

**Optimización del tiempo de mezcla de
alimentos balanceados a través del método de
Microtracers[®] en la planta de alimentos
balanceados de Zamorano**

Luis Enrique Arzú Rodas

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Honduras

Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**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 presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Luis Enrique Arzú Rodas

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2018

Optimización del tiempo de mezcla de alimentos balanceados a través del método de Microtracers® en la planta de alimentos balanceados de Zamorano

Luis Enrique Arzú Rodas

Resumen. El proyecto consistió en evaluar y optimizar los tiempos utilizados en el proceso de mezclado de alimentos concentrados en la planta de alimentos balanceados de Zamorano. Se midió la uniformidad del alimento mediante la técnica de Microtracers®, los cuales son partículas de hierro cubiertas de un colorante de grado alimenticio, en este caso color azul lago. Según el protocolo de Microtracers® se tomaron 10 muestras por tanda producida a lo largo del proceso. Para establecer que una mezcla es homogénea se debe obtener un coeficiente de variación (CV) <10%. Los tratamientos consistieron en dos tiempos de mezcla de materiales secos (1 y 1.5 min) y tres tiempos distintos de mezcla con melaza (4, 6 y 8 min). La dieta utilizada fue “Vaca de alta producción” debido a la alta demanda que esta dieta posee para la planta. Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tiempos de mezcla y entre los factores tiempo de mezcla de materiales secos (TMS) y Tiempo de mezcla con melaza (TMM). Se determinó con base a este estudio que para obtener una mezcla homogénea se debe aumentar el tiempo de mezcla a 1.5 TMS y 6 TMM porque con este tratamiento se obtuvo un CV de 5.7%. Sin embargo, se deben realizar estudios posteriores para evaluar otros posibles factores que afectan la uniformidad de la mezcla.

Palabras clave: Coeficiente de variación, homogeneidad, microtrazadores.

Abstract. The project consisted on the evaluation and optimization of the time used on feed making process in Zamorano University feed plant. Feed uniformity was measured by Microtracers® technique, which are small iron particles covered by a color additive, in this case blue Lake color. According to Microtracers® protocol, 10 samples were taken per batch produced along the process. To stablish a homogenous mixture, microtracers count must have <10% Coefficient of Variation. The treatments consisted in two dry material's mixing times (1 y 1.5 min) and three mixing with mollasses (4, 6 y 8 min). The diet used for this project was “High Production Cow” due to the high demand this diet has in Zamorano University feed plant. Statistical differences ($P < 0.05$) were found between mixing times and between the dry materials mixing time (DMT) and mixing time with mollasses (MMT). In order to get a homogenous mixture, the DMT should be increased to 1.5 minutes and the MMT to 6 minutes, due to the 5.7% of coefficient of variation obtained, even though, further studies should be made to evaluate other possible factors which could affect the uniformity of the mixture.

Key words: Coefficient of variation, homogeneity, microtracers.

CONTENIDO

| | |
|---|-----------|
| Portadilla | i |
| Página de firmas..... | ii |
| Resumen..... | iii |
| Contenido..... | iv |
| Índice de Cuadros, Figuras y Anexos | v |
| | |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 3 |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 9 |
| 4. CONCLUSIONES | 13 |
| 5. RECOMENDACIONES | 14 |
| 6. LITERATURA CITADA..... | 15 |
| 7. ANEXOS | 17 |

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

| Cuadros | Página |
|---|--------|
| 1. Comparación de parámetros H.C. Davis con la mezcladora de 910 kg que posee la planta de alimentos balanceados de la EAP Zamorano. | 4 |
| 2. Composición del concentrado de la dieta vaca alta producción invierno 2018. . | 4 |
| 3. Tratamientos según los tiempos de mezclado de materias primas secas y adición de líquidos. | 8 |
| 4. Uniformidad de mezclado. Clasificación estadística de los microtrazadores recuperados. | 9 |
| 5. Relación de día de la semana con coeficiente de variación. | 11 |
| 6. Nivel de significancia factorial. | 12 |

| Figuras | Página |
|--|--------|
| 1. Diagrama de flujo de mezclado (Vásquez Madrid 2013). | 5 |
| 2. Diagrama de flujo de prueba de microtrazadores. | 7 |
| 3. Cantidad de microtrazadores recuperados. | 10 |
| 4. Coeficientes de variación en los tratamientos. | 11 |

| Anexos | Página |
|---|--------|
| 5. Hoja de Resultados. | 17 |
| 6. Resultados de la toma de datos del control con la plantilla de Microtracers® en Microsoft Excel 2016®. | 18 |
| 7. Gráfico de las medias por muestra en el control. | 18 |
| 8. Resultados de la toma de datos del tratamiento 1 con la plantilla de Microtracers® en Microsoft Excel 2016®. | 19 |
| 9. Gráfico de las medias por muestra en el tratamiento 1. | 19 |
| 10. Resultados de la toma de datos del tratamiento 2 con la plantilla de Microtracers® en Microsoft Excel 2016®. | 20 |
| 11. Gráfico de las medias por muestra en el tratamiento 2. | 20 |
| 12. Resultados de la toma de datos del tratamiento 3 con la plantilla de Microtracers® en Microsoft Excel 2016®. | 21 |
| 13. Gráfico de las medias por muestra en el tratamiento 3. | 21 |
| 14. Resultados de la toma de datos del tratamiento 4 con la plantilla de Microtracers® en Microsoft Excel 2016®. | 22 |

| Anexos | Página |
|--|--------|
| 15. Gráfico de las medias por muestra en el tratamiento 4. | 22 |
| 16. Resultados de la toma de datos del tratamiento 5 con la plantilla de Microtracers® en Microsoft Excel 2016® | 23 |
| 17. Gráfico de las medias por muestra en el tratamiento 5. | 23 |
| 18. Resultados de la toma de datos del tratamiento 6 con la plantilla de Microtracers® en Microsoft Excel 2016® | 24 |
| 19. Gráfico de las medias por muestra en el tratamiento 6. | 24 |
| 20. Cuadro de fechas de toma de muestras..... | 25 |
| 21. Mezcladora y aspas luego de limpieza. | 26 |
| 22. Tornillo sin fin, elevador de cangilones y tolva de producto terminado. | 26 |
| 23. Microtrazadores. | 27 |
| 24. Pre mezcla de microtrazadores. | 27 |
| 25. Toma de muestras..... | 28 |
| 26. Prueba de microtrazadores. | 29 |
| 27. Resultados de la prueba de microtrazadores. | 30 |

1. INTRODUCCIÓN

La elaboración de alimento balanceado se define como el proceso de unificación de muchos ingredientes para obtener un producto homogéneo que pueda aportar nutrientes, vitaminas, minerales y medicamentos a los animales de manera conocida y deseada para que el mismo pueda expresar su máximo desarrollo y potencial (Wong Busso 2016). El presente proyecto evaluó la elaboración del alimento a través de la homogeneidad del mismo, siendo esta afectada por los tiempos de mezclado. Los concentrados producidos en la planta están detallados bajo procesos predefinidos, los cuales son analizados y controlados para la verificación de su eficiencia. Los insumos utilizados en la planta de alimentos balanceados de Zamorano son: minerales, vitaminas, harina de coquito, harina de soya, harina de camarón, harina de maíz, aceite vegetal y melaza.

En la planta se cuenta con personal especializado, el cual se encarga de realizar las diferentes mezclas (dietas) de proteínas y carbohidratos según las necesidades nutricionales del tipo de animal. La planta de alimentos balanceados también posee equipo agroindustrial especializado para el procesamiento (Vásquez Madrid 2013). Para esta evaluación se utilizó la dieta de “Vaca de alta producción”, esto debido a que la planta posee una alta demanda en este alimento.

La calidad del concentrado está determinada por la homogeneidad del mismo. Existen varios factores que influyen en la uniformidad final de un alimento. La combinación de materiales sólidos es la operación más crítica y esencial en el proceso, esta depende del tipo de partícula, orden de adición de ingredientes, limpieza de la mezcladora y tiempo de mezcla (Campabadal 2002). En este caso el factor evaluado fue el tiempo de mezcla. Cada planta determina el tiempo óptimo dependiendo del tipo de maquinaria utilizada y del tipo de alimento. Una de las preocupaciones del fabricante y del consumidor es asegurar que los nutrientes tales como vitaminas, minerales y antibióticos han sido incorporados a las raciones de acuerdo a los requerimientos establecidos (Banegas Bonilla 2009).

Los principales problemas que puedan existir son de tipo mecánico en las mezcladoras, y estos problemas son calibración de los rodillos, acondicionamiento, calidad de vapor, desgaste del equipo, secado, enfriamiento y sistemas de adición posterior (Campabadal 2002). Por esta razón, en el presente estudio se tomó en cuenta el desgaste producido por el uso continuo de la mezcladora durante varios años de uso en la planta.

