

LA IMPORTANCIA DEL MEZCLADO EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTACIÓN ANIMAL

Tomas Irigoyen R
DSM Nutritional Products México

Introducción

El mezclado es una de las operaciones más importante en el proceso de fabricación de alimentos, aunque frecuentemente se le da poca importancia o no se la considera.

Miles de pesos son gastados para reunir, procesar y almacenar ingredientes en sistemas de suministros semi o totalmente automatizados, para dosificar cantidades exactas de ingredientes en la báscula.

Sin embargo, si estos diferentes ingredientes no son apropiadamente mezclados, el sistema de control de calidad anterior a este punto va a perder en gran medida su eficiencia.

La premisa básica de la cual parte un nutriólogo al elaborar sus dietas es que cada proporción de esa dieta esté balanceada con respecto a los requerimientos nutritivos de la especie animal objetivo a la cual va destinada la ración.

La dieta tiene que contener los elementos nutritivos para poder soportar el mantenimiento, crecimiento, producción y salud de los animales.

Los aditivos deben estar presentes para garantizar la protección contra enfermedades y otras acciones. Es por eso que los niveles deben controlarse para evitar deficiencias o toxicidad.

Para los animales de corta edad o tamaño, así como para animales con un tracto digestivo corto, el valor de la homogeneidad de la mezcla es aún más crítico, porque consumen menores cantidades de alimento.

Los avances en el aumento del potencial genético han generado animales con una mayor tasa de crecimiento, produciendo más carne magra, huevos y leche, con tasas de conversión alimenticia mejoradas.

Además, el mejor conocimiento de la composición de las materias primas usadas en la fabricación de dietas animales le ha permitido al nutriólogo realizar programas más precisos de alimentación, con menores márgenes de seguridad, con el resultado de un menor costo en la producción animal.

Entonces, es necesario recalcar la necesidad de tener excelentes medios de dosificación y mezclado, ya que la preparación del alimento físicamente pide exactitud y proporcionalidad para cada animal que se va a alimentar. Así lo espera el nutriólogo.

Dosificación

Calibración y exactitud

Objetivo: Obtener con exactitud la cantidad de cada ingrediente que el nutriólogo consideró necesaria en el alimento balanceado.

Los sistemas de dosificación de macroingredientes, microingredientes y líquidos son equipos que nos proporcionan los ingredientes para su mezclado. Independientemente de los equipos que sean, es muy importante para la consecución de un buen alimento balanceado que éstos trabajen en forma adecuada, en los rangos de peso que se necesitan y con la mayor exactitud posible.

Para esto existe como Buena Práctica de Manufactura (GMP), la siguiente cláusula:

Todas las básculas y equipos de medición utilizados para la preparación de alimento balanceado deben ser apropiados para los rangos de peso / volumen necesitados en la formulación, y deben ser validados en su funcionamiento apropiado.

Todos los equipos de medición en proceso deben ser calibrados con regularidad por personal calificado y en la frecuencia que recomienda el diseñador, ó según lo requiera la ley.

Las revisiones de seguimiento al buen funcionamiento de las básculas se deben hacer en la planta por el personal de control de calidad o por la supervisión con patrones bien conservados y mantenidos.

Se deben hacer y mantener registros de estas calibraciones, validaciones y revisiones y mantener su trazabilidad.

La NOM-Z-55-1986 (Vocabulario de términos) entre otras definiciones marca las siguientes:

Calibración: Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un aparato o sistema de medición y los valores conocidos correspondientes de una magnitud medida.

Magnitud: Atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia que es susceptible de ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente.

Exactitud: Aptitud de un instrumento de medición para dar indicaciones próximas al valor verdadero de una magnitud medida.

Ajuste: Operación destinada a llevar un aparato de medición a un funcionamiento y a una exactitud conveniente para su utilización.

Trazabilidad: Propiedad de un resultado de medición consistente en poder relacionarlo con los patrones apropiados, generalmente internacionales o nacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones.

Patrón: Medida materializada, aparato de medición o sistema de medición destinada a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad, o uno o varios valores conocidos de una magnitud, para transmitirlos por comparación a otros instrumentos de medición.

Transportación y Colección de Polvo

Una vez conseguidos todos los materiales pesados con exactitud, es importante hacerlos llegar al mezclador de una manera consistente, es decir, que no haya pérdidas en los transportadores

o por los colectores de polvo. Así, la revisión de estos equipos debe ser rutinaria, para poder detectar la pérdida, caída, fuga, la extracción en demasía, o cualquier factor en el proceso que con mal funcionamiento merme las cantidades de materias primas que ya fueron bien pesadas y van en camino al mezclador.

Adición manual

Los sistemas automáticos modernos normalmente contemplan entradas para adiciones manuales con tolva báscula y esto permite integrar volúmenes registrables al sistema de bacheo (PCS = Process Control System). En esta tolva báscula normalmente se integran a las materias primas con destino al mezclador, los micro ingredientes o premezclas.

