



**INFORME FINAL DE INVESTIGACION**

**Evaluación de la Forma, Redondez, Esfericidad y Ecuantidad en granos comerciales de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) y arveja (*Pisum sativum*).**

**RESPONSABLE**

Dr. Damián Manayay Sánchez

**CORRESPONSABLES**

Dr. Luis Taramona Ruiz

M.Sc. Oscar Jordan Suarez

**COLABORADORES**

Est. Alisson Noblega Lobon

Est. Lesly Carazas Beltrán

**2015**

**LIMA - PERÚ**

## I. 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 (Shape=forma), la 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 (Krumbein, 1941), afirmación con la que concordamos, por cuanto este fenómeno también suele ocurrir en los granos alimentarios; Resalta además que 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.

La forma de un grano puede definirse de acuerdo a las características geométricas o la relación entre los ejes de un grano; mediante la aplicación del concepto de forma se puede distinguir entre un rodado prolado (un eje largo y dos cortos) de otro oblado (dos ejes largos y uno corto).

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), basados en los valores  $c/b$  y  $b/a$ ; en tanto que la ecuanticidad está definida como la aproximación a la geometricidad ecuante, conforme a la relación:

$$EC = \sqrt{\left(\frac{b}{a}\right)\left(\frac{c}{b}\right)} = \sqrt{\left(\frac{c}{a}\right)} \leq 1$$

Para (Corrales, Z. *et al.*, 1977), 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, en tanto que el efecto del transporte sobre la esfericidad y redondez de los granos parecería indicar la diferencia entre estas propiedades, mientras que la redondez aumenta rápidamente al principio del transporte (ajustándose a una curva exponencial) y luego aumenta lentamente con la distancia de transporte, mientras que el aumento de la esfericidad es más lento y muestra pocos

cambios con la distancia de transporte, tal como puede observarse en la Figura 1, reportado por (Griffiths, 1967) para sedimentología de materiales inertes.

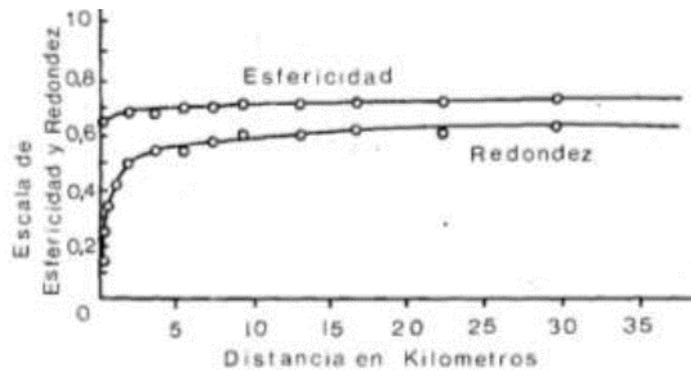


Figura 1: Relaciones entre esfericidad, redondez y la distancia de transporte

En su momento (Villamizar y Ospina, 1995), refieren que 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 2, reportado por el referido autor.

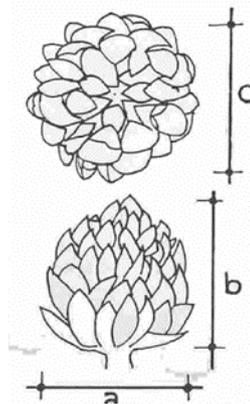


Figura 2: Medida de los parámetros **a**, **b** y **c** en una flor de alcachofa

Indica además, que 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.

Los parámetros de forma más conocidos son la redondez y la esfericidad. 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).

Así mismo (Rojas, B., 2010), refiere que 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.

De acuerdo a los antecedentes de investigaciones relacionadas, las características de redondez, esfericidad y la ecuanquididad de los granos alimentarios, permiten tener una visión más clara de los parámetros que condicionan la velocidad de rodamiento o pivotabilidad, en el diseño de sistemas de transporte de alimentos granulares, consecuentemente resultan importantes las determinaciones numéricas de estos parámetros en granos alimentarios.

## II. MARCO TEORICO

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 3.