Es de vital importancia lograr el mayor rendimiento en los equipos de cualquier compañía, ya que de estos dependen la ágil respuesta ante una demanda (Nieto Bernal y Prieto Páez 2017). El caso de la planta de alimentos balanceados de Zamorano no es la excepción. Durante varios años se ha trabajado con los mismos protocolos de elaboración de alimento

balanceado y la misma maquinaria. Con lo anterior, se puede esperar que con el paso del tiempo la maquinaria disminuya su rendimiento. Zamorano cuenta con una planta de procesamiento de concentrados para abastecer las necesidades de las diferentes unidades pecuarias (cerdos, aves y rumiantes) de Zamorano, también para clientes de fincas externas. La capacidad de la planta puede producir hasta 4,290,000 kg anuales, lo que está por debajo de la producción actual (Vásquez Madrid 2013).

La calidad del concentrado está basada en la mezcla de sus ingredientes; si existen variaciones en una ración determinada la calidad del producto final se verá afectada (Antelo Bruckner 2008). En la actual crianza de animales, el ser humano en la necesidad de aumentar la producción animal, se vio obligado a cambiar el formato de crianza de una manera extensiva a una intensiva (Wong Busso 2016). Por esta razón, el alimento debe ser lo más uniforme posible, y cada unidad producida obtener la misma cantidad de nutrientes especificada en la dieta; por otra parte, la utilización de medicamentos en baja cantidad dentro de las formulaciones es un punto crítico en la elaboración debido a que puede existir una sobredosificación en cierta unidad producida. La uniformidad del nutriente es crítica por la propia nutrición cuando el alimento es consumido por animales con una baja ingesta diaria de alimentos (pollos bebe, cerdos recién destetados, etc.) (Clark *et al.* 2007). Si el alimento no se mezcla completamente, las porciones del alimento o contendrán demasiado o demasiado poco de los ingredientes formulados (Eisenberg *s.f.b.*).

La evaluación del rendimiento de la mezcla es una actividad requerida dentro de la producción de alimentos balanceados. La evaluación periódica rutinaria es económica y éticamente justificada. (Djuragic *et al.* 2009). Según estudios realizados por la Universidad Estatal de Kansas, Estados Unidos de América, la evaluación de uniformidad se debe realizar por lo menos dos veces al año. Esto asegura que el producto terminado será de satisfacción para el cliente y aumentará las utilidades de la planta de alimentos balanceados. Existen varios métodos para medir la uniformidad del mezclado, uno de ellos es utilizando microtrazadores, que son agregados al concentrado para determinar el coeficiente de variación que idealmente deberá ser menor a un 10%. (Banegas Bonilla 2009).

Objetivos específicos:

- Determinar el efecto del tiempo de mezclado de los insumos sobre la calidad final del alimento balanceado.
- Obtener la solución óptima de tiempos con el modelo establecido y haciendo más eficiente el proceso, visualizando los resultados de rendimientos esperados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio.

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Planta de Alimentos Balanceados de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), Zamorano, ubicada en el Valle del Yeguaré, Francisco Morazán a 32 km de Tegucigalpa, Honduras.

La planta de alimentos balanceados de Zamorano cuenta actualmente con una producción aproximada de 3,000 sacos de 45 kilogramos de alimento balanceado mensual. Esta cantidad es un estimado del total producido de las distintas dietas elaboradas por la planta, la cual se distribuye a diferentes áreas de producción pecuaria dentro de la EAP Zamorano y para venta externa.

Cuenta con dos mezcladoras para la producción de las distintas dietas. Una mezcladora con capacidad máxima de producción de 30 sacos y la otra de 20 sacos por tanda. Para el efecto de este proyecto se utilizó únicamente la mezcladora de 20 sacos, la cual se encuentra establecida en la planta desde el año 2008, con uso diario. Esta mezcladora posee un POES establecido por Vásquez Madrid (2013), el cual no ha sido actualizado desde entonces. La frecuencia de limpieza de la mezcladora es de una vez por semana siendo ésta el día viernes o sábado, dependiendo de la producción y la disponibilidad del personal para realizar esta acción debido a que toma aproximadamente cuatro horas la limpieza de la misma.

La planta también forma parte de las empresas universitarias de la EAP Zamorano. Debido a este formato está sujeta a cambios de personal dos veces por día y a una rotación de cambio de grupo cada tres semanas, esto en base a la rotación del aprender haciendo de la institución.

En el cuadro 1 se compararon datos actualizados de la empresa H.C. Davis que establecen las características óptimas para una mezcladora. Se puede determinar que la mezcladora de 20 sacos cumple con todas éstas características para obtener un mezclado ideal. Así mismo, establece que la mezcladora soporta hasta un 10% de adición de grasa líquida, aceites o melaza a la mezcla.

Cuadro 1. Comparación de parámetros H.C. Davis con la mezcladora de 910 kg que posee la planta de alimentos balanceados de la EAP Zamorano.

| Parámetros | H.C. Davis | Mezcladora actual |
|-----------------------------|-------------------|--------------------------|
| Potencia Requerida (HP) | 10 | 10 |
| Longitud del tanque (cm) | 200 | 200 |
| Ancho del tanque (cm) | 103 | 103 |
| Profundidad del tanque (cm) | 118 | 118 |
| Peso máximo de mezcla(Kg) | 950 | 910 |

Fuente: HC Davis 2018.

Elaboración de concentrado.

La elaboración del concentrado se realiza por tandas de producción en base a las distintas dietas. El mayor uso de los métodos de mezclado por tandas se debe a que presenta importantes ventajas como su adaptabilidad a niveles de producción pequeños, un racionamiento más preciso, y una mayor flexibilidad para realizar cambios en la formulación (Medrano 2006). El concentrado utilizado fue de la dieta de “vaca de alta producción invierno 2018”. Esto debido a la producción alta que se realiza dentro de la planta y el número de muestras necesarias para el proyecto. La dieta es basada en lo descrito en el cuadro 2.

Cuadro 2. Composición del concentrado de la dieta vaca alta producción invierno 2018.

| Ingrediente | Cantidad, % |
|----------------------|--------------------|
| Maíz molido | 45.90 |
| Harina de soya | 19.66 |
| Salvado de trigo | 8.48 |
| Melaza | 6.99 |
| Semolina de arroz | 5.49 |
| Harina de coquito | 4.99 |
| Grasa bypass | 2.00 |
| Bicarbonato de sodio | 2.00 |
| Carbonato de calcio | 1.50 |
| Multiplex lechera | 1.50 |
| Sal | 1.10 |
| Mejorador de pezuña | 0.22 |
| Procreatin plus | 0.15 |
| Rumesin 20% | 0.02 |
| Total | 100.00 |

El flujo del alimento balanceado en la producción consta de una tolva para la mezcladora, una mezcladora de 20 sacos de 45 kilogramos cada uno, una bomba de melaza, un tornillo sin fin, un elevador de producto terminado y una tolva de producto terminado. Los

ingredientes fueron agregados a la tolva para la mezcladora siguiendo los métodos establecidos por Campabadal (2002) aplicada a la planta de alimento balanceado de Zamorano por Vásquez Madrid (2013), siendo estos en el siguiente orden: granos, fuentes de proteína, subproductos, aditivos (minerales y medicamentos) y por último líquidos. Este proceso está explicado en la figura 1.

La mezcla se realizó en una mezcladora de la marca Davis, modelo RG2P, de capacidad para 910 Kg y velocidad de 257 RPM en 10 HP de motor. Esta máquina posee un agitador de paletas, las cuales están diseñadas para la mezcla de materiales que no poseen un flujo y que puedan raspar las paredes internas de la mezcladora para un alto rendimiento en el producto final.

La melaza es trasladada mediante una bomba hidráulica. Esta bomba es de marca Roper, modelo RGZP. Posee una capacidad de bombear aproximadamente 182 Kg/min, sin embargo, esta capacidad debe ser calibrada al momento de recibir nuevo material. Los cambios en el flujo se deben a densidad de la melaza y pueden influir significativamente en la eficiencia de la mezcla y uniformidad del alimento.

Luego de la mezcla el alimento balanceado es transportado por un tornillo sin fin. Este tornillo se de marca Baldor, modelo M3611T y gira alrededor de 1,725 RPM. Posteriormente es llevado a la tolva de producto terminado mediante un elevador de cangilones. Este es de marca WBG, modelo N. Posee una velocidad de 1,715 RPM.

