

Effect of screening with different Tyler sieves in the production process of agricultural calcium sulfate

María Rebeca Rodríguez^a, Tony Espinosa^{*,a} , Juan C. García^a, Vanessa Hurtado^b 

^aEscuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

^bEscuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.



<https://doi.org/10.54139/revinguc.v29i3.434>

Abstract.- The process for agricultural calcium sulphate production is comprised of: a section of conditioning of the gypsum (obtained as a co-product in the process of phosphoric acid) and a conventional loop of granulation (granulator, dryer, sieve, mill and recycle). The sieving phase of the loop is very important, on this depends the average size distribution of the product which is a determinant factor in the granulation variables and of the fertilizer quality. Due to this, it was necessary to be determined the condition of sieving with different Tyler mesh that affects the operation conditions and the quality of the product. For this, three mesh sizes were tested (6, 7 and 8 mesh) at different times and also the physical-chemical properties to lab level were evaluated as also the operation variables.

Keywords: fertilizer; gypsum; granulation; distribution.

Efecto del cribado con diferentes mallas Tyler en el proceso de producción de sulfato de calcio agrícola

Resumen.- El proceso de producción de sulfato de calcio agrícola consta de una sección de acondicionamiento del yeso (co-producto del proceso de ácido fosfórico) y un lazo de granulación (granulador, secador, criba, molino y reciclaje). De forma más específica, la etapa de cribado reviste gran importancia ya que de esta depende la distribución del tamaño promedio del producto, que a su vez es un factor determinante en la eficiencia granulométrica que define en cierta medida la calidad del fertilizante y su efectividad. En tal sentido, el estudio del efecto de la condición del cribado con diferentes mallas Tyler permite analizar mejoras en la operación del proceso. Para estos fines, se probaron tres mallas (6, 7 y 8 Mesh) en diferentes periodos y se evaluaron las propiedades físicas y químicas que son determinantes en las características de calidad del producto.

Palabras clave: fertilizante; cribado; granulación; distribución.

Recibido: 02 de mayo, 2022.

Aceptado: 25 de octubre, 2022.

1. Introducción

El cultivo y la actividad agropecuaria en general constituye una fuente primordial de alimentos para la creciente población mundial, cuya demanda obliga a analizar y estudiar estrategias que permitan garantizar el mejor rendimiento de los suelos. Dentro de ese contexto, entendiendo la necesidad de aprovechar eficientemente los recursos naturales, se emplea el uso de fertilizantes que como lo expresa Pérez [1], son un insumo

que suplirá la necesidad nutricional del suelo para una producción agrícola aceptable, entendida como económica y ambientalmente viable.

Entre los fertilizantes más novedosos tenemos el sulfato de calcio agrícola granular, conocido como yeso agrícola, el cual cuenta con propiedades de fertilizante-enmienda y cuyo uso ha ganado popularidad debido a la mejora en la solubilidad y movilidad del suelo, además de su disponibilidad y bajo costo [2].

La producción del sulfato de calcio agrícola se logra gracias al aprovechamiento del yeso obtenido como subproducto del proceso de ácido fosfórico y del licor de urea-fosfato y consta de dos secciones. En la primera se tiene una sección de acondicionamiento del yeso y en la segunda, un

* Autor para correspondencia:

Correo-e: tony_paz@hotmail.com (T. Espinosa)

lazo de granulación convencional integrado por: el granulador, el secador, la criba, el molino y una recirculación.

En lo relativo a la granulación, la sección de cribado, que Chinduamba [3] define como una operación que permite clasificar por tamaño partículas de dimensiones e incluso formas variadas, obligándolas a enfrentarse a una superficie con aberturas, es determinante ya que la distribución del tamaño de las partículas donde se combina producto en proceso con producto terminado, está ligada a propiedades físicas que son fundamentales en la calidad y efectividad del producto. Por ejemplo, cuando se usa el fertilizante para corregir acidez, Díaz-Poveda y Sadhegian [4] explican que la reactividad y efecto del fertilizante estará asociada al tamaño de la partícula, destacando que, si bien las partículas grandes pueden llegar a reaccionar en períodos largos, las finas influirán inmediatamente en el suelo, por ende es necesario que las enmiendas tengan tamaño de partículas variables en un rango específico. Así mismo, Cuervo [5] destaca que la capacidad de disolución del yeso agrícola y la facilidad para percolarse en el suelo dependerá también de la granulometría.

El propósito de la investigación es evaluar cómo es afectado el proceso de granulación causando perturbaciones en la sección de cribado con la intención de proponer la implementación de una malla que proporcione los mejores beneficios.

