

# Evaluación de la forma, redondez, esfericidad y ecuanticidad en granos comerciales de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) y arveja (*Pisum sativum*)

“Evaluation of Shape, Roundness, Sphericity and Equality in commercial yellow hard corn (*Zea mays* L.) and pea (*Pisum sativum*) grains”

---

<sup>1</sup>Damián Manayay Sánchez <sup>a</sup>, <sup>1</sup>Luis Taramona Ruiz <sup>b</sup>,  
<sup>1</sup>Oscar Jordán Suárez <sup>c</sup>

---

Recibido, junio 2016  
Aceptado, agosto 2016

## RESUMEN

Evalúa la forma, redondez, esfericidad y ecuanticidad de granos comerciales de maíz amarillo duro y arveja seca, realizando mediciones micrométricas en 140 y 100 granos al azar en cada cuarta parte, en muestras de un kilogramo dividido en cuatro partes iguales respectivamente.

Los resultados indican que el maíz amarillo duro tiene forma muy próxima al discoidal, se ubica entre sub redondeado y redondeado, es de esfericidad media y muestra una ecuanticidad no esférica, mientras que la arveja seca tiene forma muy próxima a la esférica o equidimensional, es muy redondeado, tiene esfericidad alta y muestra una ecuanticidad esférica.

**Palabras clave:** Forma de granos alimentarios; redondez y esfericidad en granos alimentarios; ecuanticidad de granos alimentarios.

<sup>1</sup>Universidad Le Cordon Bleu  
<sup>a</sup>Ingeniero en Industrias Alimentarias  
<sup>b</sup>Biólogo  
<sup>c</sup>Ingeniero de Alimentos

## ABSTRACT

It has been evaluated the shape, roundness, sphericity and equantivity of commercial yellow hard corn and dry pea grains, making micrometric measurements in 140 and 100 grains randomly in each quarter, in samples of one kilogram divided into four equal parts respectively.

The results indicate that the hard yellow corn is very close to the discoid, it is located between rounded and rounded sub, is of medium sphericity and shows a non spherical equantivity, whereas dry pea has a shape very close to the spherical or equidimensional, is very rounded, has high sphericity and shows a spherical equantivity.

**Keywords:** Shape of food grains; Roundness and sphericity in food grains; equantivity of food grains.

## INTRODUCCIÓN

A pesar de la gran importancia de las características de forma, redondez, esfericidad y ecuanticidad, de granos o semillas alimentarias en la ingeniería de los alimentos, son limitadas las investigaciones desarrolladas y publicadas hasta el momento, debido posiblemente a que los procedimientos de obtención de los datos son largos y tediosos o tal vez a que constituyen uno de los aspectos más difíciles de expresar numéricamente; a pesar de ello, se reportan investigaciones

relacionadas, que a pesar de no referirse a granos o semillas, han permitido tener una clara idea de la importancia del tema y de cómo ejecutar el trabajo experimentalmente.

La morfología de los granos se define por medio de una serie de razones entre el eje mayor  $a$ , el intermedio  $b$  y el menor  $c$  (perpendiculares entre sí) aunque no se cortan en un mismo punto (Krumbein, 1941), tal como puede verificarse en la figura 1.

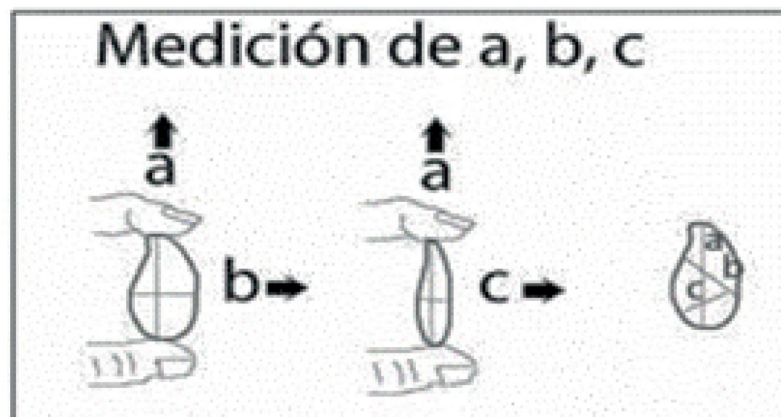


Figura 1. Medición de los parámetros "a", "b" y "c", (Krumbein, 1941).