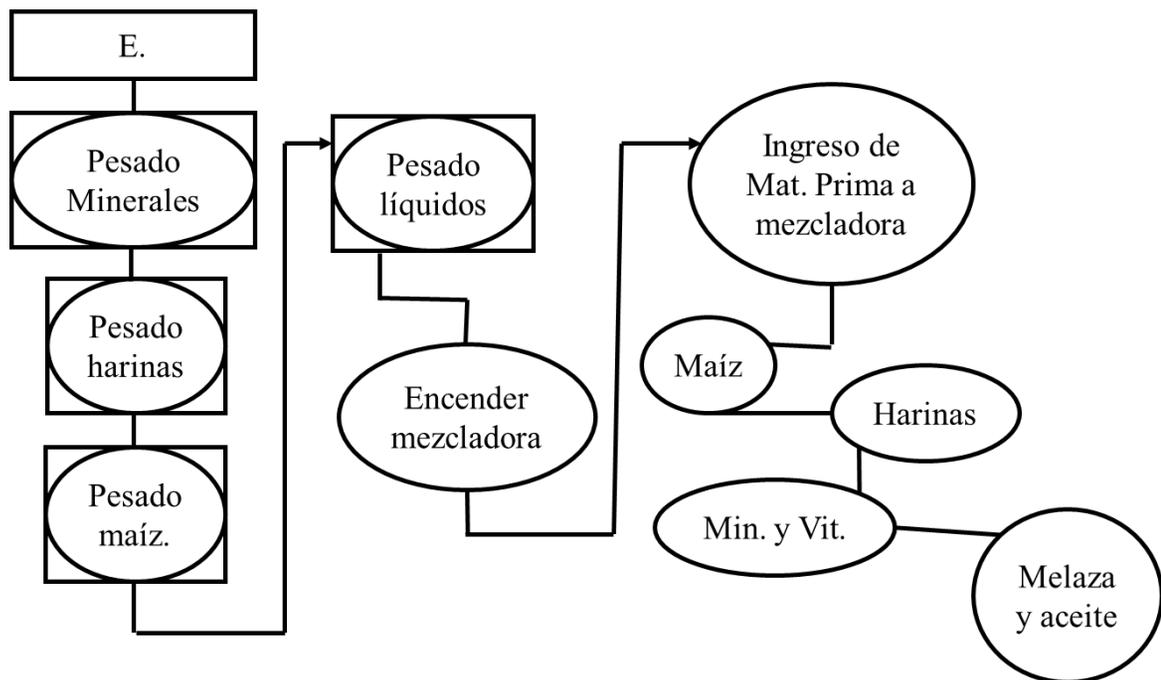


Figura 1. Diagrama de flujo de mezclado (Vásquez Madrid 2013).

Evaluación de mezcla.

El estudio se evaluó utilizando el método de micro trazadores. Los micro trazadores más simples son partículas pequeñas uniformes de limaduras de hierro con tamaño homogéneo y cantidad conocida recubiertas con colorantes alimenticios solubles en soluciones agua-alcohol. Son partículas de igual tamaño que logran pasar el 95% a través de una malla N°35 (417 micrones) pero retenidos en una malla N°100 (147 micrones), son después recuperados magnéticamente y al ser rociados con una solución de alcohol al 60% (solvente) evidencia la presencia del mismo, proporcionando así información cualitativa y cuantitativa. (Wong Busso 2016). Este método es útil tanto para trazabilidad de los diferentes componentes en el alimento terminado, tanto para el control de la uniformidad de la mezcla, como para el análisis semicuantitativo de los micro-ingredientes rastreados (Bagliacca *et al.* 2002).

Materiales:

- Balanzas.
- Taza de aluminio.
- Papel filtro de 7.5 cm de diámetro
- con perforación central.
- Papel filtro de 18 cm de diámetro.
- Cronómetro.
- Etanol al 60%
- Atomizador para el etanol.
- Bolsas de LDPE (13 × 30 cm).
- Marcador Permanente.
- Pincel.

Metodología (Loaisiga Romero 2017).

Adición del rastreador. Se realizó una pre-mezcla utilizando un mínimo de 0.50 kilogramos de un vehículo (semolina, salvado, maíz molido, etc.) y se le agregó la cantidad de micro trazadores utilizados. Siguiendo especificaciones de la empresa Microtracers®, se añadieron 0.023 kilogramos de microtrazadores a la mezcladora con capacidad de 910 kilogramos a través de una pre-mezcla. La pre-mezcla fue añadida a la pesa de los micronutrientes para luego ser vertida en la mezcladora. En base al supuesto que la empresa establece de 25 gramos de microtrazadores por 1000 kg de alimento, se realizó el siguiente cálculo:

$$\begin{array}{l} 25 \text{ gramos microtrazadores} \text{ ----- } 1,000 \text{ kg alimento} \\ X \text{ gramos microtrazadores} \text{ ----- } 910 \text{ kg alimento} \\ X = (25 \text{ gramos microtrazadores} \times 910 \text{ kg alimento}) / 1,000 \text{ kg alimento} \\ X = 22.7 \text{ gramos microtrazadores} \end{array}$$

Toma de muestras. Se toman como mínimo, para una tanda de 910 kilogramos, un total de 10 muestras de 0.1 kilogramos cada una. Estas se tomaron mediante una secuencia de sacos con número par en la producción y fueron rotuladas cada una con el número de muestra para tener un mejor control de los resultados.

Recuperación de microtrazadores. Se retiró la parte superior del detector rotatorio y colocó el papel filtro de 7.5 cm en el centro. Ubicando el detector rotatorio en un lugar limpio, nivelado y libre de corrientes de aire. Se procedió a colocar la parte superior y

encenderlo. Se vació la muestra con el detector encendido, y se apagó hasta que toda la muestra había pasado por el detector quedando vacío el embudo. Retirando la parte superior del detector rotatorio, se trasladó con mucho cuidado el papel filtro de 7.5 cm ya que en éste se encontrarán las pequeñas partículas recuperadas.

Se transfirieron las partículas de hierro recuperadas, con ayuda de la taza de aluminio y el pincel, hacia el papel filtro de 18 cm. Haciéndolo de una manera lenta y gradual, a manera de dispersar las partículas lo más uniformemente sobre el papel. Se humedeció el papel filtro de 18cm con el etanol al 60% y se colocó sobre papel aluminio de cocina.

Conteo de microtrazadores. Se realizó el conteo de las partículas encontradas en el papel mediante la identificación de las manchas de tinte dejadas por cada micro trazador sobre el papel filtro. Llevando el registro de cada conteo por muestra se prosiguió con los cálculos correspondientes de coeficiente de variación (CV), coeficiente de variación de Poisson (CVP) y la probabilidad mediante la utilización de la plantilla de Excel.

El proceso de recuperación y conteo de microtrazadores se repiten con todas las muestras tomadas de la tanda producida. La figura 2 muestra el flujo a seguir para la prueba de microtrazadores.

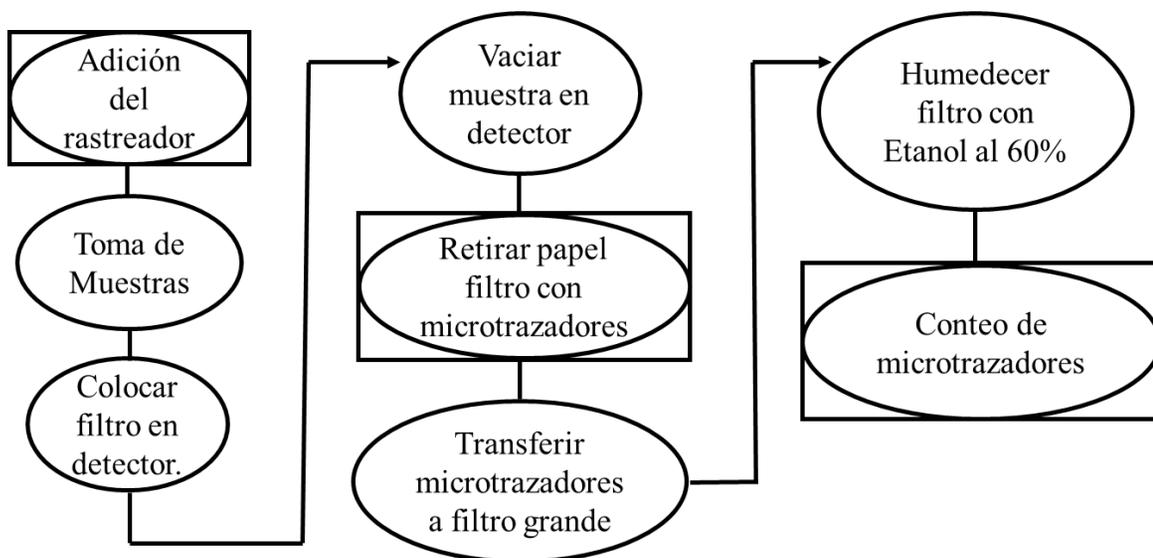


Figura 2. Diagrama de flujo de prueba de microtrazadores.

El detector rotatorio magnético, modelo W-99, es un equipo diseñado por la empresa Micro-Tracers INC, que consta de un motor eléctrico de 110v unido a un imán circular dentro de un armazón o carcasa de acero inoxidable. Un imán circular es utilizado por el detector rotatorio, para recuperar el microtrazador el imán mantiene un intenso campo magnético a través de un punto de 0.1 cm que separa la parte más interna del polo cilíndrico de 0.25 cm al polo opuesto que lo rodea. Este equipo es empleado para recuperar partículas metálicas de mezclas en forma de harina o polvo.

Diseño experimental.

Se usó un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con arreglo factorial de 2×3 , siendo los factores tiempo de mezclado de materias primas secas y tiempo de mezclado con adición de melaza. Cada muestra es una tanda de producción de alimento balanceado de la dieta “vaca de alta producción invierno 2018”. Utilizando seis tratamientos distintos, de tres repeticiones cada uno y un control basado en el proceso actual de mezcla explicados en el cuadro 3. Los datos fueron analizados mediante una plantilla en el programa Microsoft Excel® 2016 elaborada por la empresa Micro-tracers® y el programa estadístico “Statistical Analysis System” (SAS) en su versión 9.4. Se realizaron pruebas en la plantilla del programa Microsoft Excel®, con la cual se obtuvieron análisis de Chi cuadrado, distribución de Poisson y probabilidad; así mismo una prueba de diferencia de medias de mínimos cuadrados (LS Means) y una prueba Duncan con un nivel de significancia de <0.05 para evaluar las diferencias estadísticas de cada tratamiento.