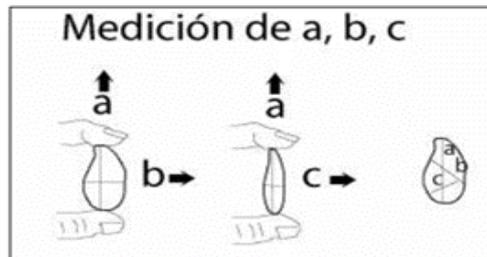


Figura 3: Medición de los parámetros “a”, “b” y “c”.

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 4 y tabla 1.

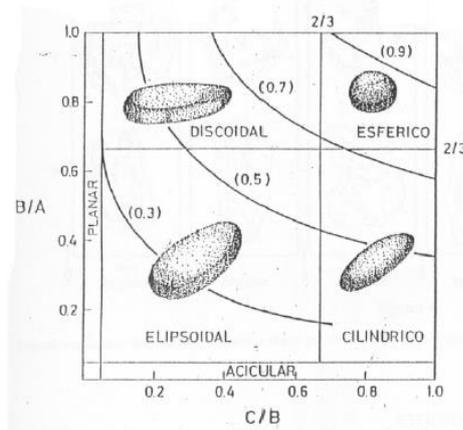


Figura 4: Clases de forma de granos según (Zingg, 1935) y su relación con la esfericidad de (Krumbein, 1941).

Tabla 1: Clases de formas según (Zingg, 1935)

Formas	Relación: b/a	Relación: c/b
Discoidales u oblatos	$> 2/3$	$< 2/3$
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

Sneed y Folk, 1958, revisaron las distintas mediciones de esfericidad y propusieron: 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:

$$\Phi_p = \sqrt[3]{(C^2/AB)} \text{ en términos de los cocientes } B/A \text{ y } C/B:$$

$\Phi_p = \sqrt[3]{B/A \cdot (C/B)^2}$  según estos autores, la ecuación representa mejor el comportamiento de una partícula en un medio fluido, que las indicadas previamente.

La medición de la redondez puede realizarse directamente sobre la partícula o por comparación con una carta con formas patrones (Rittenhouse, 1943).

Cuantitativamente, la redondez verdadera expresada por la fórmula de Wadell (1933) es:  $d = \Sigma (r_i/R)/N$ ; 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 5.

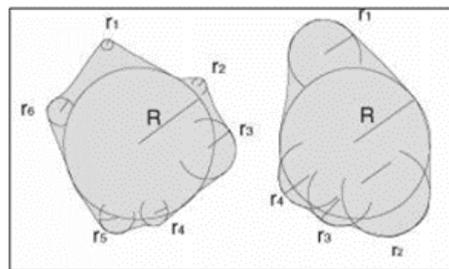


Figura 5. Naturaleza geométrica de la redondez, (Krumbein, 1940).

### III. MATERIALES Y MÉTODO

#### 3.1.MATERIALES

##### 3.1.1. Materiales de experimental

- a. Maíz amarillo duro (*Zea mays* L.)
  - b. Arveja seca (*Pisum sativum*)
- 3.1.2. Materiales de Laboratorio
- a. Vernier Caliper, marca KAMASA, de 150 mm de longitud y 0.05 mm de aproximación.
  - b. Campanas desecadoras
  - c. Microcomputador
  - d. Software Statgraphics Centurión 5.0

### 3.2. METODO

Se ha tomado muestras de una población conocida (50 kg en cada caso), acopio de mediciones micrométricas por triplicado, sistematización de datos, análisis estadístico y discusión, en el marco de una investigación cuantitativa experimental.

