

**EFFECTO DE LA REHIDRATACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE
DOS VARIEDADES Y CINCO LÍNEAS DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) EN EL
MUNICIPIO DE PASTO**

NILVIO HERNAN ESTRADA ESTRADA

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO
2014**

**EFFECTO DE LA REHIDRATACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE
DOS VARIEDADES Y CINCO LÍNEAS DE ARVEJA (*Pisum sativum* L.) EN EL
MUNICIPIO DE PASTO**

NILVIO HERNAN ESTRADA ESTRADA

**Tesis de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Agroindustrial**

**Director:
WILIAM ALEXANDER DIAZ
Ingeniero Agroindustrial**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO
2014**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo son responsabilidad exclusiva de su autor”.

Artículo 1º de acuerdo 324 de octubre 11 de 1966 emanado por el honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación

Firma del Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, 14 de Mayo de 2014

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y por hacer que se cristalice uno de los medios que me permitirá cumplir con mi proyecto de vida.

A mi familia por brindarme su apoyo, amor, comprensión y cariño que siempre necesite para realizar este gran anhelo.

Ing. Willian Diaz, por su asesoría y colaboración en todos los procesos desarrollados durante la investigación y sobre todo por su amistad, sabiduría y consejos que me han permitido crecer en mi vida personal.

PhD. Oswaldo Osorio Mora y MSc. Diego Mejía, por brindarme el apoyo y compartir sus conocimientos como jurados de esta investigación.

Ing. Renato Pantoja e Ing. Hugo Gomajoa, por facilitar las instalaciones de la planta piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial para el desarrollo de la investigación.

Ing. Laura Latorre y Andrés Cerón, por sus aportes y sugerencia en algunos de los ensayos realizados.

Ing. David Álvarez, Julián Acosta Martínez, Lucia Casanova, Karla Córdoba, Lucy Figueroa y Olmer Ruano por su amistad y apoyo.

Grupo de Investigación TEA, por la facilitación de equipos para el desarrollo del proyecto.

A los colegas Miguel Benavidez, Darío Quemà, Carlos Fuertes por su amistad y momentos de alegría con sus anécdotas e historias que fueron efímeras pero inolvidables.

A mi colega y amigo Helbert Efrén tucanes, por su gran amistad, por estar conmigo en situaciones difíciles en las que pensé que estaba solo y por sus palabras de aliento en momentos de tristeza.

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios, Por haberme dado la existencia y permitirme cristalizar esta meta de gran importancia en mi formación profesional.

A mi mamá por enseñarme desde pequeño que la educación es el regalo mas bonito que los padres pueden dejar a su hijos, por su valentía, constancia, perseverancia, sacrificio y por ser mi padre y madre que a pesar de de las adversidades hoy celebramos juntos esta gran meta, te amo mamá y gracias por todo tu amor.

A mis hermanas Leonor, Nanci, Liliana, Dine, Raquel, Carmen, Graciela, por darme su apoyo en momentos difíciles y por ser fuente de inspiración para mi sueños cumplido; también a mis hermanos Fidencio y Antidio por su motivación a lograr mis anhelos y expectativas con mi vida.

A una personita muy especial Carmen Alicia Martínez, quien me enseñó a perdonar, a luchar por lo que deseo, a superar mis miedos, a levantarme para sonreírle a la vida y sobre todo por su amor y felicidad.

A todos mis profesores y amigos que con su sabiduría, enseñanzas y trabajo en grupo le aportaron a mi formación como ser humano y como profesional.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la rehidratación sobre doce propiedades físicas en siete materiales de arveja (*Pisum sativum* L.). Entre las propiedades evaluadas están: índice de hidratación, tamaños medios, esfericidad, diámetros medios geométrico y aritmético, peso de mil granos, densidad aparente y verdadera, porosidad, coeficiente de rozamiento estático, ángulo de reposo y color. La evaluación se realizó después de 14 horas en que se sumergen los granos de arveja con una cantidad de agua correspondiente a cuatro veces su peso.

El análisis de varianza, mostro que el incremento en el contenido de humedad tiene efecto significativo en las propiedades físicas de los siete materiales de arveja.