Cuadro 3. Tratamientos según los tiempos de mezclado de materias primas secas y adición de líquidos.

| Tratamiento | Mezcla materias primas secas (min) | Mezcla con adición de líquidos (min) |
|--------------------|---|---|
| Control | 1.00 | 5.00 |
| 1 | 1.00 | 4.00 |
| 2 | 1.50 | 4.00 |
| 3 | 1.00 | 6.00 |
| 4 | 1.50 | 6.00 |
| 5 | 1.00 | 8.00 |
| 6 | 1.50 | 8.00 |

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación a través de microtrazadores.

Los resultados de la evaluación se midieron a través de micro trazadores recuperados. Los factores tiempo de mezcla de materiales secos y tiempo de mezcla con adición de melaza muestran diferencias tanto en las medias como en los coeficientes de variación de los datos obtenidos. La recuperación de microtrazadores de un alimento a granel corresponde a + 80% del valor teórico. Para alimentos peletizados se considera una recuperación correspondiente al 65% del valor teórico (Eisenberg *s.f.a*). En base al supuesto establecido por la empresa de 1 gramo de microtrazadores = 25,000 partículas, se estableció el cálculo teórico de recuperación de microtrazadores.

$$\begin{aligned}
 &23 \text{ gramos microtrazadores} \times 25,000 \text{ partículas} = 575,000 \text{ partículas en total} \\
 &575,000 \text{ partículas} / 910 \text{ kg alimento} = 632 \text{ partículas por kg alimento.} \\
 &632 \text{ partículas} \times 0.1 \text{ kilogramos alimento} = 63 \text{ partículas por kilogramo} \\
 &\quad \underline{63 \text{ partículas por cada muestra de 0.1 kilogramos.}}
 \end{aligned}$$

El cuadro 4 nos muestra los datos obtenidos a través de la plantilla de Microtracers® en el programa Microsoft Excel® 2018. Indicando que si existe diferencia estadística entre las medias de microtrazadores recuperados por tratamientos. Siendo los tratamientos 5 y 6 los que poseen la mayor cantidad de microtrazadores recuperados.

Cuadro 4. Uniformidad de mezclado. Clasificación estadística de los microtrazadores recuperados.

| Tratamiento | TMS (min) | TMM (min) | N | No. Microtrazadores recuperados | | CV (%) |
|-------------|--------------|--------------|---|---------------------------------|----------------------|--------|
| | | | | Media | ± DE | |
| Control | 1.00 | 5.00 | 3 | 53.26 | ± 7.68 ^b | 14.43 |
| 1 | 1.00 | 4.00 | 3 | 52.03 | ± 4.54 ^b | 8.71 |
| 2 | 1.50 | 4.00 | 3 | 53.33 | ± 6.90 ^b | 12.95 |
| 3 | 1.00 | 6.00 | 3 | 61.63 | ± 8.13 ^{ab} | 13.28 |
| 4 | 1.50 | 6.00 | 3 | 57.70 | ± 3.31 ^{ab} | 5.70 |
| 5 | 1.00 | 8.00 | 3 | 64.60 | ± 5.16 ^a | 7.99 |
| 6 | 1.50 | 8.00 | 3 | 65.37 | ± 8.13 ^a | 12.45 |

^{ab} Letras diferentes en la misma columna significan diferencia estadística (P<0.05).

TMS = Tiempo de Mezcla de Materiales Secos.

TMM = Tiempo de Mezcla con Melaza.

CV = Coeficiente de Variación

Existe un incremento de las medias de microtrazadores recuperados a medida que incrementa el tiempo de mezcla como se observa en la figura 3. Siendo este de manera directa al tiempo de mezcla. Sin embargo, los tratamientos 5 y 6 poseen una media mayor, al cálculo teórico de recuperación de microtrazadores el cual es de 63 microtrazadores por muestra. Esto se atribuye a que pueden existir sobrantes de tratamientos anteriores de microtrazadores lo cual es una fuente de contaminación en la mezcla.

Los microtrazadores también pueden ser utilizados para analizar contaminación entre tanda de producción. Se realiza esta prueba de control con una periodicidad anual, para verificar si las medidas adoptadas para reducir la contaminación cruzada son efectivas, así como en los casos que en los que se varíe el protocolo de la sistemática de fabricación pudiendo afectar a la contaminación cruzada (Grupo Omega de Nutrición Animal 2012).

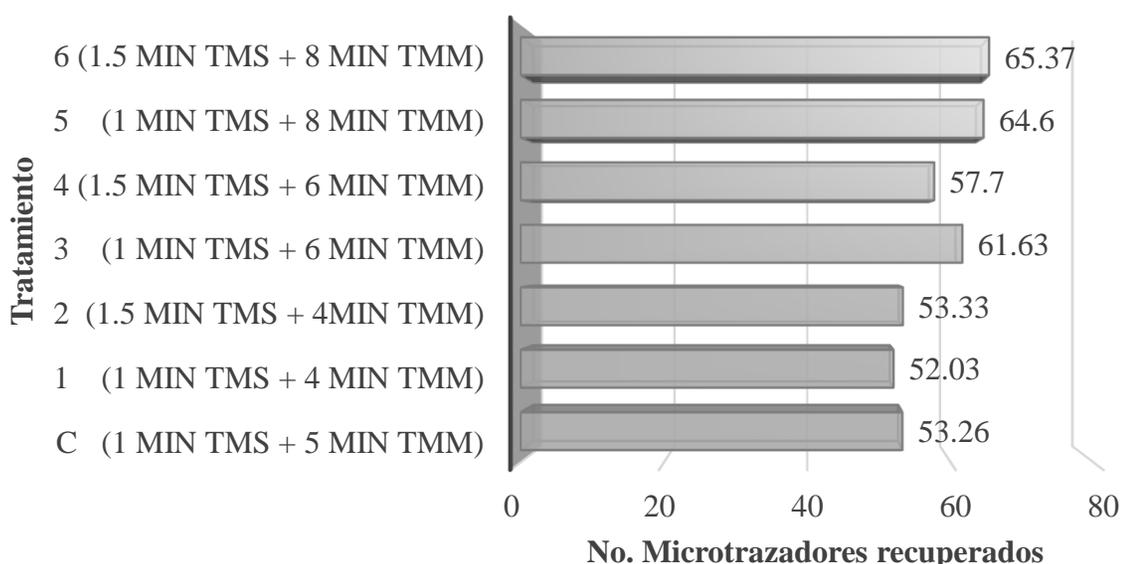


Figura 3. Cantidad de microtrazadores recuperados.

Los coeficientes de variación de los tratamientos muestran un comportamiento alternativo el cual no fue significativo con la interacción del tiempo de mezcla seca con la interacción del tiempo de mezcla con melaza. Un coeficiente de variación < 10% ha sido usado a través de la industria como el nivel de uniformidad que una mezcladora debe lograr para ser considerada como una buena mezcla (Clark *et al.* 2007). En este caso, el menor coeficiente de variación obtenido se le atribuye al tratamiento 4 el cual es de 5.7% indicando este el mezclado más uniforme de los tratamientos. Sin embargo, los tratamientos 1 y 5 con coeficientes de 7.99 y 8.71% respectivamente, también poseen un coeficiente aceptado por la industria a los cuales se les califica como “buena mezcla”.

Un incremento o reducción en el tiempo de mezclado con o sin núcleo no implica un cambio proporcional en el coeficiente de variación (Antelo Bruckner 2008). Los tratamientos con núcleo a medida que aumentó el tiempo de mezclado a 4 y 6 minutos disminuyó el

coeficiente de variación lo que indica que a mayor tiempo mejora el mezclado (Banegas Bonilla 2009). Sin embargo, este estudio contradice los dos supuestos planteados previamente como se observa en la figura 4. Los coeficientes de variación no tienen relación con el aumento del tiempo.