Estas tolvas básculas para la adición manual, que permiten el registro en el PCS, son muy importantes para las funciones de trazabilidad de todos los componentes en el alimento balanceado.

Cuando no existen estas tolvas básculas con registro automático al PCS, se tienen simplemente compuertas de adición, para las cuales es doblemente importante llevar un registro manual como un procedimiento de operación, en donde se registre todo lo que entra por estas compuertas, para poder así dar confiabilidad a la operación, demostrando qué ingredientes fueron adicionados y conforman al final el alimento balanceado.

Secuencia de adición

El orden de los factores sí altera el producto.

La antigua regla del sándwich dentro del mezclador está vigente. El dotar a los microingredientes, o inclusive a los macroingredientes de menor volumen, de una cama de la mitad del grano de mayor cantidad del batch y luego cerrar la adición con la otra mitad, ayuda en gran forma a que estos materiales de pequeño volumen sean más fácilmente movidos dentro del flujo; además, se evita que queden adheridos a la pared o queden fuera del alcance del listón o paletas del mezclador. Esto facilita su homogenización dentro del alimento balanceado.

Homogenización

Objetivo: Obtener en cada porción del alimento balanceado, la cantidad de cada ingrediente que el nutriólogo consideró necesaria para cada animal.

Independientemente del tipo de mezclador con que se cuente, se marca como GMP:

Todos los mezcladores utilizados para la preparación de alimentos balanceados deben ser validados para cumplir con los estándares de homogenización, cuando se instalan, se reparan o por lo menos una vez al año, o tan frecuentemente como sea necesario, para asegurar que su funcionamiento sea apropiado, utilizando protocolos de prueba aceptables.

Se deben hacer y mantener registros de estas validaciones y revisiones.

El grado de homogenización del alimento puede cambiar debido a las siguientes condiciones en el mezclador:

a) Desgaste o daño en los listones ó paletas.

- b) Acumulación de gran cantidad de “build-up” o emplaste de alimento en ejes, brazos y listones o paletas del mezclador.
- c) Poco o demasiado llenado de la capacidad del mezclador.
- d) Demasiada adición de líquidos.
- e) Malas prácticas en la adición de los ingredientes.
- f) Combinación de las anteriores.

Pruebas de mezclado

Mcellhiney *et al.* (1994) indican que el mezclado es una operación básica para la fabricación de alimentos. Intuitivamente, la uniformidad en una dieta completa no es sólo deseable, sino necesaria, para maximizar la utilización de nutrientes. Para optimizar el crecimiento, la producción y la salud, los animales deben recibir una dieta balanceada que provea nutrientes y aditivos en concentraciones apropiadas. Beumer (1991) cita a la uniformidad como uno de los más importantes aspectos de calidad en la producción de piensos. Ensminger *et al.* (1990) indicaron que debido a que los pollitos consumen pocos gramos cada día, es necesario tener todos los nutrientes esenciales, en las cantidades apropiadas, en porciones pequeñas.

Es decir, que cada muestra tomada debe ser idéntica en composición nutricional a cualquier otra muestra. En la práctica es imposible alcanzar una mezcla perfecta. Generalmente, el objetivo es el producir una mezcla uniforme, esto es, una mezcla en donde la probabilidad de encontrar una partícula de un componente sea la misma en todas las demás posiciones de la mezcla y sea igual a la mezcla de partículas que no fueron sujetas a la segregación. La segregación es una de las primeras causas de una reducción en la uniformidad de la mezcla de una dieta (Axe, 1995).

Para poder clarificar los requerimientos que ayuden a escoger un procedimiento de análisis o prueba en la determinación de la uniformidad, se pueden seguir los siguientes criterios (Behnke, 1994):

- A. El principio de las pruebas debe basarse en un ingrediente común, nutriente o químico que esté usualmente en la fórmula o que pueda ser adicionado con riesgo mínimo y que provenga de una misma fuente.
- B. El costo por cada prueba debe ser mínimo.
- C. El procedimiento de las pruebas debe ser simple, rápido, preciso y puede llevarse a cabo en el lugar.
- D. Las pruebas no deben representar peligro para el personal o animales.
- E. El reactivo de la prueba debe ser suministrado por un solo proveedor.
- F. El tamaño de la muestra debe ser razonable, pero lo suficientemente grande como para reducir o eliminar el error de muestreo.
- G. El coeficiente de variación puede ser aproximadamente 2 veces la variación analítica de la prueba escogida, pero no puede exceder el 10%.
- H. Los procedimientos estadísticos requeridos deben ser fácilmente entendibles y ejecutables.

Wilcox (1986) sugiere 10 muestras por batch y no un mayor número de muestras, que los estadísticos prefieren, debido al tiempo que toma analizar las muestras. Diez muestras por batch por tiempo de mezclado permitirán obtener coeficientes de variación suficientemente satisfactorios, con aceptables costos por mano de obra, tiempo y laboratorios.