2. Metodología

Para estudiar el efecto del cribado en el proceso de producción del sulfato de calcio agrícola, se tomaron tres condiciones diferentes de abertura de malla (6, 7 y 8 mesh), analizando luego las propiedades físicas y químicas que definen estrechamente la calidad del producto en función de su efecto como fertilizante y mejorador del suelo.

La ruta metodológica siguió el esquema mostrado en la Figura 1

2.1. Determinación de la distribución de tamaño del producto en estudio

La obtención del tamaño promedio en los granos de fertilizante es lograda a partir de una relación

determinada sólido-líquido en el granulador y del tamaño de los granos provenientes del reciclaje en el equipo. Paralelamente, la distribución de tamaño en el proceso está relacionada con la abertura de la malla que sea implementada para la separación de los granos que pasan a reciclaje y los que llegan a ser producto terminado.

En este sentido el proceso de granulación se constituye en un sistema donde existe un equilibrio entre los flujos másicos de alimentación de materia prima (fase sólida y fase líquida) al granulador y de producto terminado. La alimentación de materia prima es uno de los factores que determina el tamaño del producto que sale del granulador (granulado). Esta alimentación está representada por una fase sólida constituida por partículas de yeso seco que tienen un tamaño entre 0,02 y 0,07 mm, y una fase líquida en la que se encuentra: el licor de urea-fosfato (LUF), que hace la función de cementante, y el condensado del vapor suministrado al granulador que además aporta energía. Por otra parte, existe una corriente de recirculación que también alimenta al granulador y está compuesta por:

- I. Granos inicialmente gruesos, retenidos por una primera malla de 5,2 mm de abertura, que luego pasan a un molino el cual disminuye el tamaño promedio del grano dejando partículas de aproximadamente 1 mm.
- II. Granos finos provenientes del producto que pasa por la primera malla y a su vez por una segunda malla de la criba (malla a prueba con abertura de b mm). Dichos granos tienen un tamaño $<b$ mm.
- III. Por último, una fracción de la corriente de producto terminado (retenidos por la malla a prueba). El tamaño promedio en esta corriente estará entre 5,2 mm y b mm.

Para I y II, el producto es devuelto al granulador ya que se encuentra fuera de especificaciones y a su vez sirve de semilla para la formación de granos más grandes que si cumplirían con el tamaño requerido. En ambos casos, el flujo másico de las corrientes dependerá de la fracción de “buen

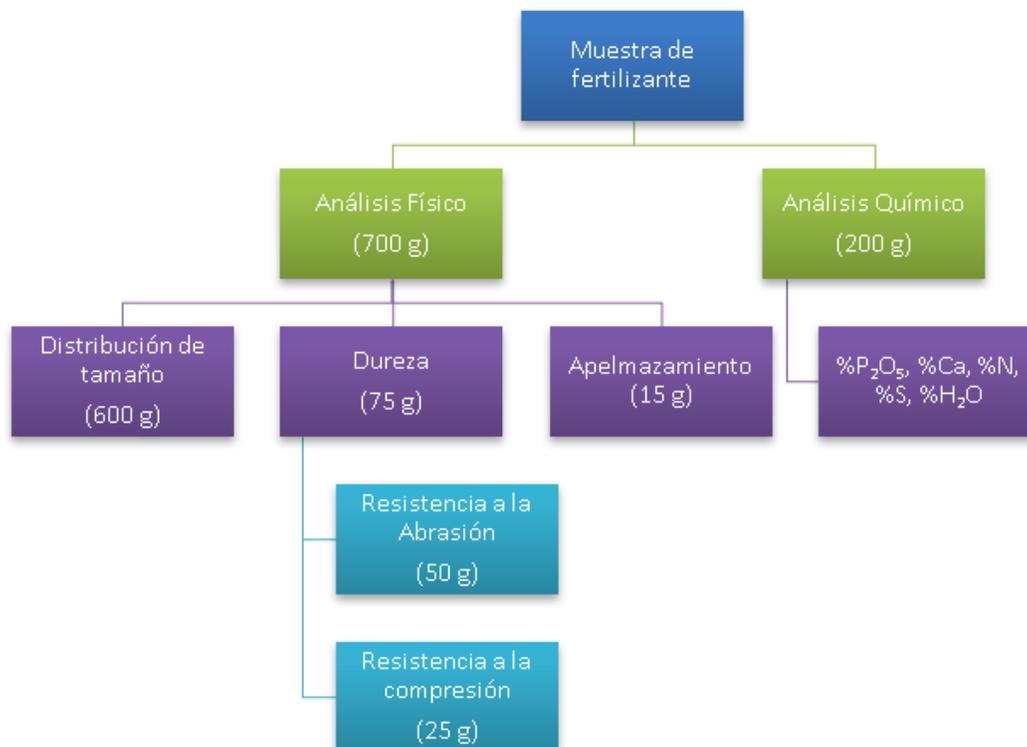


Figura 1: Esquema seguido para la ejecución de las pruebas físicas y químicas del fertilizante