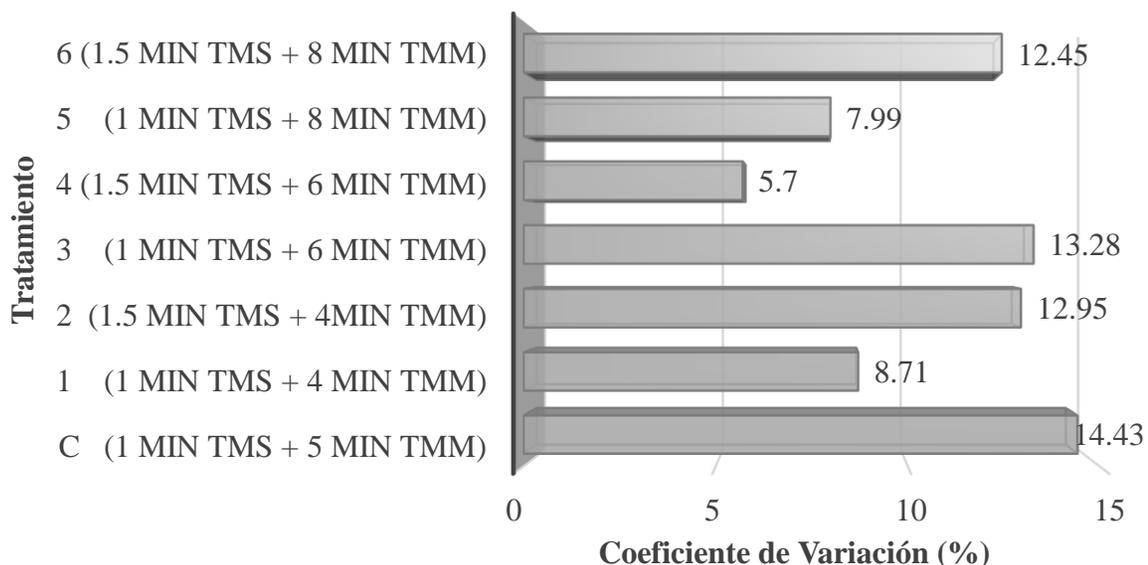


Figura 4. Coeficientes de variación en los tratamientos.

Al realizar un análisis en base al día de toma de muestra se obtuvo el cuadro 5 que demuestra el efecto del día de la semana en el coeficiente de variación, indicando un efecto directamente proporcional. Este efecto se le atribuye a la frecuencia de limpieza de la mezcladora. El coeficiente más bajo obtenido fue tomado el día lunes y el más alto fue tomado un día jueves. La mala limpieza de la mezcladora puede provocar formación de residuos o costras, hongos y micotoxinas (Campabadal 2002). En un estudio realizado por Joy *et al.* (2010). El día de control afectó significativamente a los parámetros medidos, ya que a pesar de respetarse todos los días las mismas proporciones de materias primas, la heterogeneidad de las mismas dentro de los montones influyó en la composición final de la mezcla.

Cuadro 5. Relación de día de la semana con coeficiente de variación.

| Día de la semana | Tratamiento | CV (%) |
|------------------|-------------|--------|
| Lunes | 4 | 5.70 |
| Martes | 5 | 7.49 |
| Miércoles | 1 | 8.71 |
| Miércoles | 2 | 12.95 |
| Jueves | Control | 14.43 |
| Jueves | 3 | 13.28 |
| Jueves | 6 | 12.45 |

CV= Coeficiente de Variación.

Los factores evaluados durante este estudio fueron tiempo de mezcla de materiales secos (TMS) y tiempo de mezcla con melaza (TMM). El análisis estadístico demuestra que el TMM es estadísticamente significativo, mientras que el TMS y la interacción TMS × TMM no son estadísticamente significativos como lo muestra el cuadro 6.

Cuadro 6. Nivel de significancia factorial.

| Factor | Nivel de significancia |
|---------------|-------------------------------|
| TMS | Ns |
| TMM | ** |
| TMS×TMM | Ns |

**Estadísticamente significativo ($P < 0.05$).

Ns = No existe diferencia significativa.

TMS = Tiempo de mezcla de materiales secos.

TMM = Tiempo de mezcla con melaza.

La homogenización del líquido en la harina depende de varios factores como tipo de producto, granulometría (cuanto más fino esté molido, mejor superficie específica y mejor absorción), humedad del producto (el agua rechaza la grasa), temperatura (cuanto más alta mejor) y la dosificación (el flujo irá dirigido a las harinas, nunca a las paredes) (Mann 2010).

4. CONCLUSIONES

- El tiempo de mezcla con melaza tiene un efecto más significativo en la mezcla de alimentos balanceados de Zamorano. Así mismo, la frecuencia de limpieza tiene un efecto directo sobre la uniformidad de la mezcla.
- Con el método de microtrazadores se obtuvo un tiempo óptimo para lograr una mayor uniformidad en la mezcla sin hacer cambios en el resto del proceso.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar el mismo estudio en la mezcladora de 30 quintales para verificar si existe una diferencia entre ambas mezcladoras debido al tiempo de vida de este tipo de maquinaria.
- Llevar a cabo el mismo estudio en las distintas dietas para aves producidas en la planta de alimento balanceado de Zamorano debido a la baja ingesta de estos animales en producción.
- Actualizar el manual POES de la planta de alimento balanceado de Zamorano debido a la instalación y uso de nueva maquinaria y nuevos métodos de producción.
- Evaluar la manera en que la frecuencia de limpieza de la maquinaria afecta la eficiencia de la misma, desarrollando nuevos métodos de limpieza en ambas mezcladoras.
- Realizar un análisis de granulometría en los materiales de mayor porcentaje en las dietas de los alimentos balanceados en la planta.
- Evaluar otras maneras de adición de líquidos a la mezcla, ya que esta afecta de forma directa la calidad del alimento balanceado.
- Realizar análisis mediante otros métodos para evaluar la uniformidad de la mezcla.
- Elaborar un plan de mejora para la producción en ambas mezcladoras de la planta de alimentos balanceados de Zamorano.

6. LITERATURA CITADA

Antelo Bruckner X. 2008. Efecto del tiempo y procedimiento de mezclado del alimento balanceado para gallinas ponedoras sobre la producción y calidad del huevo en la mesa [Tesis]. Honduras: EAP Zamorano, Ciencia y Producción Agrícola. 23 p; [consultado 2018]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/844/1/T2541.pdf>.

Bagliacca M, Paci G, Marzoni M, Lisi E. 2002. Impiego di particelle di ferro colorate (Microtracers (c)) come traccianti dei mangimi e per il controllo della miscelazione. *Large Animals Review*. 2.

Banegas Bonilla DJ. 2009. Efecto del tiempo y procedimiento de mezclado del alimento balanceado y su efecto en la producción de pollos de engorde [Tesis]. Honduras: EAP Zamorano, Ciencia y Producción Agrícola. 21 p; [consultado 2018]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/358/1/T2733.pdf>.

Campabadal C. 2002. Problemas Prácticos en la Manufactura y utilización del Alimento. Estados Unidos de América.: Consejo Norteamericano de Exportadores de Soya (USSEC). 123 p.

Clark PM, Behnke KC, Poole DR. 2007. Effects of Marker Selection and Mix Time on the Coefficient of Variation (Mix Uniformity) of Broiler Feed. *The Journal of Applied Poultry Research*. 16(3):464–470. doi:10.1093/japr/16.3.464.

Djuragic O, Levic J, Sredanovic S, Levic L. 2009. Evaluation of homogeneity in feed by method of microtracers. *Novi Sad, Serbia.: Archiva Zootechnica*. 7 p. 12 vol. p. 85–91.

Eisenberg D. [sin fecha]a. Información General. San Francisco, CA: Micro-Tracers Inc. 4 p.

Eisenberg D. [sin fecha]b. Microtracer F: Determine Integridad de Mezcla. San Francisco, CA: Micro-Tracers Inc. 9 p.

Grupo Omega de Nutrición Animal. 2011. Microtrazador: Protocolo toma de muestra y valoración de homogeneidad de mezcla mediante microtrazador. Departamento de Calidad. Madrid, España: [sin editorial]. 8 p. 2011; [consultado 2018].

HC Davis. 2018. Feed Mixing Brochure: Horizontal Batch Feed Mixers. Kansas, Estados Unidos de América.: HC Davis. 4 p.

Joy M, Casasus I, Ferrer J, Revilla R. 2006. Testaje de diferentes modelos de mezcladoras Unifeed (II). Estudio de la ingestión de la mezcla. *MG Mundo Ganadero*. ISSN 0214-9192. 2006; 17(188): 24–27. https://www.researchgate.net/publication/28281829_Testaje_de_diferentes_modelos_de_mezcladores_Unifeed_II_Estudio_de_la_ingestion_de_la_mezcla?enrichId=rgreq-9b621da49fac429f16b5d1220d13f002-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI4MjgxODI5O0FTOjEwMDAxNjM2MjM2MDg0M0AxNDAwODU3MTY3Njkx&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf.

Loaisiga Romero JE. 2017. Protocolo de microtrazadores: Medición de calidad de dispersión mediante la utilización de microtrazadores Microtracers®. Honduras: Planta de Alimento Balanceado, EAP Zamorano. 3 p.

Mann H. 2010. El alimento balanceado: De fabricación en planta de alimentos al consumo en granjas. *Engormix*; [consultado 2018]. <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/fabricacion-de-alimento-balanceado-t28616.htm>.

Medrano R. 2006. Mezcladoras y Proceso de Mezclado. *Engormix*; [consultado 2018]. <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/mezcladoras-proceso-mezclado-t26431.htm>.

Nieto Bernal DM, Prieto Páez DM. 2017. Optimización del tiempo de producción de mezclado bajo un modelo matemático en una planta extrusora de tubos [Tesis]. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Ingeniería de Producción. 69 p.

Vásquez Madrid GG. 2013. Elaboración de manual de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) para la Planta de Alimentos Balanceados de Zamorano [Tesis]. Honduras: EAP Zamorano, Administración de Agronegocios. 144 p.