Existen varios tipos de pruebas de mezclado aceptadas y una o más deben realizarse en el momento de la instalación y después rutinariamente (aproximadamente cada 3 meses). Las

pruebas de mezclado determinan la cantidad de tiempo necesario para obtener una mezcla de ingredientes satisfactoria. Los procedimientos son relativamente simples y consideran muestreos a intervalos específicos. Las pruebas de mezclado comúnmente usadas incluyen:

A. Análisis Químico:

Los análisis químicos cuantitativos son muy confiables y precisos. Se pueden realizar sobre una variedad de microingredientes, como vitaminas, minerales, coccidiostatos o aminoácidos. La desventaja de este tipo de análisis es que las rutinas toman demasiado tiempo para poder encontrar resultados en un corto tiempo y poder realizar las modificaciones del caso. Son buenos para verificaciones periódicas y para los procesos de estandarización.

Existen ciertas pruebas de origen cualitativo que se usan para detectar la presencia o ausencia de alguno de estos microingredientes en las mezclas. Son pruebas de detección colorimétrica y en ninguno de los casos deberán usarse como guías cuantitativas.

B. Microtrazadores:

Son partículas de hierro magnetizadas, de diferentes colores y densidades, que cuando son adicionadas a una mezcladora, se dispersan dentro de ella y al tomar un número de muestras dentro del batch a diferentes intervalos de tiempo, se espera que se encuentre en cada una de ellas el mismo número de partículas de color. Estas aparecen sobre el papel filtro previamente humedecido y solo hay que hacer un conteo de los puntos de color encontrados. El análisis estadístico determinará la variación en la mezcla (Eisenberg, 1992). En un artículo en Feed Management (1984) mencionan que el porcentaje de recuperación de microtrazadores fue de 67 a 90%. El uso de trazadores codificados de color en varias planta se ha hecho con el propósito de determinar la presencia o verificar errores de omisión de un ingrediente marcado con trazadores en la formulación. Son pruebas de detección colorimétrica y en ninguno de los casos deberán usarse como guías cuantitativas.

C. Prueba de cloruros:

El método de cloruros, con el Quantab (MR), es determinar la presencia del ión cloruro en una solución acuosa. La sal de la mezcla es extraída con agua caliente y la titulación se hace con unas pequeñas tiras reactivas impregnadas de dicromato de plata. Al colocar la tira reactiva en la solución, ésta subirá por la barra capilar y la sal reaccionará con el dicromato de plata, produciendo un cambio de color, de marrón a blanco, sobre la tira. Se calcula la concentración del ión cloruro y se puede determinar la variación esperada dentro de una mezcla. Es una prueba de determinación rápida, unos 15 minutos, y no requiere de equipos especiales. La interpretación de los resultados ocurre vía un análisis estadístico.

Interpretación de resultados y evaluaciones estadísticas de las pruebas de mezclado

La desviación estándar y el coeficiente de variación son usados para determinar los resultados de una mezcla. Para interpretar los resultados de una validación, se debe conocer el coeficiente de variación del procedimiento usado. Por ejemplo, los Quantab tienen una variación de 5%, por lo que un análisis de una mezcla con 10% total o menos se tomara como bueno. La misma situación aplica para otros procedimientos. Estos procedimientos también pueden ser usados para aislar diferentes puntos de segregación en las plantas de alimentos. Si el coeficiente de variación es 8% en la mezcladora y 18 % en las tolvas de producto terminado, existe un problema entre el mezclador y ese punto.

Un tiempo de mezclado adecuado ha sido obtenido cuando el coeficiente (CV) de las muestras es o está próximo al CV establecido para el procedimiento de determinación. Por lo cual, es

deseable seleccionar un procedimiento con una buena reproducibilidad analítica (bajo CV). El muestreo es también muy importante para cualquier evaluación de mezclado. Al menos 10 muestras deben ser tomadas de diferentes lugares en el mezclador o en intervalos de tiempo durante la descarga de la mezcladora. Se deben tomar suficientes muestras cada tiempo (aproximadamente 200 g) para permitir una buena prueba de muestreo.

Los resultados estadísticos de las muestras analizadas con un coeficiente de variación de 5 – 10% pueden ser considerados satisfactorios dependiendo del tipo de alimento fabricado. Premezclas, piensos pre-iniciadores e iniciadores deben tener coeficientes cercanos o por debajo de 7.5%. Coeficientes por encima del 10% indican que se debe de considerar hacer mejoras en el mezclado y manejo.

En el boletín MF-1172 de la Universidad Estatal de Kansas de los Estados Unidos se da una interpretación de las pruebas de mezclado:

<u>% Coeficiente de Variación</u>	<u>Rango</u>	<u>Acciones Correctivas</u>
< 10%	Excelente	Ninguna
10 – 15%	Bueno	Inspección del mezclador
15 – 20%	Aceptable	Incrementar el tiempo de mezclado, chequear por partes gastadas o usadas, sobre llenado del mezclador, o secuencia de adición de los ingredientes
> 20%	Pobre	Posible combinación de todos los anteriores, consultar con los fabricantes del equipo

Ching Sou Fei (1997) menciona que cuando se usa un limitado número de muestras (10-12) se puede esperar que ocasionalmente ocurra un CV de más del 10%, el cual puede o no identificar un problema que esté ocurriendo en el proceso de mezclado. Por lo tanto, se debe revisar este concepto para ajustarse a los estándares individuales de la planta y las políticas de control de calidad.