producto” (producto dentro de especificaciones) contenido en el granulado, es decir, si esta fracción es alta, el reciclo formado por estas corrientes será bajo.

El caso III surge de considerar que se está tratando con un proceso continuo donde es necesario que la cantidad de materia prima y reciclo permanezcan constantes, de manera que la cantidad de producto terminado también lo sea. Por lo tanto, a pesar de que es una corriente que también sirve de semilla, su principal función será sopesar en cantidad, cualquier cambio que ocurra en las corrientes de reciclo formadas por I y II.

Con el proceso operando en condiciones estables o estacionarias, se tomaron muestras del fertilizante para cada una de las mallas estudiadas, en tres etapas del mismo (producto terminado, granulador y cinta del reciclo). Cada malla estuvo operativa durante un lapso de 14 días y la toma de muestra se efectuó cada dos horas tomando en cuenta que la asociada a producto terminado se captó 20 minutos después de las correspondientes al granulado y cinta de reciclo.

Se empleó un tamizador RTC-1 con una serie de 5 tamices Tyler de diferentes aberturas como se indica en la Tabla 1 y una bandeja de fondo. Más específicamente 600 g de muestra, fueron llevados al tamizador por un lapso de 2 min. Una vez tamizada, se pesó la cantidad de producto retenida en cada tamiz y en la bandeja. Con estos valores, se realizó la estimación de los porcentajes de retención en cada malla según la ecuación (1) y el tamaño promedio del producto retenido de acuerdo a la ecuación (2), para a partir de allí levantar las curvas de distribución de tamaño.

$$\%Rt = \frac{M_R}{M_T} \cdot 100, \quad (1)$$

donde:

$\%Rt$: Porcentaje de retención en cada tamiz.

M_R : Masa de Producto retenida en la malla (g).

M_T : Masa total tamizada (g).

$$\overline{Tp} = \frac{Abmp + Abmr}{2}, \quad (2)$$

donde:

T_p : tamaño promedio del producto retenido.

$Abmp$: Abertura de la malla previa (malla que atraviesa la muestra) (mm).

$Abmr$: Abertura de la malla que retiene el producto (mm).

Tabla 1: Tamices utilizados en la prueba de distribución de tamaño del yeso agrícola

Tamices (Mesh)	Abertura (mm)	Ensayo
24	0,707	todos
18	1	todos
12	1,7	todos
8	2,38	Malla 8
7	2,83	Malla 7
6	3,36	Malla 6
4	4,76	todos

2.2. Determinación de propiedades físicas

Se determinó la resistencia a la abrasión, resistencia a la compresión, apelmazamiento y humedad. Para la ejecución de estos ensayos se realizó previamente el método del cuarteo con las muestras tomadas por cada malla implementada.

2.2.1. Resistencia a la abrasión

En un tamizador RTC1 con bandeja de fondo se colocaron 50 esferas de acero de 9 mm de diámetro en el tamiz mesh 20 (0,841 mm). Se pesaron 50 g de muestra a analizar, los cuales fueron cargados también en el tamiz mesh 20. Se encendió el tamizador, dejándose actuar por 15 min, finalizado el tiempo se pesó la cantidad de producto depositado en la bandeja de fondo (producto degradado) y luego con los valores obtenidos se determinó el porcentaje de degradación por abrasión según la ecuación (3).

$$\%Deg = \frac{M_f}{M_T} \cdot 100, \quad (3)$$

donde:

$\%Deg$: porcentaje de material degradado.

M_f : masa de producto que queda en el fondo (g).

M_T : masa total tamizada (g)

2.2.2. Prueba de resistencia a la compresión

Se sometieron 25 granos al azar de la muestra correspondiente a cada malla a un esfuerzo mecánico en el cual se midió la presión que es capaz de soportar. Para ello se empleó un penetrómetro que consta de una base con un cilindro en donde se soporta la muestra, y una placa adherida a un tubo tipo pistón de 6 mm de diámetro, en donde a través de una serie de pesas se aplica carga hasta registrar la fractura del grano.