Los mayores porcentajes de incremento se presentaron en esfericidad; (línea 7324, 0,92-1,02; 10,87%), Diámetro medio aritmético y Diámetro medio geométrico, (línea 7336, 7,64-9,84; 28,8% y 7,62-9,84; 29,13%) respectivamente, peso de mil granos (variedad Alcalá, 324,63-674,13; 107,66%), porosidad (variedad Alcalá, 21,4-28,99; 35,47%), coeficiente de fricción en acero y en aluminio (línea 7143-2, 0,18-0,34; 88,89% y 0,25-0,42; 68,00%) respectivamente, ángulo de reposo (variedad sureña, 18,11-30,56; 68,75%); color (línea 7324, 10.582 ± 0.394), a excepción de densidad aparente y densidad verdadera que tuvieron una disminución, (densidad aparente, variedad Alcalá, 964,78-749,09; 22,36%), densidad verdadera (línea 7371-2, 1276,25-1079,9; 15,38%).

ABSTRACT

Rehydration effect on twelve physical properties in seven materials pea (*Pisum sativum* L.) was evaluated . Among the properties evaluated are : hydration rate , average sizes , sphericity , geometric and arithmetic mean diameter , thousand grain weight , apparent and true density , porosity, static coefficient of friction , angle of repose and color. The evaluation was performed after 14 hours when pea beans are soaked with an amount of water corresponding to four times its weight .

Variance analysis showed that increasing the moisture content has a significant effect on the physical properties of the seven pea material .

The largest percentage increases occurred in sphericity ; (Line 7324 , from 0.92 to 1.02 , 10.87%) , arithmetic mean diameter and geometric mean diameter (line 7336 , 7.64 to 9.84 ; 28.8% and from 7.62 to 9.84 , 29.13%) respectively, thousand kernel weight (range Alcalá, 324.63 to 674.13 , 107.66 %) , porosity (Alcalá range , 21.4 to 28.99 , 35.47 %) , coefficient friction in steel and aluminum (line 7143-2 , 0.18 to 0.34 , 88.89 % and 0.25 to 0.42 , 68.00%) respectively, angle of repose (southern variety , 18, 11 to 30.56 , 68.75%) ; Color (line 7324 , 10,582 \pm 0394) , except for bulk density and true density had a lower , (bulk density, variety Alcalá , 964.78 to 749.09 , 22.36%) True density (line 7371 - 2 1276.25 to 1079.9 , 15.38%) .

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
2. JUSTIFICACIÓN.....	21
3. OBJETIVOS.....	23
3.1 OBJETIVO GENERAL	23
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
4. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE.....	24
4.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	24
4.1.1 REHIDRATACIÓN Y HUMEDAD	24
4.1.2 CAPACIDAD DE HIDRATACIÓN E ÍNDICE DE HIDRATACIÓN	24
4.1.3 FORMA Y TAMAÑO	24
4.1.4 DENSIDAD VERDADERA Y DENSIDAD A GRANEL	25
4.1.5 POROSIDAD	25
4.1.6 COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO	25
4.1.7 ANGULO DE REPOSO.....	25
4.1.8 COLOR	26
4.2 ESTADO DEL ARTE.....	26
4.2 INFORMACIÓN DE LAS DOS VARIEDADES SUREÑA, ALCALÁ Y LAS CINCO LÍNEAS DE ARVEJA.....	30
5. METODOLOGIA	31
5.1 LOCALIZACIÓN.....	31
5.2 OBTENCIÓN DE LAS SIETE LÍNEAS DE ARVEJA	31
5.3 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS	31
5.3.1 HUMEDAD.....	31
5.3.2 CAPACIDAD DE HIDRATACIÓN (CH) E ÍNDICE DE HIDRATACIÓN (IH) ..	32

5.3.3 TAMAÑOS MEDIOS, DIÁMETRO MEDIO GEOMÉTRICO Y DIÁMETRO MEDIO ARITMÉTICO	33
5.3.4 ESFERICIDAD (ϕ). LA ESFERICIDAD DE SEMILLAS ϕ SE CALCULÓ MEDIANTE LA RELACIÓN (MOHSENIN, 1970)	34
5.3.5 PESO DE MIL SEMILLAS.....	34
5.3.6 DENSIDAD APARENTE (ρ^b)	34
5.3.7 DENSIDAD VERDADERA (ρ^s).	35
5.3.8 POROSIDAD (ε).....	36
5.3.9 COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ESTÁTICO (μ).....	36
5.3.10 ÁNGULO DE REPOSO.....	36
5.3.11 COLOR	37
5.4 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	37
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
6.1 PROPIEDADES FÍSICAS	39
6.1.1 ÍNDICE DE HIDRATACIÓN	39
6.1.2 DIÁMETRO MEDIO ARITMÉTICO Y DIÁMETRO MEDIO GEOMÉTRICO..	43
6.1.2.1 DIÁMETRO MEDIO ARITMÉTICO	43
6.1.2.1 DIÁMETRO MEDIO GEOMÉTRICO.....	45
6.1.4 ESFERICIDAD EN MATERIAL SECO Y REHIDRATADO.....	47
6.1.5 PESO DE MIL GRANOS EN ESTADO SECO Y REHIDRATADO	49
6.1.6 DENSIDAD BULK (A GRANEL), DENSIDAD VERDADERA Y POROSIDAD EN ESTADO SECO Y REHIDRATADO.....	51
6.1.6.1 DENSIDAD BULK.....	51
6.1.6.2 DENSIDAD VERDADERA	52
6.1.6.3 POROSIDAD	53
6.1.7 COEFICIENTE DE FRICCIÓN: DETERMINADO EN ACERO Y ALUMINIO EN ESTADO SECO Y REHIDRATADO.....	56
6.1.7.1 COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN ACERO	56
6.1.7.1 COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN ALUMINIO	58