Las fórmulas estadísticas para pruebas de mezclado son:

Promedio: $\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$

Varianza: $S^2 = \frac{\sum (X_i)^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}{n - 1}$

Desviación estándar: $S = \sqrt{S^2}$

Coeficiente de variación: $CV = (S/\bar{X}) * 100$

Factores que afectan el desempeño de los mezcladores

Algunos autores como Chin Sou Fei (1997), Wilcox y Balding (1986), Wicker y Poole (1991) indican que algunos factores como la insuficiencia en el tiempo de mezclado, el llenado más allá de la capacidad recomendada, equipo o piezas rotas, alteradas o desgastadas y la limpieza pueden afectar el desempeño de los mezcladores.

El tiempo de mezclado necesario para producir una homogénea distribución de los ingredientes del alimento debe ser determinado para cada mezclador. El tiempo de mezclado está en función del diseño del mezclador y la velocidad rotacional de los listones, paletas o tornillo. Cada mezclador debe ser afinado buscando sus revoluciones por minuto (RPM) apropiadas para obtener una dispersión óptima. Diferentes tipos de ingredientes pueden tener patrones de fluidez diferentes en un mismo mezclador a similares RPM. Wilcox y Unruh (1986) indican que generalmente a mayor RPM más eficiente es el patrón de dispersión. Sin embargo, un RPM óptimo puede cambiar con el tiempo de vida del mezclador, producto de su uso normal, acumulación de ingredientes, desgaste o daño de las bases estructurales. Para un buen transporte de partículas en un mezclador horizontal es esencial que el rotor se encuentre limpio y tan libre de acumulaciones como sea posible. En caso contrario, el desempeño de los mezcladores puede reducirse y, eventualmente, conducir a una contaminación cruzada. Pfost (1976) menciona que el tiempo en el cual un mezclador puede operar debe determinarse con base en dos criterios:

- A. El tiempo que se requiere para lograr una mezcla satisfactoria puede ser usado como guía. Un coeficiente de variación entre 5 a 10% es probablemente satisfactorio en muchos casos para reunir los requerimientos nutricionales y regulatorios razonables. Eso se conoce como una “mezcla satisfactoria”
- B. El tiempo requerido para alcanzar una variación mínima, cuando cualquier tiempo de mezclado adicional no causará un cambio significativo ($P < 0.05$) de variación entre una muestra y otra.

Otras fuentes de variación

Wilcox (1986) menciona que existen fuentes de variación que tienen su efecto en la distribución de ingredientes en la fabricación de alimentos. Estos incluyen:

- A. Variables de fabricación
 - 1. Variación en potencia de los aditivos de la premezcla
 - 2. Errores en la fórmula y pesaje
 - 3. Variaciones en la composición de los ingredientes y sus propiedades
 - 4. Variaciones debido a los equipos y técnicas de producción
 - 5. Técnicas de muestreo para obtener muestras
- B. Variables analíticas
 - 1. Manejo y sub-muestreo de las muestras
 - 2. Variaciones en los reactivos químicos
 - 3. Variaciones inherentes al método, equipo y procedimiento
 - 4. Variaciones que involucran la conversión de medidas

Uniformidad del alimento y su efecto sobre el rendimiento animal

Wicker y Poole (1991) consignaron datos de una encuesta sobre mezcladoras comerciales y dicen que más del 50% no cumple con un CV de menos de 10% cuando se utilizan metionina y lisina como indicadores. Resultados similares fueron señalados por Stark *et al.* (1991) cuando evaluaron mezcladoras en las granjas. En su experimento, solamente 42% de las dietas analizadas tenían un CV para concentración de sal de menos de 10%, 47% estaban entre 10 y 20% y 11% tenían CV mayores a 20%.

Existen investigaciones que relacionen el tiempo de mezclado, uniformidad de la dieta y segregación de ingredientes con el rendimiento animal. Sin embargo, intuitivamente el concepto de uniformidad es importante. Los productores deben reconocer que si los ingredientes de los alimentos, particularmente microingredientes como vitaminas, aminoácidos, elementos trazas y drogas, son incorporados incorrectamente, el desempeño animal se verá afectado adversamente.