#### 3.2.1. PRODEDIMIENTO

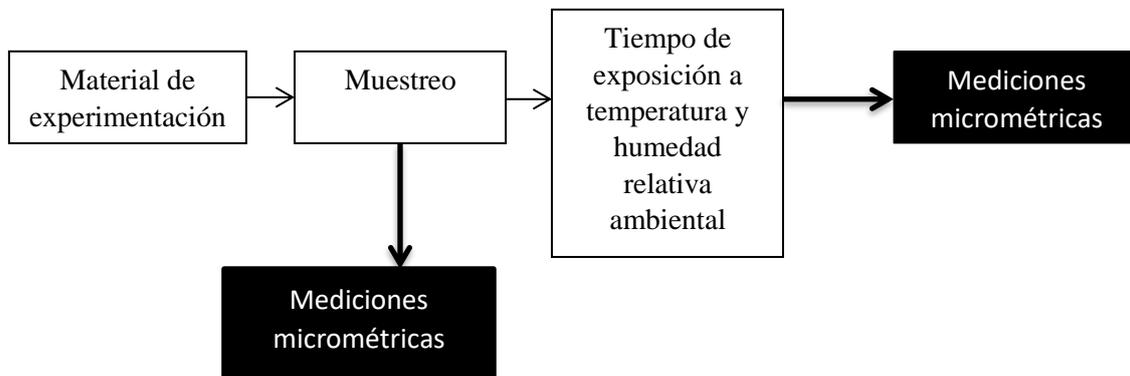


Figura 6: Secuencia de ejecución experimental

## IV. 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 la Figura 7 permite verificar la gráfica de probabilidad normal de la ecuanticidad de ambas muestras.

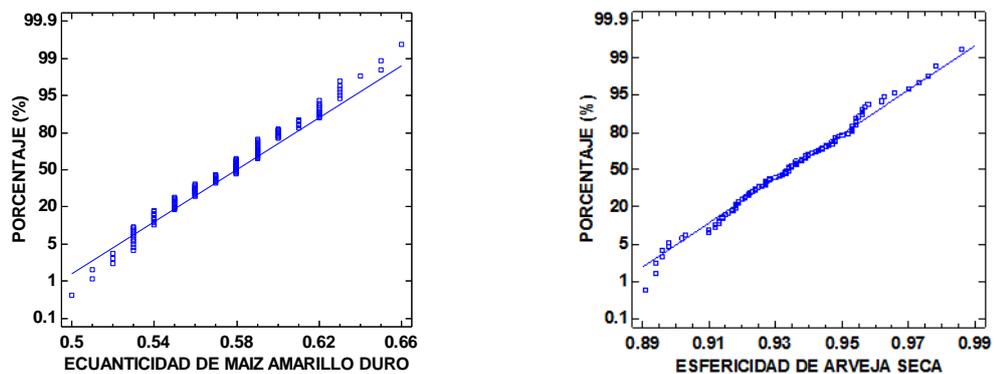


Figura 7: Gráfica de Probabilidad normal de ecuanficidad para maíz amarillo duro y arveja seca

TABLA 2: Resumen estadístico de las mediciones micrométricas de a, b, c, esfericidad y ecuanticidad, 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	<b>0.65</b>	0.06	9.13%	<b>0.52</b>	<b>0.84</b>	0.32	1.65	1.29
c/b	140	<b>0.51</b>	0.07	13.45%	<b>0.31</b>	<b>0.65</b>	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, esfericidad y ecuanticidad, 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	<b>0.94</b>	0.03	2.73%	<b>0.89</b>	<b>1.00</b>	0.11	0.51	-1.45
c/b	100	<b>0.94</b>	0.04	4.08%	<b>0.85</b>	<b>1.00</b>	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	10	<b>0.70</b>	0.11	16.20%	0.58	0.95	0.36	1.59	1.21

La Figura 8 muestra el gráfico de probabilidad normal de la redondez para maíz amarillo duro

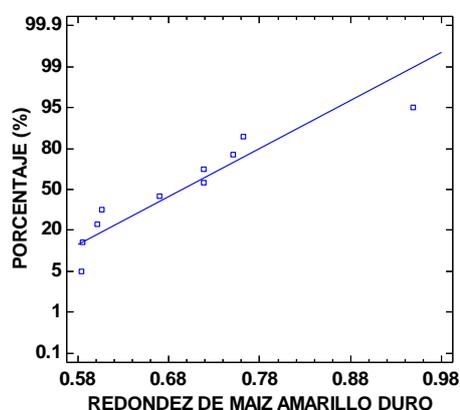


Figura 8: Gráfica de probabilidad normal para redondez de maíz amarillo duro

Los resultados del análisis de la forma y ecuanticidad de granos almacenados a temperatura ambiente, 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 o arvejón 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

## V. DISCUSIÓN

La forma refleja variaciones en las proporciones de partículas. Por lo tanto, para estimar la mayoría de los parámetros de la forma 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  $b/a > 2/3$  y  $c/b < 2/3$  permiten definir la forma, conforme lo estableció (Zingg, 1935) que puede observarse en la Tabla del presente informe.