La forma se define por la relación entre los ejes:  $c/b$  y  $a-b/a-c$ , como lo propusieron Sneed y Folk (1958) en su diagrama triangular; o por medio de cuatro clases, como las propuestas por Zingg (1935), basadas en los valores  $c/b$  y  $b/a$ , tal como puede observarse en la figura 2 y tabla 1

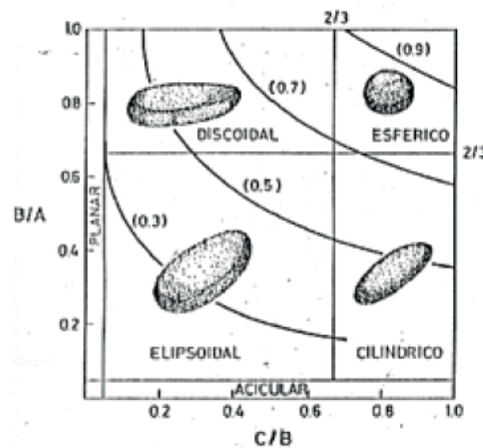


Figura 1. Clases de forma de granos según (Zingg, 1935) y su relación con la esfericidad de (Krumbein, 1941).

TABLA 1: Clases de formas según (Zingg, 1935).

Formas	Relación: $b/a$	Relación: $c/b$
Discoidales u oblados	$> 2/3$	$< 2/3$
Esféricos o equidimensionales	$> 2/3$	$> 2/3$
Elipsoidales o triaxiales	$< 2/3$	$< 2/3$
Cilíndricos o prolados	$< 2/3$	$> 2/3$
Planares	De 0.05 a 1	De 0 a 0.05
Aciculares	De 0 a 0.05	De 0.05 a 1

La esfericidad máxima de proyección  $\Phi_p$  (también denominada esfericidad efectiva de sedimentación), que es igual a la razón entre una sección principal de una esfera de igual volumen y el área máxima de proyección del rodado, se expresa cuantitativamente como:

$$\Phi_p = 3\sqrt{C/AB}$$

en términos de los cocientes  $B/A$  y  $C/B$ :

$$\Phi_p = 3\sqrt{B/A \cdot (C/B)^2}$$

según estos autores, la ecuación representa mejor el comportamiento de una partícula en un medio fluido, que las indicadas previamente (Sneed y Folk, 1958)

La medición de la redondez puede realizarse directamente sobre la partícula o por comparación con una carta con formas patrones

Cuantitativamente, la redondez verdadera expresada por la fórmula de Wadell (1933) es:  $d = \sum (r_i/R)/N$ ; donde:

$d$  es la redondez,  
 $r_i$  es el radio de curvatura de la esquina  $i$ ,  
 $R$  es el radio del círculo máximo inscripto y  
 $N$  es el número de esquinas consideradas, tal como puede observarse en la figura 3.

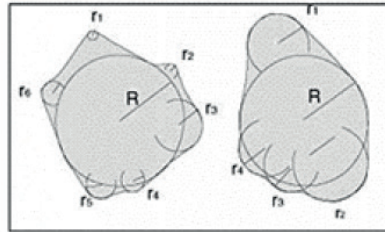


Figura 3. Naturaleza geométrica de la redondez (Krumbein, 1940).

La morfología de los granos, forma, redondez y la pivotabilidad o rotabilidad son propiedades de gran significación sedimentológica, en lo que respecta al efecto que tienen sobre el transporte.

Estas propiedades revelan además, las modificaciones que podrían sufrir los granos angulosos de distintas formas por efectos de la abrasión y selección por transporte, afirmación concordante con el presente estudio, por cuanto este fenómeno también puede ocurrir en los granos alimentarios que se transportan neumáticamente.

Existen dos aspectos fundamentales en la morfología de los granos: la forma y la esfericidad, aun cuando la redondez y la pivotabilidad son independientes de la morfología y expresan aspectos distintos, son características muy importantes en el dimensionamiento de la velocidad de rodamiento o pivotabilidad en los sistemas de transporte (Krumbein, 1941).