En la Universidad Estatal de Kansas, Taylor *et al.* (1994) condujeron dos experimentos para determinar los efectos del tiempo de mezclado en la uniformidad de la dieta y el rendimiento de crecimiento de cerdos en crianza o en engorda. Para el experimento en crianza se utilizaron 120 cerdos destetados (peso promedio inicial de 5.5 kg). Los cerdos fueron alimentados con una dieta común por 7 días; luego, desde el día 8 hasta el 27 fueron alimentados con una dieta igual en ingredientes, pero con diferentes tiempos de mezclado (0, 0.5, 2 y 4 minutos) en una mezcladora de doble cinta. Un estudio preliminar estableció que estos tiempos de mezclado darían un CV entre 40% a < 10% usando sal como el trazador. En las dietas, la uniformidad fue determinada con cromo como trazador, debido a que las dietas de crianzas contenían niveles altos de sal natural. Para el segundo experimento se alimentaron 128 cerdos (peso promedio inicial de 56.3 kg) hasta un peso de sacrificio de 117.5 kg. Todos los cerdos recibieron la misma dieta con base en maíz – harina de soya. Los tratamientos fueron idénticos a los utilizados en el experimento de crianza.

En el experimento de crianza, el desempeño de los cerdos fue mejorando a medida que se incrementó el tiempo de mezclado y el CV disminuyó. La mejor respuesta fue, como se esperaba, incrementando el tiempo de mezclado de 0 a 0.5 minutos. La ganancia diaria de peso se incrementó 42%, mientras que la conversión alimenticia mejoró 20%. Adicionalmente, se detectaron mejoras en el desempeño animal a medida que se mejoraba la uniformidad del alimento con tiempo de mezclado adicional.

Pfost y col. (1974) demostraron que la variación en los nutrientes existe y que los nutriólogos, para evitarla, formulan las dietas de aves con un exceso en los nutrientes clave, elevando así el costo de la dieta innecesariamente.

Adicionalmente, si se van a producir deficiencias nutricionales en el campo, con manifestaciones clínicas o subclínicas, es posible también producir otro tipo de efectos, como toxicidad y contaminaciones cruzadas de aditivos, cuyos efectos en las aves u otras especies pueden llegar a ser desastrosos. Poco interés existe también en los investigadores por averiguar el efecto de las interacciones entre la edad del animal y el peso metabólico en la uniformidad de un nutriente.

Tipos de mezcladora

Tres tipos básicos de mezcladoras son usados en las operaciones de mezclado de alimentos: horizontales, verticales y continuas. Conociendo las limitaciones y desventajas de cada una de éstas, se puede facilitar la selección de la mejor mezcladora para un tipo específico de operación de elaboración de alimento.

Mezcladora horizontal

La mezcladora horizontal es el tipo de equipo más comúnmente usado. Esta mezcladora está equipada con listones espirales derechos e izquierdos, que conducen el material de un extremo al otro mientras está cayendo en la mezcladora. Otros diseños incluyen las mezcladoras de paletas, en las cuales las paletas reemplazan a los listones; al utilizar paletas, un mayor

porcentaje de líquidos puede ser agregado a los ingredientes en la mezcladora. Las paletas deben ser ajustables, de tal manera que el montaje o la instalación pueda ser configurada para obtener la operación de mezclado deseada.

Las mezcladoras horizontales son frecuentemente equipadas con una apertura de descarga múltiple o con un fondo que se abre a lo largo de la base de la mezcladora. Estas aperturas facilitan el vaciado rápido y completo. Una tolva próxima a la mezcladora reduce el tiempo de vaciado y el ciclo de mezclado.

Una gran ventaja de las mezcladoras horizontales es que se puede agregar un mayor porcentaje de líquidos a la mezcla. Aproximadamente, se considera, para fines prácticos, agregar 10% de líquidos como el límite máximo. El tiempo de mezclado óptimo es de 3-4 minutos; además, en estas mezcladoras no debe pasarse de 5 - 7 cm por encima de la cinta y nunca por debajo del eje.

Mezcladora vertical

La mezcladora vertical fue una de las más comunes en los molinos a escala comercial. Sin embargo, la mayoría de éstas han sido reemplazadas por mezcladoras horizontales. Las pequeñas plantas han estado instalando mezcladoras verticales durante años porque son versátiles, de bajo costo inicial, económicas a nivel de mantenimiento y de operación y pueden ser instaladas en una superficie relativamente pequeña.

Las mezcladoras verticales están diseñadas con 1 o 2 tornillos verticales, siendo más eficientes con un diseño de tornillo doble. Estas mezcladoras no se autodescargan y requieren de esfuerzo considerable para evitar contaminación cruzada, debido a residuos que quedan después del vaciado. El tiempo de mezclado está dentro de un rango de 15 a 20 minutos. La adición de líquidos en este tipo de mezcladoras no se recomienda en más de 3%. La tolva del mezclador vertical no debe quedar llena; solamente debe utilizarse el 90% de su capacidad.