2.2.3. Pruebas de tendencia al apelmazamiento

En una base de acero con dos tornillos laterales, se colocaron dos cilindros huecos de acero inoxidable que internamente llevan un cilindro macizo de plexiglás. Dentro de cada cilindro de acero se colocaron 15 g de muestra a analizar, y sobre la muestra los cilindros de plexiglás sobre los cuales actúan unos resortes acoplados a placas circulares que hacen la función de peso muerto ejerciendo presión sobre la muestra con la intención de formar pastillas de fertilizante. Inicialmente se fijo ese peso en 10 kg, quedando la muestra comprimida durante un lapso de 14 días a una temperatura entre 30 y 35 °C y humedad relativa de 80 %.

Una vez cumplido el tiempo se revisó cualitativamente si se vió favorecida o no la formación de la pastilla.

2.3. Determinación de propiedades químicas

Se efectuaron los ensayos correspondientes para determinar la composición química del fertilizante, realizando la comparación con las características establecidas según los parámetros de calidad deseables. Se determinó fósforo total, fósforo soluble, nitrógeno (ureico) total, calcio, azufre y humedad.

3. Presentación y análisis de resultados

3.1. Distribución de tamaño

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de distribución de tamaño realizadas a las muestras tomadas con las diferentes mallas implementadas. La Tabla 2 muestra en detalle el tamaño de grano promedio, así como los porcentajes de retención y acumulación.

Tabla 2: Resultados del porcentaje de retención de cada malla en la prueba de distribución de tamaño

Mallas	Malla 6			Malla 7			Malla 8		
	Tamaño del grano promedio (mm)	Retención ($Rt \pm 0,02$) %	Acumulado ($A \pm 0,02$) %	Tamaño del grano promedio (mm)	Retención ($Rt \pm 0,02$) %	Acumulado ($A \pm 0,02$) %	Tamaño del grano promedio (mm)	Retención ($Rt \pm 0,02$) %	Acumulado ($A \pm 0,02$) %
fondo	0,39	0,07	0,07	0,39	0,03	0,03	0,39	0,02	0,02
24	0,85	0,17	0,24	0,85	0,15	0,17	0,85	0,09	0,12
18	1,35	1,72	1,96	1,35	4,24	4,41	1,35	4,82	4,94
12	2,53	93,05	95,01	2,27	74,53	78,94	2,04	34,78	39,72
8	—	—	—	—	—	—	3,57	60,11	99,83
7	—	—	—	3,80	21,03	99,97	—	—	—
6	4,06	4,60	99,61	—	—	—	—	—	—
4	4	0,20	99,81	4	0,00	99,97	4	0,16	99,99

3.1.1. Prueba con Malla de 6 Mesh (3,36 mm)

El diámetro promedio del producto con esta malla resultó de 2,53 mm, de acuerdo con la Figura 2.

granos gruesos retenidos por la primera malla fue bajo, lo que permitió que no disminuyera la eficiencia del molino y trabajara dejando partículas de aproximadamente 1 mm.

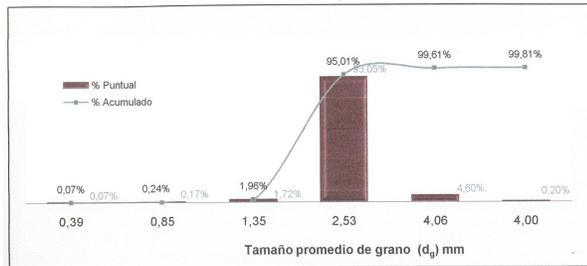


Figura 2: Distribución de tamaño del producto terminado obtenido durante el periodo de operación con la malla 6

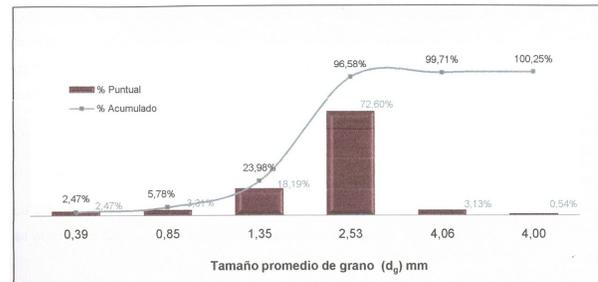


Figura 3: Distribución de tamaño en la cinta de reciclo obtenido durante el periodo de operación con la malla 6

Al ser esta la malla con orificios de mayor diámetro, la cantidad de producto retenido en la misma fue menor, es decir, que la cantidad que pasó a reciclo fue alta y suficiente para cumplir con la relación, por lo que no hubo necesidad de introducir parte del flujo de producto bueno.