La forma de un grano puede definirse de acuerdo a las características geométricas o la relación entre los ejes de un grano, distinguiéndose entre un rodado prolado (un eje largo y dos cortos) de otro oblado (dos ejes largos y uno corto); numéricamente representan la relación entre los ejes:  $c/b$  y  $a-b/a-c$ , como lo propusieron (Sneed y Folk, 1958) en su diagrama triangular; o por medio de cuatro clases, como las propuestas por (Zingg, 1935), basados en los valores  $c/b$  y  $b/a$ ; en tanto que la ecuanticidad está definida como la aproximación a la geometricidad ecuate, conforme a la relación siguiente:

$$EC = \sqrt{\left(\frac{??}{??}\right)\left(\frac{??}{??}\right)} = \sqrt{\left(\frac{??}{??}\right)} = 1$$

La esfericidad y la redondez constituyen parámetros texturales de importancia relevante en los sedimentos de granos; la esfericidad refleja principalmente las condiciones en que se depositan en el momento de acumulación y depende muy poco de los procesos de abrasión; el efecto del transporte sobre la esfericidad y redondez de los granos parecería indicar la diferencia entre estas propiedades, la redondez aumenta rápidamente al principio del transporte (ajustándose a una curva exponencial) y luego su incremento es lento con la

distancia de transporte, mientras que el aumento de la esfericidad es más lento y muestra pocos cambios con la distancia de transporte (Corrales, Z. et al., 1977), la figura 4, reportado por (Griffiths, 1967) muestra tales comportamientos para sedimentología de materiales inertes.

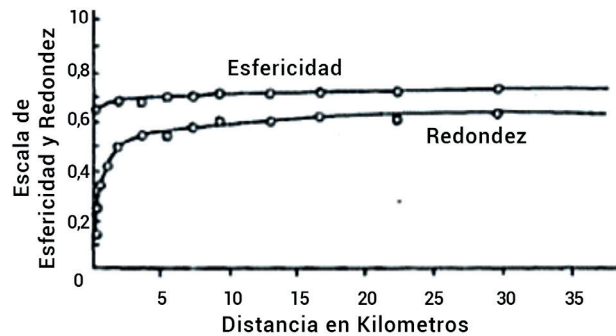


Figura 4. Relaciones entre esfericidad, redondez y la distancia de transporte (Griffiths, 1967) para sedimentología de materiales inertes

Para definir la forma y tamaño de un producto agrícola se han expuesto diversos criterios, dada la gran variedad de productos. Uno de los más simples es asemejándolo a una forma geométrica regular, sin embargo existen otros criterios de determinación como los que se indican a continuación:

En cuerpos grandes, corresponden las mediciones axiales, los ejes a y b se miden perpendicularmente entre sí en la sección transversal del área mayor, el eje a es más largo que el b, y el c se mide en forma perpendicular a las dos anteriores, tal como puede verse en la figura 5 (Villamizar y Ospina, 1995).

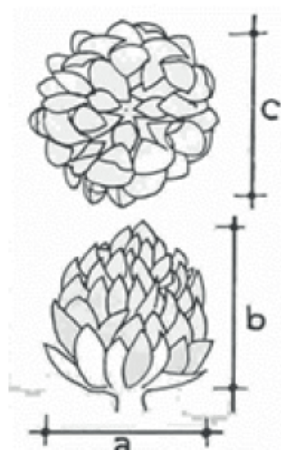


Figura 5. Medida de los parámetros a, b y c en una flor de alcachofa, tomado de Villamizar y Ospina, 1995.

La comparación es otro criterio, que consiste en comparar entre las secciones longitudinal y transversal del producto y con las formas pre establecido mostrado en cartas construidas para cada producto y sus diferentes variedades (Villamizar y Ospina, 1995).

La redondez se relaciona a la curvatura o angulosidad del perímetro de la partícula o a la aproximación al círculo, mientras que la esfericidad relaciona el volumen y la aproximación a la esfera (Miranda, A. R. et al., 2014).

La longitud, ancho y espesor, los diámetros medio aritmético y geométrico, el área superficial y la masa (g/1000 semillas), porosidad, el ángulo de reposo se

incrementan significativamente cuando el contenido de humedad aumenta de 10 al 22 %; en tanto que la esfericidad no varía significativamente con el contenido de humedad (Rojas, B., 2010).