Mezcladoras continuas

Las mezcladoras continuas son usadas con sistemas diseñados para reunir ingredientes en una base continua. Se usan a menudo para mezclar un alto nivel de líquidos en una mezcla base o adicionar vapor a la mezcla de ingredientes, como en el proceso de acondicionamiento de peletizado. El líquido agregado a un mezclador continuo debe ser primero calentado. Las mezcladoras continuas tienen uno o dos ejes con paletas, que transportan el material alimenticio del lado inicial al terminal con un buen grado de turbulencia. Las paletas en las mezcladoras continuas pueden estar configuradas en un ángulo hacia delante, hacia atrás o en un ángulo neutro. Los ángulos de las paletas, junto con las RPM de la mezcladora, determinan el tiempo de residencia de la mezcla de ingredientes en la mezcladora. Estas mezcladoras varían ampliamente en diseño y capacidad. Generalmente, las mezcladoras continuas se encuentran en plantas donde los cambios en formulación no son frecuentes y se usan las mismas formulaciones día tras día. Se ha comprobado que este tipo de mezcladoras puede trabajar con gran eficiencia en un tiempo por debajo de 1 minuto y, dependiendo del diseño, es posible operarlas entre 40 y 130% de la capacidad del diseño con buena eficiencia.

Propiedades de los ingredientes

Las propiedades físicas de los ingredientes pueden afectar la mezcla. Si todas las propiedades físicas fueran relativamente las mismas, entonces mezclar sería un proceso bastante sencillo; mas, en la realidad, las características físicas de los ingredientes son muy variables, lo cual

obliga a exigir de este proceso mayores rendimientos. Entender a los ingredientes es la clave para producir una mezcla uniforme.

Pfost (1976), Wilcox y Balding (1976), Behnke et al. (1991) y Van Zuilichem (1992) citan seis factores que afectan la homogeneización de la mezcla:

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| a) Tamaño de la partícula | b) Forma de la partícula |
| c) Densidad del peso específico | d) Higroscopicidad |
| e) Carga estática | f) Adhesividad |

De esta lista, el tamaño de partícula, la forma y la densidad son las más importantes. Las partículas grandes y pequeñas no se mezclan bien; lo mejor será que exista una variedad de tamaños para que los espacios que forman sean ocupados por las pequeñas. Por lo tanto, cuando existen dos ingredientes con tamaño de partículas extremadamente diferentes, los ingredientes se pueden separar.

El tamaño de partícula es quizás el factor más importante de los factores asociados a ingredientes. Una mezcla de partículas de diferentes tamaños puede segregarse por cinco diferentes mecanismos relacionados al tamaño.

La trayectoria puede causar segregación en un mezclador cuando las partículas son levantadas fuera de una masa de material y lanzadas con la intención de dispersarlas sobre la superficie. Las partículas más grandes viajan más lejos y esto limitará la calidad del mezclado que se quiere obtener. Este mecanismo también puede causar segregación en el flujo del material al final de las cintas transportadoras.

El ángulo de reposo: partículas de tamaño uniforme de diferentes materiales en una mezcla pueden segregarse significativamente durante el apilamiento si los materiales tienen diferente ángulo de reposo (máximo ángulo en grados que un material se retiene en un gradiente).

El material que tiene el ángulo más pronunciado tiende a concentrarse en el centro, mientras que el que tiene el ángulo más plano se concentra hacia los lados. La segregación por ángulo de reposo es un mecanismo que muy frecuentemente aumenta la segregación por tamaño, porque los finos usualmente tienen un ángulo de reposo más alto que las partículas toscas del mismo material o ingrediente.

Percolación de partículas finas: si una masa de partículas es alterada de tal manera que una partícula se mueve, una re-adequación en el empaque de las partículas puede ocurrir. De vez en cuando se producirán espacios entre las partículas, permitiendo que una partícula de la superficie se mueva a la parte más baja, y una partícula de algún otro lugar se mueva a una parte superior. Si la masa de polvo contiene partículas de diferentes tamaños será más fácil para una partícula pequeña caer a la capa más inferior que para una partícula más grande, y entonces existirá una tendencia de las partículas pequeñas a moverse hacia abajo, llevando a la segregación.

El ascenso de partículas groseras en vibración: además del efecto de percolación, existe otro mecanismo de segregación cuando una masa contiene partículas de diferentes tamaños y es sometida a vibración. Las partículas grandes tienden a ir hacia la superficie con la vibración. Este efecto puede ocurrir aun si las partículas grandes fuesen más densas que las partículas finas. Es más, entre más densa sea la partícula grande más fácilmente llegará a la superficie.

Segregación por decantamiento: cuando un ingrediente en particular contiene una distribución amplia, incluyendo una apreciable cantidad, por decir menor a 50 μm , y es descargado en la parte superior del silo, elevador u otro contenedor, el aire es desplazado a la superficie. La velocidad del aire puede igualar o exceder la velocidad terminal de las partículas finas, las cuales pueden permanecer en suspensión como una nube después de que las partículas grandes se han establecido en la superficie. Las partículas finas eventualmente caerán de la suspensión y formarán una capa en la superficie de las partículas groseras.

Existe una relación entre tamaño de partícula y número de partículas. Cuando cierto volumen o peso es constante, el número de partículas aumenta a medida que el tamaño disminuye. Esta relación promueve la uniformidad.