6.1.8	ÁNGULO DE REPOSO EN MATERIAL SECO Y REHIDRATADO	60
6.1.9	COLOR	62
	CONCLUSIONES	64
	RECOMENDACIONES	65
	BIBLIOGRAFÍA	66

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de las siete líneas de arveja.....	30
Tabla 2. Análisis de varianza para el índice de hinchamiento	40
Tabla 3. Prueba de múltiples rangos índice de hidratación por variedad y/o línea. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.....	40
Tabla 4. Prueba de múltiples rangos índice de hidratación para tiempo. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.....	40
Tabla 5. Prueba de múltiples rangos índice de hidratación para la interacción material y tiempo. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.....	41
Tabla 6. Análisis de varianza para diámetro medio aritmético de material Seco y Rehidratado.	44
Tabla 7. Prueba de múltiples rangos diámetro medio aritmético de material seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.	44
Tabla 8. Porcentaje de incremento del diámetro medio aritmético de estado seco a rehidratado.....	45
Tabla 9. Análisis de Varianza para diámetro medio aritmético de material Seco y Rehidratado.	45
Tabla 10. Prueba de múltiples rangos diámetro medio geométrico de material seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.	46
Tabla 11. Porcentaje de incremento en el valor de diámetro medio geométrico de estado seco a rehidratado.	47
Tabla 12. Análisis de varianza para esfericidad en material seco y rehidratado....	47
Tabla 13. Prueba de múltiples rangos esfericidad en material seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.	48
Tabla 14. Porcentaje de incremento en el valor de esfericidad de estado seco a rehidratado.....	48

Tabla 15. Análisis de Varianza para peso de mil granos en estado seco y rehidratado.....	49
Tabla 16. Prueba de Múltiples Rangos por material para peso de 1000 granos en estado seco y rehidratado. Método: 95, porcentaje Tukey HSD.....	50
Tabla 17. Porcentaje de incremento en el valor de peso de mil granos de estado seco a rehidratado.	50
Tabla 18. Análisis de varianza para densidad aparente en estado seco y rehidratado.....	51
Tabla 19. Prueba de múltiples rangos densidad aparente de granos en estado seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.....	52
Tabla 20. Análisis de varianza para densidad verdadera de granos en estado seco y rehidratado.....	53
Tabla 21. Prueba de múltiples rangos por material para densidad verdadera de granos en estado seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.	53
Tabla 22. Análisis de varianza para porosidad de granos en estado seco y rehidratado.....	54
Tabla 23. Prueba de múltiples mangos por material para porosidad de granos en estado seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.....	54
Tabla 24. Porcentaje de incremento en el valor de densidad aparente, densidad verdadera y porosidad de estado seco a rehidratado.	56
Tabla 25. Análisis de varianza para coeficiente de fricción determinado en acero para material seco y rehidratado.....	57
Tabla 26. Prueba de múltiples rangos para coeficiente de fricción determinado en acero para material en estado seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.	57
Tabla 27. Análisis de varianza para coeficiente de fricción determinado en aluminio para material seco y rehidratado.....	58
Tabla 28. Prueba de múltiples rangos para coeficiente de fricción determinado en aluminio para material en estado seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.....	59

Tabla 29. Porcentaje de incremento en el valor de coeficiente de fricción en acero y en aluminio de estado seco a rehidratado.	60
Tabla 30. Análisis de varianza para coeficiente de ángulo en reposo de material seco y rehidratado.	60
Tabla 31. Prueba de múltiples rangos para ángulo en reposo de material seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.	61
Tabla 32. Porcentaje de incremento en el valor de ángulo de reposo de estado seco a rehidratado.	61
Tabla 33. Análisis de Varianza para el índice de color en los materiales evaluados tanto en estado seco como rehidratado.	62
Tabla 34. Colorimetría entre las variedades Alcalá, Sureña y cinco líneas de arveja prueba de múltiples rangos de material seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.	63