La forma de los productos agrícolas es importante en muchas áreas de la industria de la alimentación, tales como la clasificación o inspección de calidad. Se han propuesto varios métodos para la representación de forma de partículas, incluidos los que utilizan ecuaciones súper-cuadráticas, formulaciones de polígono, o partículas de material compuesto.

El uso de armónicos esféricos ha recibido recientemente una atención creciente para este propósito, figura 6 (Radvilaitė, 2016).



Figura 6. Uso de armónicos esféricos para determinar la forma de granos de frijol, garbanzo y maíz, tomado de Computers and Electronics in Agriculture, Volume 128, October 2016.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En la presente investigación se trabajó con maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) y arveja seca (*Pisum sativum*) cuyas humedades fueron de 13.5 y 12.1% respectivamente, figura 7.



Figura 7. Granos de maíz amarillo duro y arveja seca.

Entre los materiales de laboratorio, se hicieron uso de Vernier Caliper, marca Kamasa de 15° mm de longitud y 0.05 mm de aproximación, campanas desecadoras, microcomputador con instalación del software Statgraphics Centurion 5.0.

Se tomaron muestras de un kilogramo de una población de 50 kg en cada caso, los que fueron partidos en cuatro partes iguales y en cada parte se realizaron 100 mediciones al azar con tres repeticiones.

El resumen del procedimiento es el que se muestra en la figura 8.

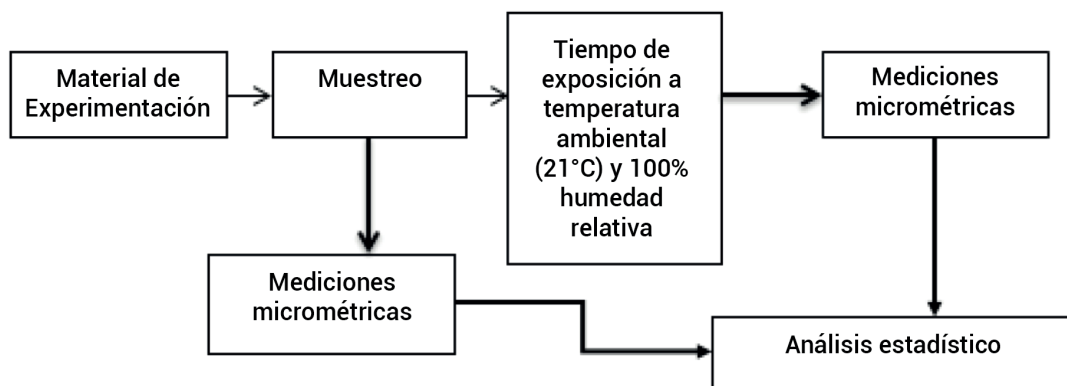
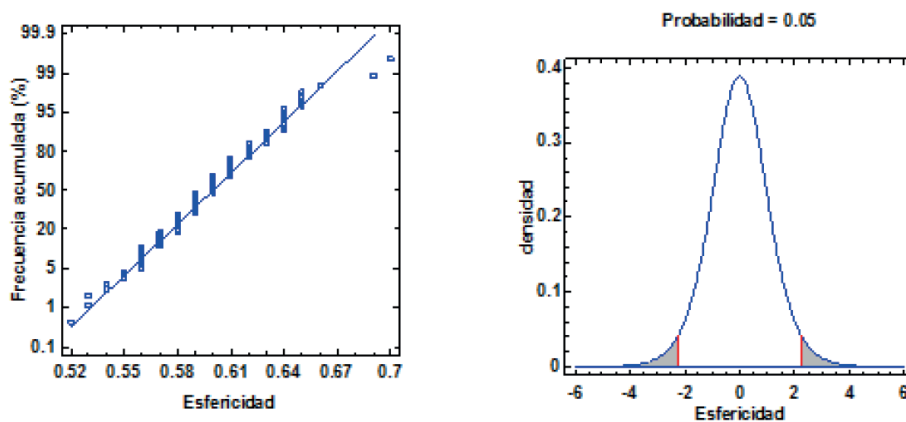


Figura 8. Secuencia de ejecución experimental.

