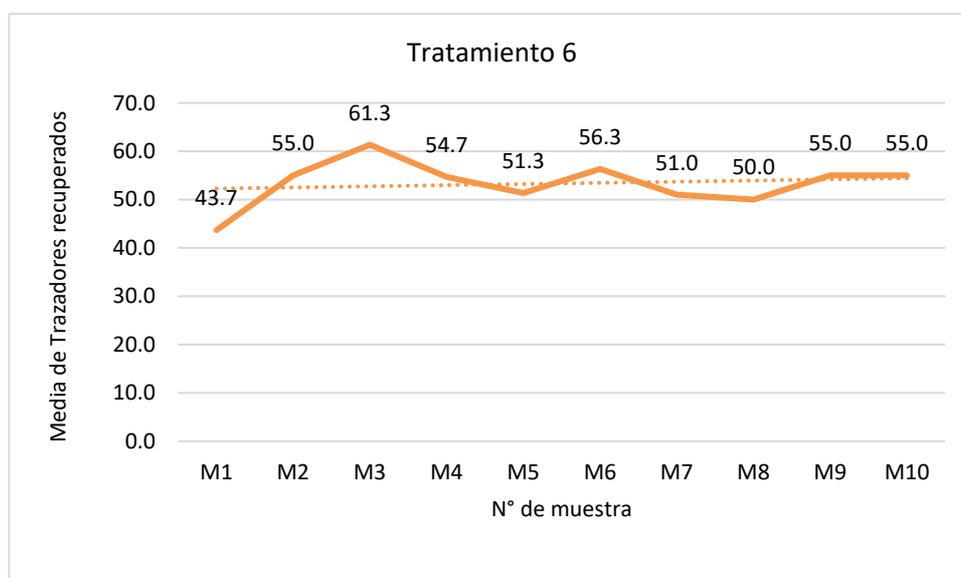
Muestra	R1	R2	R3	Media por muestra
M1	53	63	76	64.0
M2	58	57	65	60.0
M3	58	62	66	62.0
M4	57	47	70	58.0
M5	30	52	60	47.3
M6	56	36	70	54.0
M7	63	49	47	53.0
M8	50	61	78	63.0
M9	67	60	64	63.7
M10	50	63	60	57.7
Media	54.2	55	65.6	58.27
Desv Est	10.02	8.89	8.9	5.45
Coef V	18.49	16.67	13.56	9.35
Coef-Poi	13.58	13.48	12.35	13.10
Chi²	16.67	12.95	10.86	4.59
Prob	3.37	11.37	20.98	80.06



Anexo K

Tabla de resultados por medio de la plantilla Microtracers® Excel de la toma de datos del tratamiento 6 y su gráfica.

Muestra	R1	R2	R3	Media por muestra
M1	56	40	35	43.7
M2	55	73	37	55.0
M3	51	53	80	61.3
M4	60	57	47	54.7
M5	41	52	61	51.3
M6	61	54	54	56.3
M7	61	41	51	51.0
M8	55	40	55	50.0
M9	57	52	56	55.0
M10	64	38	63	55.0
Media	56.1	50	53.9	53.33
Desv Est	6.52	10.73	12.99	4.68
Coef V	11.63	21.46	24.1	8.77
Coef-Poi	13.35	14.14	13.62	13.69
Chi²	6.85	20.72	28.18	3.70
Prob	55.56	0.79	0.04	88.35



Anexo L

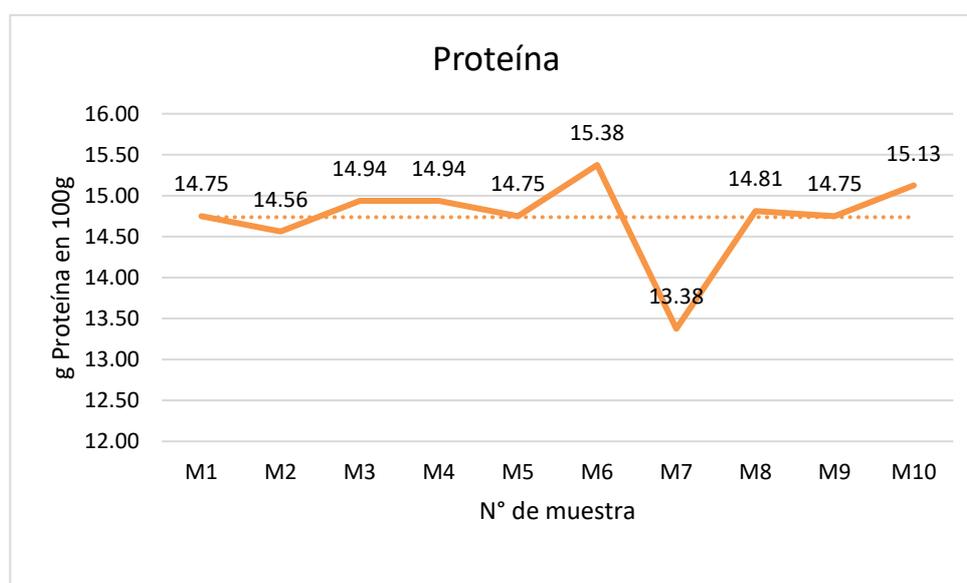
Fechas de toma de muestras.