Al ser la malla con orificios de mayor diámetro, la cantidad de producto retenido en la misma fue menor, es decir, que la cantidad que pasó a reciclo fue alta y suficiente para cumplir con la relación, por lo que no hubo necesidad de introducir parte del flujo de producto terminado. Prescindir de este trajo como consecuencia un desplazamiento de la distribución de tamaño a un menor nivel tanto en la cinta a reciclo como en el lecho de producto en el granulador (Figura 3 y 4), debido a esto, el tamaño promedio del granulado obtenido por acreción no aumentó significativamente y el flujo másico de

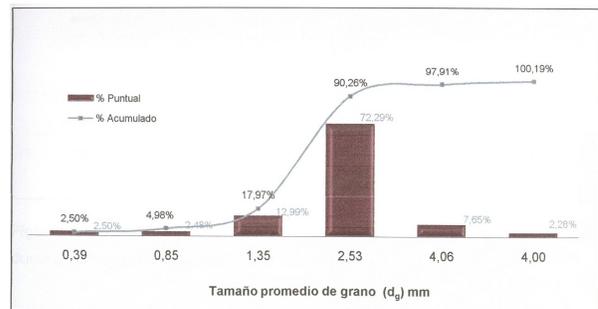


Figura 4: Distribución de tamaño a la salida del granulador obtenido durante el periodo de operación con la malla 6

Finalmente, el tamaño obtenido al trabajar con esta malla se debió a que la corriente de reciclo fue de granos pequeños cumpliendo con la relación de reciclo como se evidencia en la Figura 3,

lo que generó mucha semilla de carácter fino que no permitió un crecimiento descontrolado del producto.

3.1.2. Prueba con Malla de 7 Mesh (mm)

Durante el periodo de operaciones con esta malla, se obtuvo un producto de 2.27 mm de diámetro promedio, como se observa en la Figura 5.

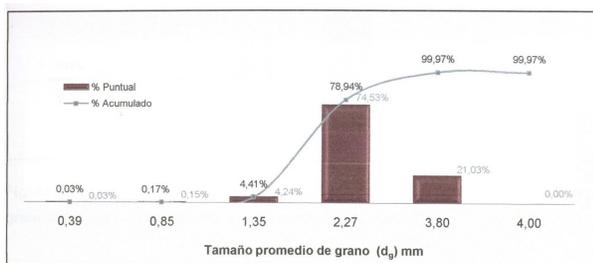


Figura 5: Distribución de tamaño del producto obtenido durante el periodo de operación con la malla 7

Para esta malla la proporción de granos mayores a 3 mm en el granulado, fue mayor que en la malla 6, lo que originó un incremento en la corriente de gruesos, mas no fue significativo en el cambio de tamaños de los granos molidos como se observa en la Figura 6.

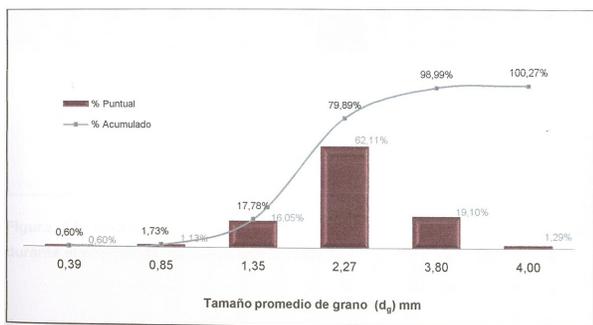


Figura 6: Distribución de tamaño obtenido a la salida del granulador durante el periodo de operación con la malla 7

Por otra parte, la corriente correspondiente a granos finos disminuyó un poco en comparación con lo observado con la malla 6, sin embargo, a pesar de dicha disminución, el cambio fue ligero ya que manejaba un flujo másico que requería poca cantidad de buen producto para alcanzar la relación de reciclo como se visualiza en la Figura 7.