La redondez del maíz amarillo duro fue determinado haciendo uso de la fórmula de Wadell, 1933 ( $d = \sum (r_i/R)/N$ ), descrita por Krumbein, 1940.

## RESULTADOS

Las tablas 2, 3 y 4 muestran los resultados del análisis estadístico de las mediciones micrométricas tanto para el maíz amarillo duro como para la arveja seca, mientras que las Figuras 9 y 10 permiten verificar la gráfica de probabilidad normal de la esfericidad y ecuanticidad de ambas muestras.



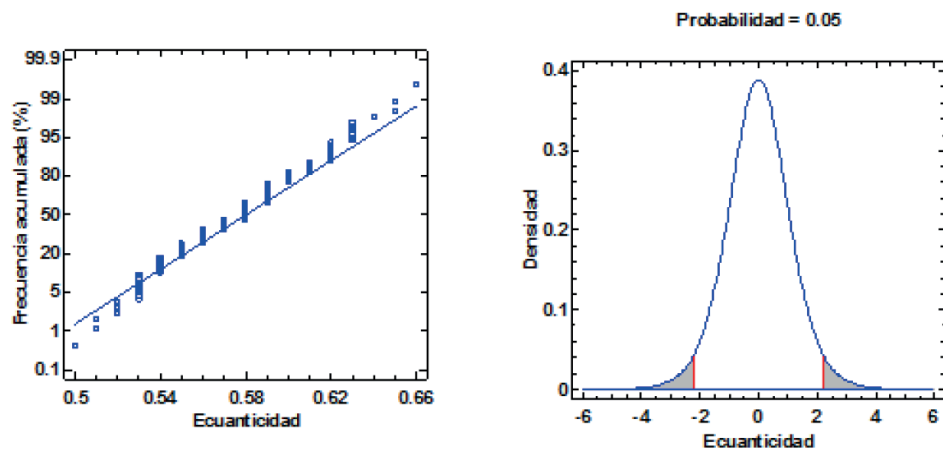


Figura 9. Probabilidad normal de esfericidad y ecuanticidad de maíz amarillo duro.