Axe (1995) y Axe y Behnke (1995) mencionan que la forma de la partícula se refiere a dos características distintas: forma y proporción. Éstas influyen en propiedades como fluidez y capacidad para el empaque. Cuando la forma de las partículas de un ingrediente es extremadamente diferente de la de los otros ingredientes en la mezcla, las partículas pueden tender a segregarse. Al contrario, cuanto más similar sea la forma de los ingredientes, se obtendrá una mejor mezcla.

Densidades elevadas de partículas, tales como las de los minerales, tienden a segregarse o depositarse en el fondo de las tolvas. Cuando los ingredientes tienen diferencias extremas en las densidades, tienden a segregarse durante el mezclado o manipulación. Las partículas densas migran hacia la profundidad a través de las livianas.

Las cargas electrostáticas producen segregación. Pero también la triboelectricidad (carga de fricción) puede ser otra causa. Las partículas pueden cargarse de electricidad durante el proceso de mezclado o mediante el contacto con otras partículas o partes del mezclador. Generalmente, las partículas finas son las que se cargan de electricidad. Esas cargas pueden atraer o repeler a los ingredientes entre sí, o pueden provocar una atracción hacia las partes metálicas. Asimismo, algunos ingredientes como las vitaminas convencionales y los medicamentos poseen grandes cargas estáticas, haciendo que permanezcan adheridos en las paredes de la mezcladora.

El polvo es más que todo un problema de seguridad para el personal y especies animales, así como un indicativo de pérdida de potencia de los microingredientes y causa de contaminación cruzada en el aire o sistemas de colección de polvo.

La higroscopicidad, una propiedad común de muchos ingredientes, es la afinidad de un ingrediente por la humedad atmosférica. Un secuestro significativo de esta humedad por parte de un ingrediente puede resultar en cambios en las propiedades físicas, tales como empastamientos o grumos, reducción del número de partículas y aumento del tamaño de la partícula y de la densidad. Esto puede afectar fuertemente la habilidad de un ingrediente de distribuirse y mezclarse bien.

Puede concluirse, entonces, que la complejidad del proceso de mezclado radica en el número de ingredientes y la variación de las características físicas de éstos en la mezcla. El tamaño correcto de las partículas ayudará a obtener una mezcla homogénea de alimento, a aumentar el rendimiento del animal y a mejorar el procesamiento de la mezcla.

Conclusiones

Es obvio que no conocemos mucho sobre el efecto de la uniformidad en el desempeño de los animales. Sin embargo, independientemente del animal objetivo, las buenas prácticas de manufactura dictan que debemos esforzarnos por producir un alimento tan uniforme como sea posible. Por lo tanto, los equipos deben ser seleccionados y operados sobre la base de sus capacidades conocidas. Deben establecerse protocolos de operación para asegurar que obtendremos la máxima uniformidad en los nutrientes. El personal debe ser entrenado y educado sobre el concepto de uniformidad y deben conducirse muestreo apropiados para asegurar que los piensos llegan a los animales lo más uniformes posible.

Los esfuerzos por reducir la variabilidad de los nutrientes en los alimentos balanceados permitirán una ganancia significativa en las operaciones comerciales. Un apropiado proceso de los ingredientes y almacenaje, un adecuado mantenimiento del equipo de mezclado y pruebas de rutina de los alimentos balanceados finales son esenciales para asegurar una óptima respuesta animal a los nutrientes de los alimentos, mientras se controlan los costos del alimento. El nutriólogo y los operadores de la planta de alimento deben trabajar juntos para monitorear muy de cerca la preparación y especificaciones de los piensos. El resultado final será una reducción en los costos para producir una unidad de carne, leche o huevo.

Bibliografía

- Anonymous, 1984. Comparison of homogeneity test. *Feed Management* 35, No. 4, pp. 37-38, 40.
- Axe, D.E., 1995. Factors affecting uniformity of a mix. *Anim. Feed Sci. Technol.* 53: 211-220.
- Axe, D.E., K.C. Behnke. 1995. Optimize mixing through ingredient selection. *Feed Management* 46. No.7, pp. 27-33
- Behnke, K.C., C. Fahrendolz y W. Dominy, 1991. Mixing and mixer for the aquaculture industry. In: *Proc. Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop*, 2nd ed., American Soybean Association.
- Behnke, K.C., C. Fahrendolz y Bortone E., 1994. Mezclado y mezcladoras para la industria de la acuicultura. En: *Tecnología para la fabricación de alimentos Balanceados*. American Feed Industry Association, VA
- Behnke, K.C. y T. Herrman, 1994. Feed Manufacturing -Testing mixer performance. *Bulletin MF-1172*. Manhattan, KS
- Behnke, K.C. y R.A. McCoy, 1992. Non uniformity in feed. *Feed Management*, September.
- Behnke, K.C. 1991. Feed uniformity: variation, measurement, and effect on animal performance. *Proc. Georgia Nutrition Conference*, Atlanta, Georgia. pp. 57-67.
- Behnke, K.C., 1992, The importance of nutrient uniformity to animal performance. *Arkansas Nutrition Conference*, Fayetteville, Arkansas. pp. 100-108.
- Behnke, K.C., 1994. The importance of nutrient uniformity to animal performance. *Proc. Roche Technical Seminar*, Georgia, USA.
- Behnke, K.C., 1996. Feed manufacturing technology: current issues and challenges. *Anim. Feed Sci. Technol.* 62: 49-57.
- Beumer, I.H., 1991. Quality assurance as a tool to reduce losses in animal feed production. *Adv. Feed Tech.* 6:6-23.
- Chin Sou Fei, 1997. Ensuring optimum mixability in feed manufacturing. 5th Regional ASA Feed Technology & Nutrition Workshop, Thailand, May.
- Duncan, M., 1973. Nutrient variation: effect on quality control and animal performance. Doctoral dissertation. KSU, Manhattan, KS.
- Eisenberg, D.A., 1992. Microtracers TM and their uses in assuring the quality of mixed formula feeds. *Feed Technology Int.*, Spring.