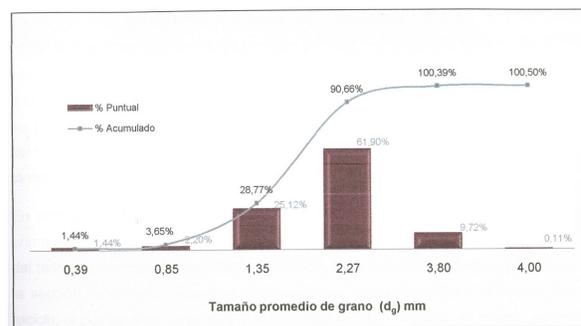


Figura 7: Distribución de tamaño en la cinta de reciclo obtenido durante el periodo de operación con la malla 7

3.1.3. Prueba con Malla de 8 Mesh (mm)

Durante el periodo de prueba con la malla 8, se obtuvo un producto con un tamaño de partícula promedio de 3.57 mm, como se evidencia en la Figura 8.

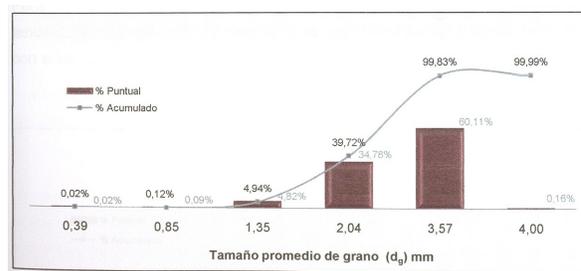


Figura 8: Distribución de tamaño del producto terminado obtenido durante el periodo de operación con la malla 8

Por ser la malla 8 la de menor diámetro de orificio, la cantidad de fertilizante retenido en la misma fue mayor, en consecuencia, el flujo másico en la corriente de reciclo disminuyó y fue necesario incorporar parte del producto terminado para cumplir con la relación de recirculación.

En este periodo el tamaño del fertilizante se vio directamente afectado por la abertura de la malla. Por ser la malla 8 la de menor diámetro de orificio, la cantidad de fertilizante retenido en la malla fue mayor, en consecuencia el flujo másico en la corriente de reciclo disminuyó y fue necesario incorporar parte del producto bueno para cumplir con la relación de reciclo. Cada vez que esta fracción desviada de producto terminado pasaba nuevamente por el granulador, se le agregaba una

capa más de yeso cementado con licor urea-fosfato, y en consecuencia fue incrementando su tamaño.

Mientras el proceso continuaba en marcha con un producto cada vez más grande, el flujo másico de la corriente de granos gruesos (descripción 1) también aumentaba, restándole eficiencia al molino y el producto molido ya no era de 1 mm sino de granos de mayor diámetro. Siendo esta otra razón por la que la semilla en el granulador también incrementaba su tamaño progresivamente.

Las tendencias de distribución de tamaño en la sesión de reciclaje y salida del granulador con la malla 8 se presentan en la Figura 9 y la Figura 10

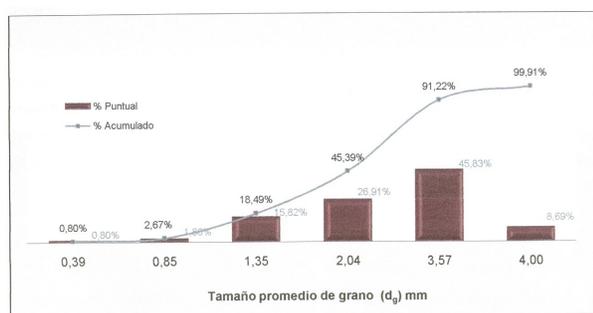


Figura 9: Distribución de tamaño a la salida del granulador obtenido durante el periodo de operación con la malla 8

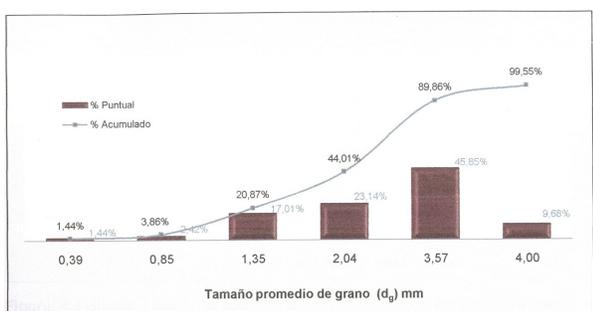


Figura 10: Distribución de tamaño en la cinta de reciclaje obtenido durante el periodo de operación con la malla 8

Durante todo el periodo de prueba de la malla 8, la alimentación se mantuvo dentro de un rango constante, el valor 3,57 mm de tamaño promedio del fertilizante fue consecuencia del incremento progresivo del grano que pasa a ser semilla en el granulador, es decir, del tamaño del grano que pasa

a reciclaje y que posteriormente pasa al equipo de granulación.