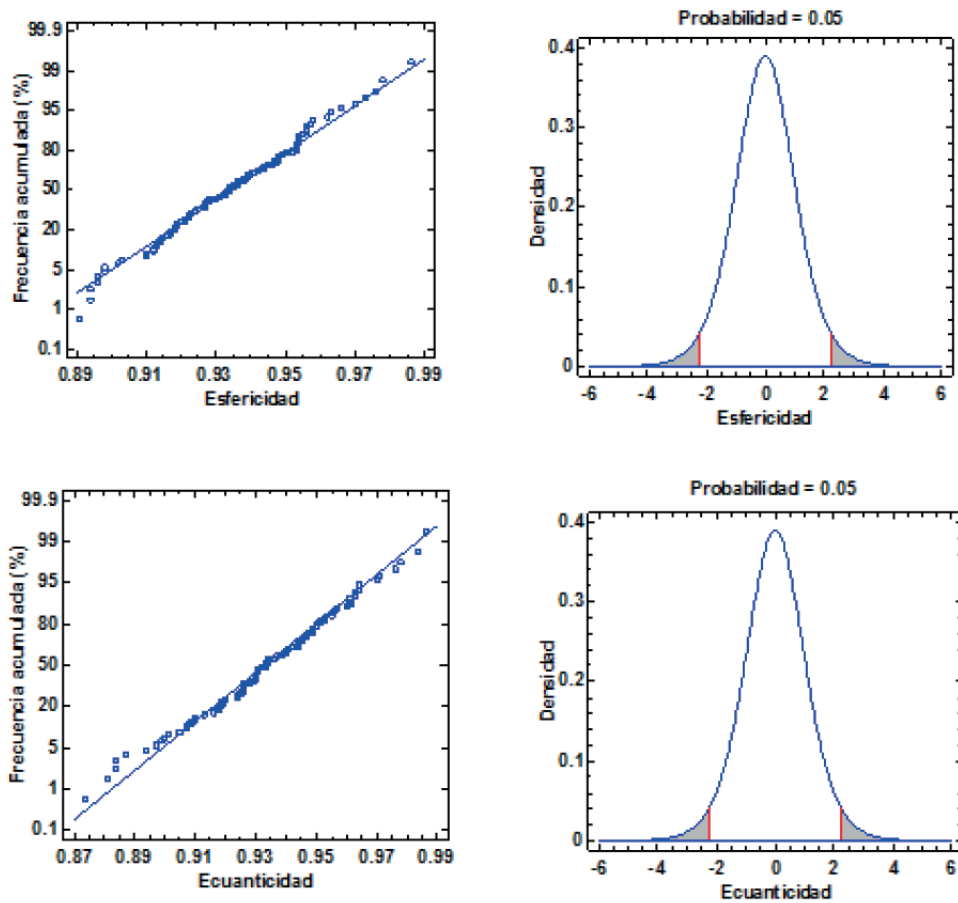


Figura 10. Probabilidad normal de esfericidad y ecuanticidad de arveja seca.



TABLA 3: Resumen estadístico de las mediciones micrométricas de a, b, c, para el maíz amarillo duro.

Parámetros	Recuento	Promedio	Sx	C.V.	Valor mínimo	Valor máximo	Rango	Sesgo estandarizado	Curtosis estandarizada
a	140	1.24	0.08	6.43%	1.0	1.50	0.50	0.19	1.07
b	140	0.81	0.07	8.51%	0.65	1.10	0.41	1.52	1.23
c	140	0.42	0.05	11.66%	0.31	0.54	0.23	1.49	-0.85
b/a	140	0.65	0.06	9.13%	0.52	0.84	0.32	1.65	1.29
c/b	140	0.51	0.07	13.45%	0.31	0.65	0.34	-0.06	-0.06
ESFERICIDAD	140	0.60	0.03	5.02%	0.52	0.70	0.18	1.40	1.80
ECUANTICIDAD	140	0.58	0.03	5.71%	0.50	0.66	0.16	0.52	-1.14

TABLA 3. Resumen estadístico de las mediciones micrométricas de a, b, c, para arveja seca

Parámetros	Recuento	Promedio	Sx	C.V.	Valor mínimo	Valor máximo	Rango	Sesgo estandarizado	Curtosis estandarizada
a	100	0.70	0.04	5.98%	0.60	0.80	0.20	-0.73	-0.43
b	100	0.66	0.04	6.44%	0.57	0.76	0.19	1.25	-0.95
c	100	0.61	0.04	6.74%	0.50	0.72	0.22	-1.49	1.30
b/a	100	0.94	0.03	2.73%	0.89	1.00	0.11	0.51	-1.45
c/b	100	0.94	0.04	4.08%	0.85	1.00	0.15	-1.51	-1.57
ESFERICIDAD	100	0.93	0.02	2.18%	0.89	0.99	0.10	0.26	-0.63
ECUANTICIDAD	100	0.93	0.02	2.46%	0.87	0.99	0.11	-0.94	0.13

TABLA 4. Resumen estadístico del valor de la redondez del maíz amarillo duro

Parámetros	Recuento	Promedio	Sx	C.V.	Valor mínimo	Valor máximo	Rango	Sesgo estandarizado	Curtosis estandarizada
Redondez	54	0.55	0.053	9.67%	0.456	0.683	0.23	1.143	-0.78

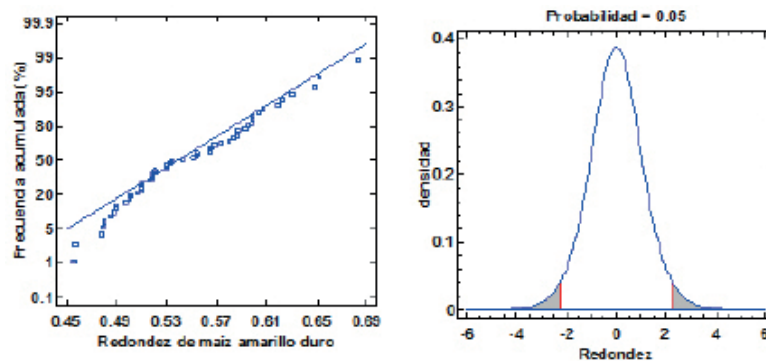


Figura 11. Muestra el gráfico de probabilidad normal de maíz amarillo duro.