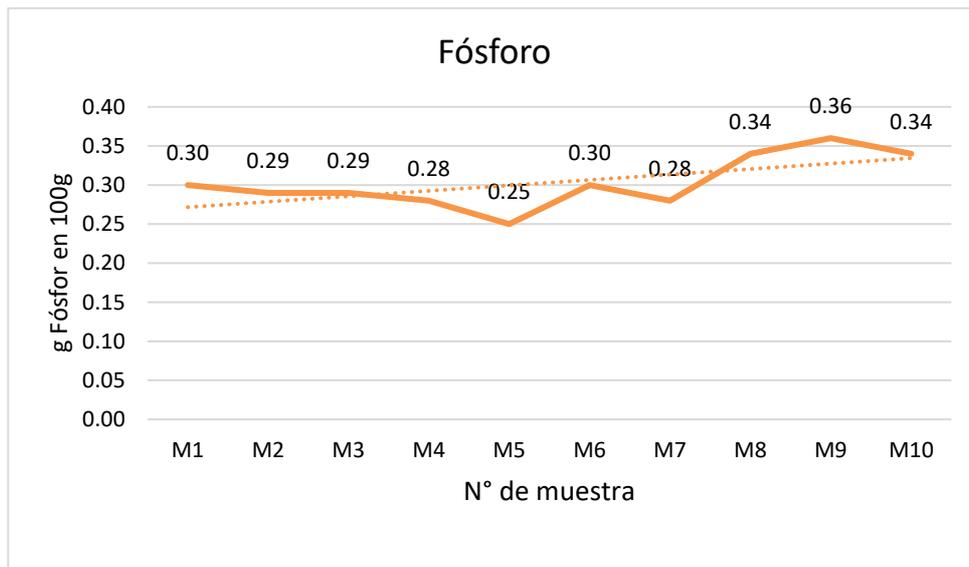
Tratamiento	Fecha	Día
Control	1/5/2023	Lunes
	1/5/2023	Lunes
	1/5/2023	Lunes
TRT 1	1/5/2023	Lunes
	9/5/2023	Martes
	9/5/2023	Martes
TRT 2	9/5/2023	Martes
	9/5/2023	Martes
	12/5/2023	Viernes
TRT 3	12/5/2023	Viernes
	12/5/2023	Viernes
	12/5/2023	Viernes
TRT 4	19/5/2023	Viernes
	19/5/2023	Viernes
	19/5/2023	Viernes
TRT 5	29/5/2023	Lunes
	29/5/2023	Lunes
	29/5/2023	Lunes
TRT 6	5/6/2023	Lunes
	5/6/2023	Lunes
	5/6/2023	Lunes

Anexo M

Tabla de resultados de validación para el mejor tratamiento y sus gráficas.

Muestra	Proteína g/100g	Fósforo g/100g
M1	14.75	0.30
M2	14.56	0.29
M3	14.94	0.29
M4	14.94	0.28
M5	14.75	0.25
M6	15.38	0.30
M7	13.38	0.28
M8	14.81	0.34
M9	14.75	0.36
M10	15.13	0.34
Media	14.74	0.30
Desv E	0.53	0.034
CV	3.60	11.12

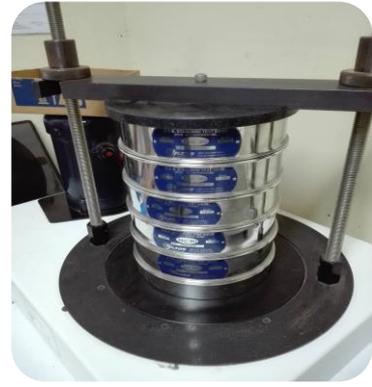




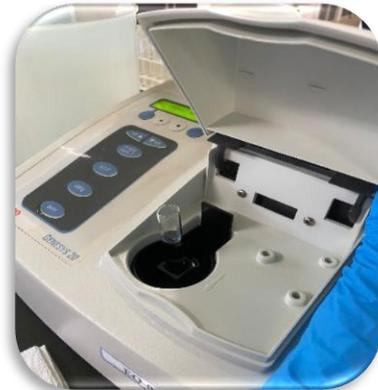
Anexo N

Ilustraciones de la investigación.

- *Prueba de granulometría.*



- *Prueba de proteína, cenizas y determinación de fósforo.*



- Preparación de Microtrazadores.



- Realización de la prueba de Microtrazadores.