3.2. Propiedades Físicas

3.2.1. Resistencia a la abrasión

La resistencia a la abrasión es una medida de la tendencia a la formación de polvo y finos como consecuencia del contacto entre grano-grano o grano-equipo. La manera de expresar si el fertilizante es resistente es determinado un porcentaje de degradación del producto cuando este es sometido a esfuerzos mecánicos en el que mantiene un roce constante con otro material.

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para cada una de las pruebas realizadas a las muestras de yeso agrícola, se aprecia que, el producto con mayor porcentaje de degradación fue el obtenido durante el periodo de prueba de la malla 7 con 3,28 %, en forma decreciente le sigue el producto obtenido con la malla 6 con 1,47 %, y el de menos degradado fue el de la malla 8 con 0,65 %.

Tabla 3: Resultados de las pruebas de resistencia a la abrasión

Prueba	% Degradación (Deg ± 0,2) %		
	Malla 6	Malla 7	Malla 8
1	1,45	3,28	0,69
2	1,39	3,24	0,64
3	1,57	3,32	0,62
Prom.	1,47	3,28	0,65

Atendiendo a los resultados obtenidos en la prueba de distribución de tamaños en donde se obtuvo el grano de menor diámetro con la malla 7, el de mayor con la malla 8 y asumiendo una morfología de producto regular, se puede explicar que el comportamiento ante la prueba de abrasión tomando como base el hecho de que a medida que los granos de fertilizante son de menor tamaño, el área de contacto entre la partícula y el entorno aumenta, es decir, que el área de contacto establecida tanto con el tamiz como con las esferas de acero se hace mayor con la maya 7 con respecto a al maya 8.

En tal sentido, el tener mayor área de contacto generó un aumento en la rapidez con la que se

puede degradar el producto, por lo que para un mismo periodo de tiempo, el producto de la malla 8 resistió más ante el esfuerzo sometido ya que tuvo menos posibilidad de roce con el equipo (tamiz y esferas) y los propios granos de la muestra.

3.2.2. Resistencia a la compresión

Esta prueba determina la resistencia que poseen los granos a la deformación o fractura cuando sobre uno de ellos se aplica una presión. Esta magnitud es de gran importancia ya que puede determinar el límite de presión a la que el producto puede estar sometido durante el empaquetado o almacenamiento.

En la Tabla 4 se reportan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a los 25 gránulos de cada muestra obtenida con cada malla. Los valores tabulados corresponden a la fuerza ejercida (presión) necesaria para romper cada grano.

Tabla 4: Resultados de las pruebas de resistencia a la compresión

Malla	Rango de presión (kg/cm ²)
6	32,90–41,05
7	31,90–40,60
8	33,50–43,60

Como se puede observar en la Tabla 4, el producto capaz de resistir mayor presión fue el correspondiente a la malla 8, siendo este el de mayor diámetro promedio. Esta misma tendencia en la relación tamaño-dureza sucedió para las muestras obtenidas con la malla 7, donde siendo el producto de menor tamaño promedio, su capacidad para resistir el esfuerzo aplicado fue menor.

En tal sentido se ha corroborado el hecho de que a medida que la partícula aumenta su tamaño, este tendrá mejores propiedades para resistir fuerzas ejercidas a ellas.

3.2.3. Tendencia al apelmazamiento

El apelmazamiento es la tendencia que posee un material a aglomerarse en condiciones de almacenamiento. Es importante la evaluación de esta conducta ya que puede afectar características en el fertilizante tales como tamaño, composición, contenido en la mezcla, y otros.

Con respecto al fertilizante estudiado, la tendencia al apelmazamiento es mínima y resulta

principalmente de las interacciones tipo puente de hidrógeno que pueden formar el ácido fosfórico y la úrea fosfato. Así mismo otros factores como temperatura, humedad y tamaño de grano entre otros, pueden empeorar la posibilidad de que el material se compacte.

La evaluación se realizó de forma cualitativa donde se consideran para cada condición de apelmazamiento como “No apelmazado (NA)” y “Poco apelmazado (PA)”.

3.2.4. Propiedades químicas

Las propiedades químicas que caracterizan al fertilizante, vienen dadas por la cantidad y composición de las materias primas que lo originan.

En la Tabla 5 se muestran los valores correspondientes a las especificaciones establecidas por el mercado, que debe tener el producto para poder ser despachado, referente a cada elemento que le agrega o le resta valor.