Eisenberg, S. y D. Eisenberg, 1994. Tamaño de las partículas y problemas de mezclado para los alimentos acuáticos. En: Tecnología para la fabricación de alimentos Balanceados. American Feed Industry Association, VA.

Eisenberg, D.A., 1994. Mix with confidence. Int. Milling Flour & Feed, June.

Ensminger, M.E., J.E. Oldfield y W.W. Heinemann, 1990. Feeds and Nutrition. 2nd ed. Ensminger Publishing Co., Clovis, CA.

Fawcett, R. y M. Webster, 1996. Valuing variance reduction. Proc Aust. Poult. Sci. Symp., Sydney, Australia.

Fischer, J.J., 1970. Solid – solid blending, Chemical Engineering.

Hamilton, R.M.G., 1995. Does particle size and feed form influence the performance of broiled or roaster chickens, turkey broilers or laying hens? Aust. Poultry Sci. Symp., Sidney, Australia.

Heidenreich, E., 1995. Mixing technology with the view to liquid addition and cross contamination. Victam Int., Utrecht, The Netherlands.

Larson, F.D., 1983. Feed Milling Technology Handbook, Calgary, Canada.

Moreira, L., 2000. Importancia del mezclado. Roche Vitaminas, Ecuador.

NOM-Z-55-1986. Vocabulario de términos fundamentales y generales sobre metrología. DOF. México.

NOM-010.SCFI-1994. Instrumentos de medición. DOF. México.

Pfost, H.B., M.S. Duncan y R.A. Waller, 1974. Determining the value of feed uniformity. Feedstuffs 46 (12): 41-50.

Pfost, H.B., 1976. Feed mixing. Feed Manufacturing Technology, pp. 85-103.

Poole, Dr., 1998. Mezcla de alimentos. El Informador Avícola No.87, Guatemala.

Poole, D.R., 1997. Comunicación personal.

Stark, C.R., K.C. Behnke, R.D. Goodband y J.A. Hansen, 1991. On farm feed uniformity survey. Swine day report of progress No. 641, KSU, Manhattan, KS, pp. 144.

Sorenson, I. y D. Phillips, 1994. Tamaño de las partículas y estadísticas del mezclado En: Tecnología para la fabricación de alimentos balanceados. American Feed Industry Association, VA.

Susa, J., 1992. Procesos de fabricación de alimentos balanceados. En: I Congreso Centroamericano y II Latinoamericano de Fabricantes de Alimentos Balanceados. Guatemala.

Traylor, S.L., J.D. Hancock, Behnke, C.R. Stark y R.H. Hines., 1994. Uniformity of mixed diets affects growth performance in nursery and finishing pigs. Proc. Midwestern Section-Am. Soc. Anim. Sci. Iowa. March.

Van Zuilichem, D., 1992. Handling of small ingredients in modern compound feed mills. Victam Int., The Netherlands.

Vargas, E., 1992. Variabilidad en la composición de ingredientes y alimentos balanceados, su efecto sobre el rendimiento y control. En: I Congreso Centroamericano y II Latinoamericano de Fabricantes de Alimentos Balanceados. Guatemala.

Wicker, D.L. y D.R. Poole, 1991. How is your mixer performing? Feed Management 42 (9):40-44.

Wilcox, R.A., y J.L. Balding. 1976. Feed manufacturing problems- incomplete mixing and segregation. Bulletin C-555 revised. KSU Cooperative Extension Service, Manhattan, KS.

Wilcox, R. y L. Unruh, 1986. Feed manufacturing problems – feed mixing times and feed mixers. Bulletin MF-829, KSU, Manhattan, KS.

Wilcox, R., 1986. Mixing test and a suggested test for batch mixers. Feed Additive Compendium, pp. 83-87.

Wilcox, R., 1987. Horizontal mixer performance. Mill Management 38, No. 12, pp. 18-26.

Zuilichem D, 1992. Handling of small ingredients in modern compound feed mills. Victam Int., Utrecht, The Netherlands.