Wong Busso AJ. 2016. Incidencia del tiempo y adición de insumos sobre la homogeneidad de alimentos balanceados elaborados en mezcladores de cintas [Tesis]. Lima, Peru: Universidad San Ignacio de Loyola, Facultad de Ingeniería. 120 p.

7. ANEXOS

Anexo 1. Hoja de Resultados.

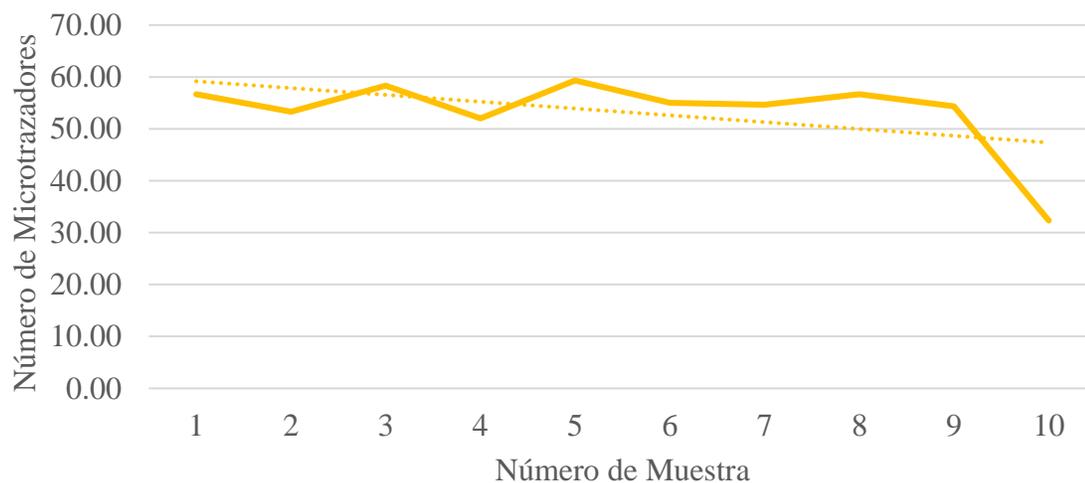
| TOMA DE DATOS - MUESTRAS | | | | | | | | | | | | \bar{X} | SD |
|--------------------------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----------|-------|
| TRAT | REP | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| C | 1 | 53 | 58 | 61 | 66 | 65 | 52 | 51 | 58 | 58 | 42 | 56.4 | 6.80 |
| | 2 | 59 | 46 | 64 | 56 | 58 | 50 | 64 | 47 | 45 | 25 | 51.4 | 11.08 |
| | 3 | 58 | 56 | 50 | 34 | 55 | 63 | 49 | 65 | 60 | 30 | 52 | 11.12 |
| T1 | 1 | 41 | 58 | 45 | 46 | 43 | 52 | 56 | 58 | 70 | 50 | 51.9 | 8.38 |
| | 2 | 93 | 57 | 65 | 50 | 54 | 48 | 50 | 45 | 45 | 52 | 55.9 | 13.59 |
| | 3 | 44 | 57 | 55 | 52 | 35 | 50 | 58 | 50 | 41 | 41 | 49.11 | 7.27 |
| T2 | 1 | 26 | 36 | 50 | 28 | 49 | 53 | 39 | 51 | 32 | 29 | 39.3 | 10.04 |
| | 2 | 58 | 43 | 46 | 72 | 54 | 74 | 60 | 79 | 77 | 61 | 62.55 | 12.72 |
| | 3 | 65 | 69 | 53 | 61 | 54 | 47 | 59 | 74 | 64 | 36 | 58.2 | 10.57 |
| T3 | 1 | 50 | 50 | 60 | 67 | 73 | 71 | 54 | 69 | 59 | 64 | 61.7 | 8.03 |
| | 2 | 57 | 63 | 77 | 53 | 94 | 61 | 64 | 61 | 49 | 55 | 63 | 12.11 |
| | 3 | 46 | 60 | 52 | 66 | 71 | 67 | 48 | 71 | 61 | 60 | 59 | 9.31 |
| T4 | 1 | 54 | 58 | 48 | 46 | 31 | 62 | 56 | 60 | 54 | 61 | 53 | 8.88 |
| | 2 | 53 | 61 | 54 | 53 | 75 | 70 | 61 | 61 | 57 | 51 | 59.6 | 7.42 |
| | 3 | 59 | 65 | 55 | 68 | 69 | 58 | 65 | 58 | 57 | 61 | 61.5 | 4.65 |
| T5 | 1 | 51 | 60 | 68 | 61 | 56 | 53 | 72 | 43 | 60 | 51 | 57.5 | 8.14 |
| | 2 | 59 | 71 | 70 | 82 | 74 | 57 | 76 | 67 | 57 | 67 | 68 | 7.96 |
| | 3 | 63 | 73 | 66 | 68 | 82 | 60 | 54 | 82 | 61 | 74 | 68.3 | 8.89 |
| T6 | 1 | 37 | 72 | 63 | 68 | 62 | 67 | 67 | 49 | 74 | 62 | | |
| | 2 | 62 | 79 | 67 | 80 | 73 | 85 | 71 | 65 | 61 | 60 | | |
| | 3 | 55 | 78 | 63 | 59 | 57 | 67 | 89 | 70 | 47 | 51 | | |

| TRATAMIENTO | Tiempo de Mezclado | Adición de Líquidos |
|-------------|--------------------|---------------------|
| CONTROL | 5 min | 60 s |
| T1 | 4 min | 60 s |
| T2 | 4 min | 90 s |
| T3 | 6 min | 60 s |
| T4 | 6 min | 90 s |
| T5 | 8 min | 60 s |
| T6 | 8 min | 90 s |

Anexo 2. Resultados de la toma de datos del control con la plantilla de Microtracers® en Microsoft Excel 2016®.

| Muestra | Repetición 1 | Repetición 2 | Repetición 3 | Media por muestra |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| 1 | 53 | 59 | 58 | 56.67 |
| 2 | 58 | 46 | 56 | 53.33 |
| 3 | 61 | 64 | 50 | 58.33 |
| 4 | 66 | 56 | 34 | 52.00 |
| 5 | 65 | 58 | 55 | 59.33 |
| 6 | 52 | 50 | 63 | 55.00 |
| 7 | 51 | 64 | 49 | 54.67 |
| 8 | 58 | 47 | 65 | 56.67 |
| 9 | 58 | 45 | 60 | 54.33 |
| 10 | 42 | 25 | 30 | 32.33 |
| Media | 56.4 | 51.4 | 52 | 53.27 |
| Desv | 7.17 | 11.68 | 11.72 | 7.68 |
| Coef var | 12.71 | 22.73 | 22.54 | 14.43 |
| Coef - poi | 13.32 | 13.95 | 13.87 | 13.70 |
| Chi² | 8.20 | 23.90 | 23.77 | 9.98 |
| Prob | 41.43 | 0.24 | 0.25 | 26.66 |

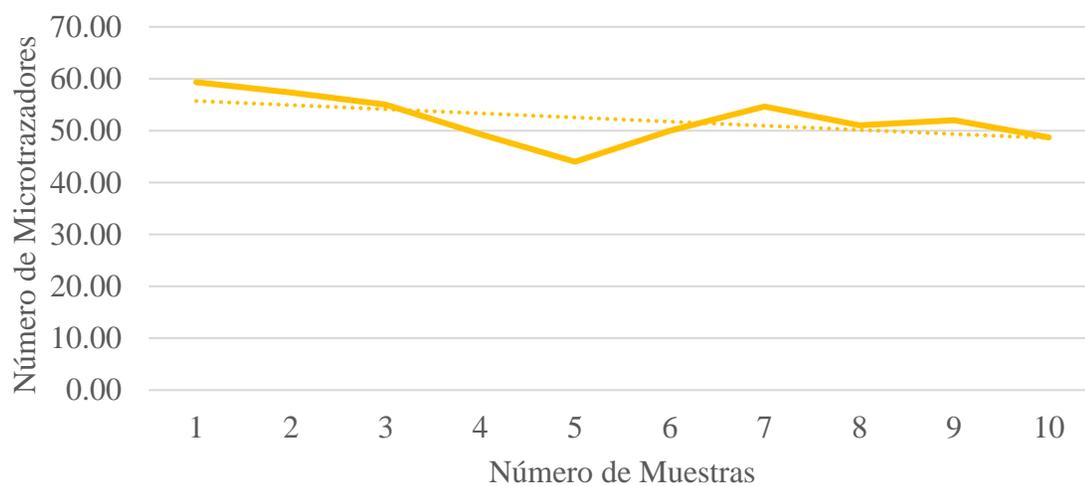
Anexo 3. Gráfico de las medias por muestra en el control.