Tabla 5: Especificaciones del yeso agrícola

Ensayo	Especificaciones	
	Mín.	Max.
Azufre, %S	15	–
pH al 1 %	2,5	–
%P ₂ O ₅ soluble en agua	8,5	–
%P ₂ O ₅ Total	10	–
Calcio, %Ca	19	–
Nitrógeno, % N	2	–
Humedad a 60 °C, %H ₂ O	–	2

En la Tabla 6 se muestran los resultados en forma de rangos de los valores reportados en cada uno de los ensayos para cada una de las mallas implementadas. Estos valores no varían significativamente entre una malla y otra. Por tanto, la distribución de tamaño no es un factor que afecte la composición química del fertilizante. Sea cual sea el tamaño promedio del producto, sus propiedades químicas dependerán única y exclusivamente de las composiciones del material que lo integran y de los procesos al que puedan estar sometidos.

4. Conclusiones

Partiendo del hecho de que las variables de alimentación de materia prima se mantuvieron

Tabla 6: Rango de valores obtenidos en los ensayos realizados a las muestras durante los periodos de operación con cada malla

Ensayo	Malla 6	Malla 7	Malla 8
Azufre, %S	15,19–15,60	15,16–15,25	15,17–15,33
pH al 1 %	2,55–2,72	2,58–2,63	2,55–2,67
%P ₂ O ₅ soluble en agua	9,34–10,75	9,92–10,51	9,66–10,22
%P ₂ O ₅ Total	10,66–11,85	11,10–11,73	10,80–11,43
Calcio, %Ca	19,20–19,71	19,20–19,31	19,19–19,40
Nitrógeno, % N	2,01–2,11	2,03–2,10	2,17–2,29
Humedad a 60 °C, %H ₂ O	1,01–1,35	0,96–1,61	0,66–1,35

constantes para cada malla en cuestión, las diferentes tendencias del tamaño promedio del fertilizante fueron el resultado de colocar diferentes aberturas en la sección de cribado, causando un impacto en las características de la corriente de reciclado, y por ser este el material que conforma el lecho o semilla en el granulador, los nuevos granos formados en el mismo obedecieron al comportamiento que trae el producto reciclado.

El producto con mayor porcentaje de gradación fue el obtenido durante el periodo de prueba de la malla 7 con 3,28 %, en forma decreciente le sigue el producto obtenido con la malla 6 con 1,47 %, y el de menos degradado fue el de la malla 8 con 0,65 %. A medida que los granos de fertilizantes son de menor tamaño, el área de contacto entre la partícula y el entorno aumenta, esto genera un aumento en la rapidez con la que se puede degradar el producto. En cuanto a la capacidad de resistir mayor presión, se tiene que el de mayor diámetro promedio (malla 8) resiste entre 33,50 y 43,60 kgf/cm², esta misma tendencia en la relación tamaño-dureza sucedió para las muestras obtenidas con la malla 7, donde siendo el producto de menor tamaño promedio, su capacidad para resistir el esfuerzo aplicado fue la menor.

La tendencia al apelmazamiento es mínima y resulta principalmente de las interacciones tipo puentes de hidrógeno que pueden formar el ácido fosfórico y la urea fosfato. Las muestras correspondientes a la malla 6 y 7 resultaron poco apelmazadas en condiciones ambientales, al igual que para el producto correspondiente a la malla 8.

Se debe tomar en consideración que la implementación de la malla 8, requerirá una estrategia de inspección y mantenimiento de los equipos con la intención de minimizar la propensión a exceso

de carga y posibilidad de obstrucción.

5. Referencias

- [1] J. Pérez, “Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola,” Magister en Ciencias – Geomorfología y Suelos, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2014.
- [2] J. Cuervo-Alzate y N. Osorio, “Pruebas de incubación con yeso para evaluar sus potenciales efectos en suelos ácidos de Colombia,” *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 73, no. 3, pp. 9349–9359, 2020.
- [3] A. Chinduamba, “Dimensionamiento de una criba vibratoria para la planta metalúrgica ueb producciones mineras de placetas,” Titulación en Ingeniería en Metalurgia y Materiales, Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”. Moa, Moa, Cuba, 2019.
- [4] V. C. Díaz-Poveda y S. Sadeghian, “Eficiencia de enmiendas utilizadas como correctivos de la acidez del suelo en el cultivo del café en Colombia,” *Revista Cenicafé*, vol. 73, no. 1, p. e73103, 2022. <https://doi.org/10.38141/10778/73103>
- [5] J. Cuervo, “Efecto del yeso agrícola en suelos ácidos de Colombia: control de aluminio tóxico, profundidad y residualidad. universidad nacional de Colombia,” Magister en Ciencias- Geomorfología y Suelos, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2019.