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Equipos para determinación de humedad.	31
Figura 2. Arvejas en rehidratación.	33
Figura 3. Medición dimensiones lineales.	33
Figura 4. Medición del peso de mil semillas.	34
Figura 5. Prueba de peso estándar.....	35
Figura 6. Medición densidad verdadera.	35
Figura 7. Medición coeficiente de rozamiento estático	36
Figura 8. Medición del ángulo de reposo.	37
Figura 9. Medición del color.	37

INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L), es considerada como una hortaliza o legumbre, herbácea de hábito rastrero o trepador que se desarrolla en climas templados y templados fríos; con un alto contenido de proteína (6.3% en verde y 24.1% en seco); se consume en forma fresca, enlatada y como grano, además tiene una gran capacidad de fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico y como tal es una buena opción dentro de un plan de rotación de cultivos ya sea a campo abierto o bajo invernadero (Federación Nacional De Cafeteros De Colombia, 1998). Contiene 0,5% de aceite y 13,9% de carbohidratos (Sehirali, 1988). Es una fuente de vitaminas, aminoácidos, lípidos y minerales como calcio, hierro, fósforo, potasio y sodio. Se estima que en 100 g de parte comestible, aporta un total de 82 calorías (Lobo *et al.*, 1989).

Colombia cuenta con variedades de arveja mejoradas bastante antiguas, dentro de las que se encuentran: ICA Bojacá, ICA Teusacá y Diacol Caldas, entregadas en las décadas de 1960 y 1970; ICA Tominé, ICA-Corpoica Sindamanoy y San Isidro, liberadas en la década de 1990; no obstante, la variedad regional Santa Isabel es la que ocupa la mayor parte del área sembrada en el país, ya que posee buenas características comerciales como grano y vaina grandes, y es una de las variedades más rendidoras en vaina verde (Buitrago, 2006). Esta se adapta a altitudes entre 2.200 y 3.000 metros, se cosecha entre 115 y 145 días en verde y hasta 160 días en seco, sus rendimientos fluctúan entre 900 y 1.200 kg·ha⁻¹ (Sánchez y Mosquera, 2006; Buitrago *et al.*, 2006). Esta especie hortícola se produce en veinte seis municipios del Departamento de Nariño: Córdoba, Contadero, Potosí, Gualmatán, Pupiales, Puerres, Ipiales, Aldana, Funes, Iles, El Tablón, La Cruz, Alban, Taqueras, Imues, Guaitarilla, Yacuanquer, San Pedro de Cartago, Tangua, San Bernardo, San Lorenzo, Samaniego, Buesaco, Nariño, Ospina y Cuaspud. Las variedades predominantes son: San Isidro, Obonuco Andina, Santa Isabel, Sindamanoy, Obonuco Andina, piquinegra. (Secretaria de Agricultura y Medio Ambiente de Nariño, 2009), (Secretaria de Agricultura y Medio Ambiente de Nariño, 2010).

El conocimiento de las propiedades físicas de los granos es esencial para un adecuado diseño de los equipos para limpieza, clasificación y separación. El tamaño por ejemplo; longitud, anchura, espesor, diámetro medio aritmético y geométrico y la forma son importantes en el diseño de la separación, la cosecha y rectificadoras. La forma del producto puede ser determinada en términos de su esfericidad y relación de aspecto que afecta a las características de capacidad de flujo de los productos.

El contenido de humedad es una información útil para el desarrollo de procesos de secado y gravimétrico; propiedades como densidad aparente, densidad real y masa de mil semillas se utilizan para el diseño de equipos relacionados a la aireación, secado, almacenamiento, transporte y también estructuras de cargas (Sharma *et al.*, 2010).

En el proceso de conversión de los granos un número de productos, se someten a varias operaciones unitarias de secado, pelado, molienda, mezcla, extrusión, horneado, envasado, transporte, etc. El conocimiento de las propiedades de ingeniería de materiales agrícolas constituye importantes y esenciales datos en el diseño de máquinas, estructuras, procesos y controles para analizar y determinar la eficiencia de una máquina o una operación y mantener la calidad del producto final. Tal información básica debe ser de valor no sólo para ingenieros, sino también a los científicos y procesadores de alimentos y otros científicos que pueden explotar estas propiedades y encontrar nuevos usos (Mohsenin, 1986).

El conocimiento de las propiedades físicas y su dependencia sobre el contenido de humedad son útiles para el diseño y desarrollo de cualquier método de procesamiento y equipos (Subramanian y Viswanathan, 2006).