Anexo 4. Resultados de la toma de datos del tratamiento 1 con la plantilla de Microtracers® en Microsoft Excel 2016®.

| Muestra | Repetición 1 | Repetición 2 | Repetición 3 | Media por muestra |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| 1 | 41 | 93 | 44 | 59.33 |
| 2 | 58 | 57 | 57 | 57.33 |
| 3 | 45 | 65 | 55 | 55.00 |
| 4 | 46 | 50 | 52 | 49.33 |
| 5 | 43 | 54 | 35 | 44.00 |
| 6 | 52 | 48 | 50 | 50.00 |
| 7 | 56 | 50 | 58 | 54.67 |
| 8 | 58 | 45 | 50 | 51.00 |
| 9 | 70 | 45 | 41 | 52.00 |
| 10 | 50 | 52 | 44 | 48.67 |
| Media | 51.9 | 55.9 | 48.6 | 52.13 |
| Desv | 8.84 | 14.33 | 7.46 | 4.54 |
| Coef var | 17.03 | 25.64 | 15.34 | 8.71 |
| Coef - poi | 13.88 | 13.38 | 14.34 | 13.85 |
| Chi² | 13.54 | 33.08 | 10.30 | 3.56 |
| Prob | 9.45 | 0.01 | 24.48 | 89.48 |

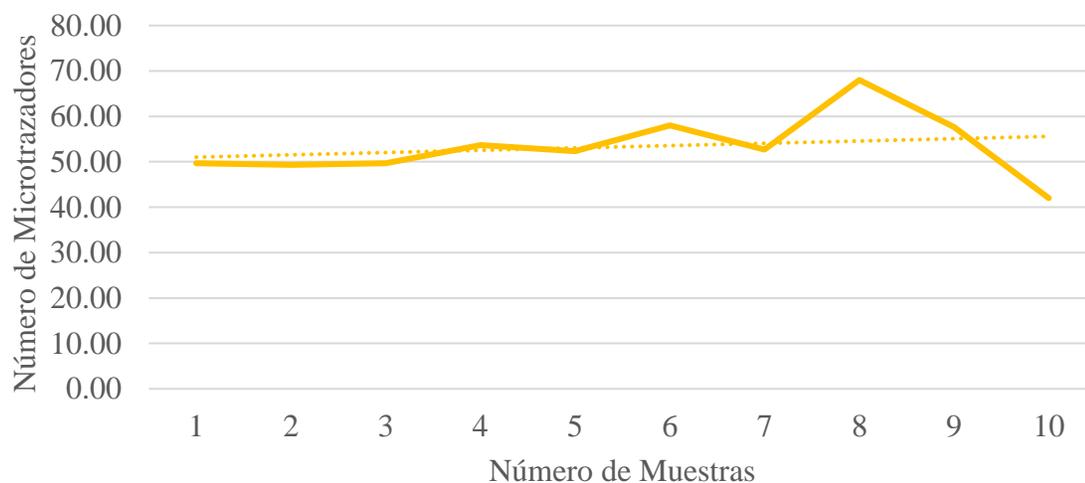
Anexo 5. Gráfico de las medias por muestra en el tratamiento 1.



Anexo 6. Resultados de la toma de datos del tratamiento 2 con la plantilla de Microtracers® en Microsoft Excel 2016®.

| Muestra | Repetición 1 | Repetición 2 | Repetición 3 | Media por muestra |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| 1 | 26 | 58 | 65 | 49.67 |
| 2 | 36 | 43 | 69 | 49.33 |
| 3 | 50 | 46 | 53 | 49.67 |
| 4 | 28 | 72 | 61 | 53.67 |
| 5 | 49 | 54 | 54 | 52.33 |
| 6 | 53 | 74 | 47 | 58.00 |
| 7 | 39 | 60 | 59 | 52.67 |
| 8 | 51 | 79 | 74 | 68.00 |
| 9 | 32 | 77 | 64 | 57.67 |
| 10 | 29 | 61 | 36 | 42.00 |
| Media | 39.3 | 62.4 | 58.2 | 53.3 |
| Desv | 10.58 | 12.73 | 11.14 | 6.90 |
| Coef var | 26.93 | 20.40 | 19.15 | 12.95 |
| Coef - poi | 15.95 | 12.66 | 13.11 | 13.70 |
| Chi² | 25.65 | 23.37 | 19.20 | 8.04 |
| Prob | 0.12 | 0.29 | 1.38 | 42.95 |

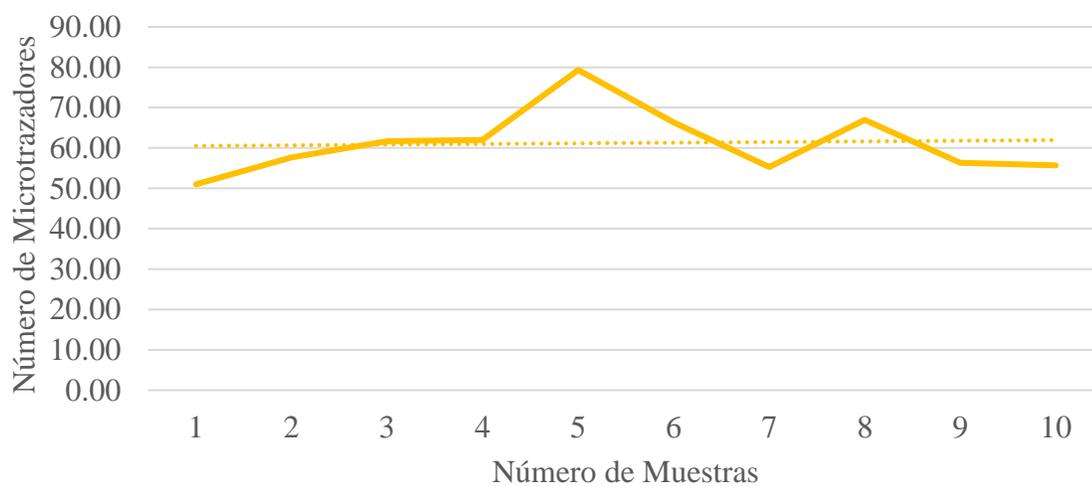
Anexo 7. Gráfico de las medias por muestra en el tratamiento 2.



Anexo 8. Resultados de la toma de datos del tratamiento 3 con la plantilla de Microtracers® en Microsoft Excel 2016®.

| Muestra | Repetición 1 | Repetición 2 | Repetición 3 | Media por muestra |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| 1 | 50 | 57 | 46 | 51.00 |
| 2 | 50 | 63 | 60 | 57.67 |
| 3 | 60 | 73 | 52 | 61.67 |
| 4 | 67 | 53 | 66 | 62.00 |
| 5 | 73 | 94 | 71 | 79.33 |
| 6 | 71 | 61 | 67 | 66.33 |
| 7 | 54 | 64 | 48 | 55.33 |
| 8 | 69 | 61 | 71 | 67.00 |
| 9 | 59 | 49 | 61 | 56.33 |
| 10 | 64 | 55 | 48 | 55.67 |
| Media | 61.7 | 63 | 59 | 61.23 |
| Desv | 8.46 | 12.76 | 9.81 | 8.13 |
| Coef var | 13.71 | 20.26 | 16.63 | 13.28 |
| Coef - poi | 12.73 | 12.60 | 13.02 | 12.78 |
| Chi² | 10.44 | 23.27 | 14.68 | 9.72 |
| Prob | 23.55 | 0.30 | 6.57 | 28.56 |

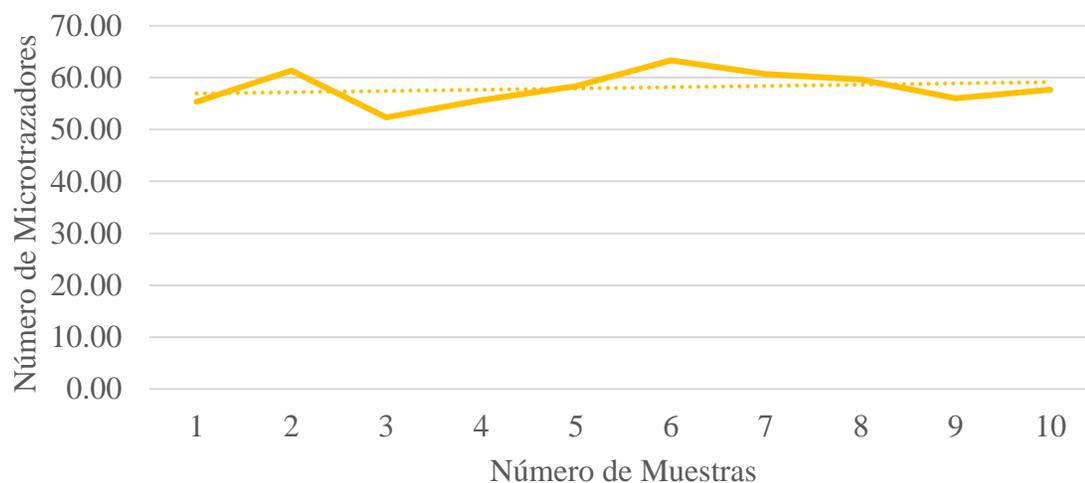
Anexo 9. Gráfico de las medias por muestra en el tratamiento 3.