Los resultados del análisis de los parámetros de forma, esfericidad y ecuanticidad de los granos de maíz amarillo duro y arveja seca, almacenados a temperatura ambiente (21°C) y 100% de humedad relativa, por tiempos de 24 y 48 horas se muestran en la Tabla 5

TABLA 5: Variación de los parámetros de forma, esfericidad y ecuanticidad de maíz amarillo duro y arveja seca a 100% de humedad relativa.

Muestra	Parámetros	Inicio	A 24 horas	A 48 horas
Maíz amarillo duro	Humedad (%)	13.5	13.62	13.68
	b/a	0.675	0.676	0.676
	c/b	0.526	0.526	0.526
	Esfericidad	0.619	0.620	0.620
	Ecuanticidad	0.593	0.594	0.594
Arveja seca o arvejón	Humedad (%)	12.1	12.16	12.23
	b/a	0.932	0.931	0.931
	c/b	0.935	0.935	0.935
	Esfericidad	0.933	0.932	0.932
	Ecuanticidad	0.933	0.933	0.933

## DISCUSIÓN

La forma refleja variaciones en las proporciones longitudinales de las partículas, por lo tanto, para estimar la mayoría de los parámetros de la forma de un grano alimentario se requiere conocer las longitudes relativas a los tres ejes principales (largo, intermedio, corto) de una partícula.

Los valores numéricos de los tres ejes principales, relacionados en las proporciones b/a y c/b permiten definir la forma, conforme lo estableció (Zingg, 1935), tabla 1 del presente estudio.

En concordancia con esta concepción, al realizar mediciones micrométricas a los ejes principales a, b y c, para el maíz amarillo duro, se ha determinado un intervalo de [0.52 a 0.84] con una media de 0.65 para b/a y de [0.31 a 0.65] con una media de 0.52 para b/c (tabla 2), resultado que permitieron afirmar que el maíz amarillo duro tiene forma muy próximo al discoidal, concordante con la figura 2 sugerido por Zingg, (1935).

Con respecto a la arveja seca, los intervalos que se observaron correspondieron a [0.89 a 1] con una media de 0.94 para b/a y de [0.85

a 1] con una media de 0.94 para c/b (tabla 3), valores que permiten concluir que la arveja seca tiene forma esférica o equidimensional, tal como puede observarse en la tabla 1 y figura 2 reportado por Zingg, (1935).

La esfericidad de un grano es una medida del grado de aproximación a la forma esférica. Wadell (1933) definió a la esfericidad operativa como la relación que surge entre el volumen de un grano y el de la esfera que lo circunscribe.

El resultado de intervalo de esfericidad del maíz amarillo duro, mostrado en la tabla 2, es de [0.52 a 0.70] con una media de 0.60, correspondiente a esfericidad media, según lo sostenido por Riley, (1941); en tanto que para el caso de la arveja seca el intervalo de esfericidad, mostrado en la Tabla 3, se ubicó en [0.89 a 0.99] con una media de 0.93, que corresponde a esfericidad alta, conforme lo sostiene Riley (1941).

La redondez es el grado de curvatura que presentan las aristas y los vértices de un grano.

Los granos con un alto grado de curvatura son redondeados y los que poseen aristas y vértices agudos son angulosos.

El método tradicional para la determinación de la redondez fue establecido por Wadell (1932). Se efectúa sobre la máxima proyección del grano (plano que contiene a los ejes A y B). Así mismo, a la redondez se la determina como:  $\rho = (\sum r_i/n_i) / R \leq 1$ , o sea el valor promedio de los radios menores con respecto al radio del máximo círculo inscripto.

El resultado obtenido en el análisis de redondez del maíz amarillo duro, mostrado

en la Tabla 4, muestra un intervalo de [0.46 a 0.68] con una media de 0.55, que en la escala de redondez de Powers (1982), se ubica entre sub redondeado y redondeado; en tanto que para el caso de la arveja seca, por la forma característica de este alimento se comparó directamente con la escala de formas de Powers (1982) concluyendo que corresponde al intervalo de redondez de [0.7 a 1] que equivale a muy redondeado.