En concordancia con esta concepción, al realizar mediciones micrométricas a los ejes principales a, b y c, para el maíz amarillo duro, en la forma que se

muestra en la Figura 3, 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, resultado que permitieron concluir que el maíz amarillo duro tiene forma muy próximo al discoidal, concordante con la Figura 4 sugerido por Zingg, (1935). Con respecto a la arveja seca o arvejón, 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, valores que permiten concluir que la arveja seca o arvejón tiene forma esférica o equidimensional, tal como se observarse en la Tabla 1, reportado por Zingg, (1935).

La esfericidad de un grano es una medida del grado de aproximación a la forma esférica.

Waddell (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.

Los resultados de intervalo de esfericidad del maíz amarillo duro 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 o arvejón el intervalo de esfericidad se ubicó en [0.89 a 0.99] con una media de 0.93, que corresponde a esfericidad alta, conforme lo sostiene Riley (1941).

A la redondez se la define como 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 Waddell (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.

Los resultados obtenidos en el análisis de redondez del maíz amarillo, se ha determinado un intervalo de redondez de [0.58 a 0.95] con una media de 0.70, que en la escala de redondez de Powers, (1982), corresponde a muy redondeado.

En tanto que para el caso de la arveja seca o arvejón, 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 geometricidad ecuante o grado de semejanza a cuerpos geométricos patrones, relacionado en este caso particular a la esfera, conforme a la relación:

$$EC = \sqrt{\left(\frac{b}{a}\right)\left(\frac{c}{b}\right)} = \sqrt{\left(\frac{c}{a}\right)} \leq 1$$

Los resultados del análisis de ecuanticidad determinado tanto para el maíz amarillo duro como para la arveja, respectivamente 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. 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 o arvejón se ubicó en la zona esférica.

## **VI. CONCLUSIONES**

1. El maíz amarillo duro, tiene forma muy próxima al discoidal, esfericidad media, es un grano muy redondeado y para la gráfica ecuanticidad frente a redondez, se ubica en la zona no esférica.
2. La arveja seca o arvejón, tiene forma muy próxima a la esférica, esfericidad alta, es un grano muy redondeado y para la gráfica ecuanticidad frente a redondez se ubica en la zona esférica.

## **VII. BIBLIOGRAFÍA.**

1. Corrales Z. I., Rosell, S.J., Sánchez, L.M., Vera, T. J.A. y Vilas, M. L. 1977. Estratigrafía. Editorial Rueda. 718 pp.
2. Krumbein, W.C., 1940. Flood gravel of San Gabriel Canyon, Bulletin of Geological Society of America, 51: 636-676.
3. Krumbein, W.C. 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles, Journal of Sedimentary Petrology 11 (1941), pp. 64–72.
4. 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
5. Pettijohn, F. J. 1957. Sedimentary Rocks, 2nd edition. Harper and Row Publishers, New York. 628 pp.
6. Pettijohn, F.J. 1970. Rocas Sedimentarias, EUDEBA. 731 pp.
7. Riley, N. A., 1941, Projection sphericity: Jour. Sedimentary Petrology, v. 11, p. 94-97.
8. Rojas, B.A., 2010. Caracterización físico-mecánica de la semilla de vitabosa (*mucuna deeringiana*). Tesis, Universidad Nacional de Colombia. 129 pp.
9. Shepard y Young, F.P., 1961. Distinguishing between beach and dune sands, Journal of Sedimentary Petrology 31: 196–214.
10. 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.
11. 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.
12. Tickell, F.G. 1947. The examination of fragmental rocks, 3ª edición. Stanford University Press. 154 pp.
13. Villamizar, F., Ospina, M.J., 1995. Frutas y Hortalizas. Manejo tecnológico postcosecha. Universidad Nacional de Colombia. 84 pp.
14. Wadell, H. 1932. Volume, shape, and roundness of rock particles, Journal of Geology 40: 443–451.
15. Wadell, H. 1933. Sphericity and roundness of rock particles, Journal of Geology 41 (1933), pp. 310–331.

16. Wadell, H. 1935. Volume, shape and roundness of quartz particles, *Journal of Geology* 43: 250–280.
17. Winkelmolean, M. 1969. Experimental rollability and natural shape sorting of sand. Thesis. University of Groningen. 141 pp
18. 20. Zingg, T. 1935. Beitrage zur Schotteranalyse. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 15: 39-140.