Anexo 10. Resultados de la toma de datos del tratamiento 4 con la plantilla de Microtracers® en Microsoft Excel 2016®.

| Muestra | Repetición 1 | Repetición 2 | Repetición 3 | Media por muestra |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| 1 | 54 | 53 | 59 | 55.33 |
| 2 | 58 | 61 | 65 | 61.33 |
| 3 | 48 | 54 | 55 | 52.33 |
| 4 | 46 | 53 | 68 | 55.67 |
| 5 | 31 | 75 | 69 | 58.33 |
| 6 | 62 | 70 | 58 | 63.33 |
| 7 | 56 | 61 | 65 | 60.67 |
| 8 | 60 | 61 | 58 | 59.67 |
| 9 | 54 | 57 | 57 | 56.00 |
| 10 | 61 | 51 | 61 | 57.67 |
| Media | 53 | 59.6 | 61.5 | 58.03 |
| Desv | 9.36 | 7.82 | 4.90 | 3.31 |
| Coef var | 17.65 | 13.12 | 7.98 | 5.70 |
| Coef - poi | 13.74 | 12.95 | 12.75 | 13.13 |
| Chi² | 14.87 | 9.23 | 3.52 | 1.69 |
| Prob | 6.18 | 32.29 | 89.76 | 98.90 |

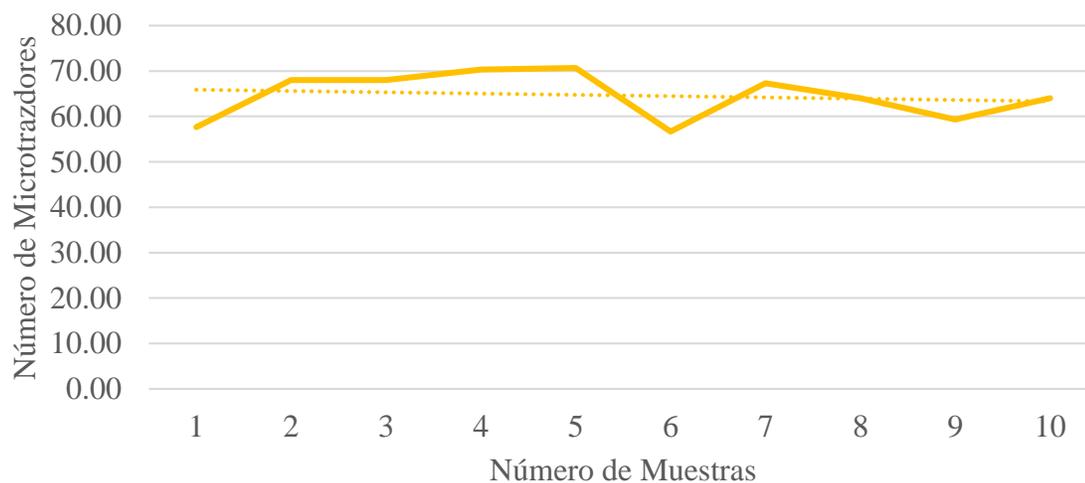
Anexo 11. Gráfico de las medias por muestra en el tratamiento 4.



Anexo 12. Resultados de la toma de datos del tratamiento 5 con la plantilla de Microtracers® en Microsoft Excel 2016®.

| Muestra | Repetición 1 | Repetición 2 | Repetición 3 | Media por muestra |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| 1 | 51 | 59 | 63 | 57.67 |
| 2 | 60 | 71 | 73 | 68.00 |
| 3 | 68 | 70 | 66 | 68.00 |
| 4 | 61 | 82 | 68 | 70.33 |
| 5 | 56 | 74 | 82 | 70.67 |
| 6 | 53 | 57 | 60 | 56.67 |
| 7 | 72 | 76 | 54 | 67.33 |
| 8 | 43 | 67 | 82 | 64.00 |
| 9 | 60 | 57 | 61 | 59.33 |
| 10 | 51 | 67 | 74 | 64.00 |
| Media | 57.5 | 68 | 68.3 | 64.6 |
| Desv | 8.58 | 8.39 | 9.37 | 5.16 |
| Coef var | 14.92 | 12.34 | 13.72 | 7.99 |
| Coef - poi | 13.19 | 12.13 | 12.10 | 12.44 |
| Chi² | 11.52 | 9.32 | 11.57 | 3.71 |
| Prob | 17.39 | 31.57 | 17.15 | 88.22 |

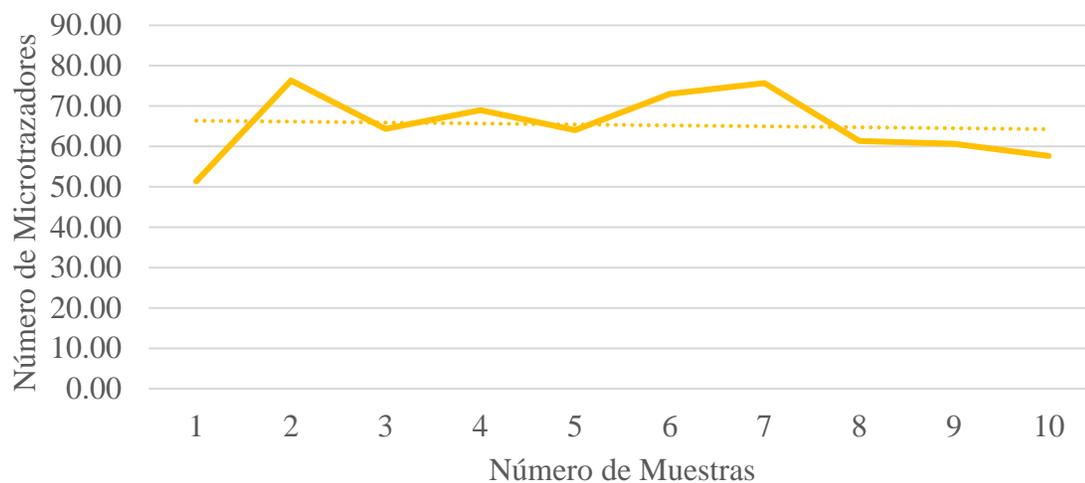
Anexo 13. Gráfico de las medias por muestra en el tratamiento 5.



Anexo 14. Resultados de la toma de datos del tratamiento 6 con la plantilla de Microtracers® en Microsoft Excel 2016®.

| Muestra | Repetición 1 | Repetición 2 | Repetición 3 | Media por muestra |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| 1 | 37 | 62 | 55 | 51.33 |
| 2 | 72 | 79 | 78 | 76.33 |
| 3 | 63 | 67 | 63 | 64.33 |
| 4 | 68 | 80 | 59 | 69.00 |
| 5 | 62 | 73 | 57 | 64.00 |
| 6 | 67 | 85 | 67 | 73.00 |
| 7 | 67 | 71 | 89 | 75.67 |
| 8 | 49 | 65 | 70 | 61.33 |
| 9 | 74 | 61 | 47 | 60.67 |
| 10 | 62 | 60 | 51 | 57.67 |
| Media | 62.1 | 70.3 | 63.6 | 65.33 |
| Desv | 11.18 | 8.78 | 12.82 | 8.13 |
| Coef var | 18.00 | 12.49 | 20.15 | 12.45 |
| Coef - poi | 12.69 | 11.93 | 12.54 | 12.37 |
| Chi² | 18.11 | 9.87 | 23.25 | 9.11 |
| Prob | 2.04 | 27.40 | 0.31 | 33.29 |

Anexo 15. Gráfico de las medias por muestra en el tratamiento 6.



Anexo 16. Cuadro de fechas de toma de muestras.

| TRATAMIENTO | FECHA | DIA | SEMANA | MODULO |
|--------------------|--------------|------------|---------------|---------------|
| CONTROL | 1/8/2018 | MIERCOLES | 31 | 13 |
| | 2/8/2018 | JUEVES | 31 | 13 |
| | 2/8/2018 | JUEVES | 31 | 13 |
| T1 | 8/8/2018 | MIERCOLES | 32 | 14 |
| | 8/8/2018 | MIERCOLES | 32 | 14 |
| | 8/8/2018 | MIERCOLES | 32 | 14 |
| T2 | 8/8/2018 | MIERCOLES | 32 | 14 |
| | 29/8/2018 | MIERCOLES | 35 | 14 |
| | 29/8/2018 | MIERCOLES | 35 | 14 |
| T3 | 30/8/2018 | JUEVES | 35 | 14 |
| | 30/8/2018 | JUEVES | 35 | 14 |
| | 30/8/2018 | JUEVES | 35 | 14 |
| T4 | 30/8/2018 | JUEVES | 35 | 14 |
| | 3/9/2018 | LUNES | 36 | 14 |
| | 3/9/2018 | LUNES | 36 | 14 |
| T5 | 3/9/2018 | LUNES | 36 | 14 |
| | 3/9/2018 | LUNES | 36 | 14 |
| | 4/9/2018 | MARTES | 36 | 14 |
| T6 | 13/9/2018 | JUEVES | 37 | 1 |
| | 13/9/2018 | JUEVES | 37 | 1 |
| | 13/9/2018 | JUEVES | 37 | 1 |

Anexo 17. Mezcladora y aspas luego de limpieza.



Anexo 18. Tornillo sin fin, elevador de cangilones y tolva de producto terminado.



Anexo 19. Microtrazadores.



Anexo 20. Pre mezcla de microtrazadores.



Anexo 21. Toma de muestras.



Anexo 22. Prueba de microtrazadores.



Anexo 23. Resultados de la prueba de microtrazadores.