La ecuanticidad está definida como la aproximación a la geomericidad ecuante o grado de semejanza a cuerpos geométricos patrones, relacionado en este caso particular a la esfera, conforme a la relación:

$$EC = \sqrt{\left(\frac{V}{V_s}\right) \left(\frac{A}{A_s}\right)} = \sqrt{\left(\frac{V}{V_s}\right)} = 1$$

Los resultados del análisis de ecuanticidad determinado tanto para el maíz amarillo duro como para la arveja, son de [0.50 a 0.66] con una media de 0.58, y de [0.87 a 0.99] con una media de 0.93 respectivamente. La coordenada de redondez y ecuanticidad en la gráfica de Spalletti (1985), indicaron que el maíz amarillo duro se ubica en la zona no esférica, mientras que la arveja seca se ubica en la zona esférica.

## CONCLUSIONES

1. El maíz amarillo duro, se asemeja a la forma muy próxima al discoidal, se ubica entre sub redondeado y redondeado, es de esfericidad media y muestra una ecuanticidad no esférica.

2. La arveja seca, se asemeja a la forma muy próxima a la esférica o equidimensional, es muy redondeado, tiene esfericidad alta y muestra una ecuanticidad esférica.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Corrales Z. I., Rosell, S.J., Sánchez, L.M., Vera, T. J.A. y Vilas, M. L. 1977. Estratigrafía. Editorial Rueda. 718 pp.
- Griffiths, J.C. 1967. Scientific Method in Análisis of Sediment. McGraw Hill. New York. 508 pp.
- Krumbein, W.C., 1940. Flood gravel of San Gabriel Canyon, Bulletin of Geological Society of America, 51: 636-676.
- Krumbein, W.C. 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles, Journal of Sedimentary Petrology 11 (1941), pp. 64–72.
- Miranda, A., Puy, A.M.J., Li, Y, 2014. Determinación de sedimentos con jales mineros por medio de la forma de granos de cuarzo. Nova Scientia. Universidad De La Salle Bajío, Mexico, 92 pp.
- Pettijohn, F. J. 1957. Sedimentary Rocks, 2nd edition. Harper and Row Publishers, New York. 628 pp.
- Pettijohn, F.J. 1970. Rocas Sedimentarias, EUDEBA. 731 pp.
- Radvilaitė, U., Ramirez, A., Kacianauskas, R., 2016. Determining the shape of agricultural materials using spherical harmonics. Computers and Electronics in Agriculture, Volume 128, October 2016, Pages 160-171.
- Riley, N. A., 1941, Projection sphericity: Jour. Sedimentary Petrology, v. 11, p. 94-97.
- Rojas, B.A., 2010. Caracterización físico-mecánica de la semilla de vitabosa (*mucuna deeringiana*). Tesis, Universidad Nacional de Colombia. 129 pp.
- Shepard y Young, F.P., 1961. Distinguishing between beach and dune sands, Journal of Sedimentary Petrology 31: 196–214.
- Sneed E.D. y Folk, R.L. 1958. Pebbles in the lower Colorado River, Texas, a study in particle morphogenesis, Journal of Geology 66(2): 114-150.
- Spalletti, L.A., 1985. Revisión sobre el significado sedimentológico de algunas propiedades morfométricas, con especial referencia a los conceptos de ecuanticidad y esfericidad verdadera de los clastos. Boletín sedimentológico. Año 2 y 3: 67-77. Facultad de Ciencias Naturales. Instituto de Geología. Cátedra de Sedimentología.
- Tickell, F.G. 1947. The examination of fragmental rocks, 3ª edición. Stanford University Press. 154 pp.
- Villamizar, F., Ospina, M.J., 1995. Frutas y Hortalizas. Manejo tecnológico postcosecha. Universidad Nacional de Colombia. 84 pp.
- Wadell, H. 1932. Volume, shape, and roundness of rock particles, Journal of Geology 40: 443–451.
- Wadell, H. 1933. Sphericity and roundness of rock particles, Journal of Geology 41 (1933), pp. 310–331.
- Wadell, H. 1935. Volume, shape and roundness of quartz particles, Journal of Geology 43: 250–280.
- Winkelmoelan, M. 1969. Experimental rollability and natural shape sorting of sand. Thesis. University of Groningen. 141 pp.

20. Zingg, T. 1935. Beitrage zur Schotteranalyse. Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 15: 39- 140.

**CORRESPONDENCIA**

damian.manayay@ulcb.edu.pe