Las propiedades de fricción como el ángulo de reposo y el coeficiente de fricción son reconocidas por los ingenieros como importantes propiedades relacionadas con el diseño racional de contenedores de semillas y otras estructuras de almacenamiento incluyendo la compresibilidad y comportamiento de flujo de materiales (Vilche *et al.*, 2003).

En Latinoamérica, las leguminosas son alimentos altamente consumidas y forman parte de los hábitos alimenticios de la población, dicho consumo es mayoritariamente en forma de grano integral. Dado su alto potencial nutricional, es importante incrementar su consumo, diversificando su uso como ingrediente en el desarrollo de productos alimenticios. Sin embargo, para lograr una utilización óptima de la arveja como ingrediente, se deben conocer algunas de sus propiedades funcionales como el poder de hinchamiento (Granito *et al.*, 2008). La capacidad de hinchamiento se entiende como la propiedad referente a la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua (Tamayo y Bermúdez, 1998). En esta característica influye la cantidad de los componentes polisacáridos y proteínas; la porosidad y el tamaño de partícula de la fibra (Femenia *et al.*, 1997).

Este estudio tiene como objetivo evaluar las propiedades físicas de dos variedades y cinco líneas de arveja (*pisum sativum* L.), tales como: humedad, esfericidad, el tamaño, masa de mil semillas, densidad aparente y verdadera, porosidad, ángulo de reposo, coeficiente de fricción estática, capacidad de hidratación, índice de hidratación y color.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, la arveja, después del fríjol, es la leguminosa de mayor importancia, se cultiva en 14 departamentos, la mayor producción se encuentra en el departamento de Nariño con una producción del 32.5%, Cundinamarca 22.3%, Boyacá 16.4%, Tolima 12.2%, Huila 7.3% y otros 9.3%; los municipios que se destacan en Nariño son: Córdoba con 19.1%, Potosí 12.5%, Ipiales 11.7%, Contadero 11.3% y Pupiales 8.2% (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVAS), 2011). En la oferta agropecuaria de Colombia para el segundo periodo del año 2012 la arveja tenía una área sembrada de 10.541 Ha con una participación del 42 % entre las hortalizas y en cuanto a la producción, se proyectan 41.456 toneladas producidas entre noviembre 2012 y abril 2013 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Corporación Colombia Internacional, 2012).

Se estima que del cultivo dependen más de 26.000 productores, generando alrededor de 2,3 millones de jornales, y unos 15.000 empleos directos (Fenalce, 2010). Las deficiencias en el volumen para atender la demanda nacional se cubre con importaciones, lo cual se debe a que el país no produce arveja en grano seco, la cual a su vez, representa el 50% del consumo (CCI, 2000).

Como se puede evidenciar el departamento de Nariño se caracteriza por poseer una gran riqueza agropecuaria y potencial agroindustrial y entre ellas la línea de arvejas. A pesar de ello, su desarrollo se ha visto marginado por la falta de inversión en investigación y direccionamiento de los procesos productivos que impulsen la competitividad de la región.

En Colombia el material que predomina como cultivo es la variedad Santa Isabel, que ocupa casi toda el área sembrada en arveja en el país, ya que satisface los requerimientos del mercado. Esta homogeneidad es una desventaja desde el punto de vista fitosanitario, haciendo que el manejo de enfermedades producidas por patógenos como *Ascochyta* spp., *Erisiphe pisi*, *Peronospora viciae*, *Pythium* spp. y *Fusarium* spp. sea cada vez más costoso y difícil (Kraft y Pflieger, 2001). La incidencia de plagas y enfermedades disminuye los rendimientos (Warkentin et al., 1995), eleva los costos de producción y ambientales por uso intensivo de agroquímicos y reduce las áreas donde el cultivo es viable, por persistencia de inóculo e insectos plaga, limitando el crecimiento de las áreas de cultivo, pese a las posibilidades de mercado.

La semilla es el factor más importante dentro de la productividad agropecuaria, porque lleva todo el potencial genético de un cultivar; una semilla infestada o infectada con algún patógeno puede causar una disminución del 50% de la población de plantas por podredumbre de semilla o Mal del talluelo durante la emergencia, resultando en pérdidas del rendimiento por la reducción del número y disminución de la calidad comercial (Lindsay, 2004; Quiros & Carrillo, 2008).

Según Haciseferogullari *et al.*, (2006) los sistemas actualmente utilizados para cosecha y postcosecha de los alimentos, han sido diseñados generalmente sin tomar en cuenta las propiedades físicas, por lo cual conducen a aplicaciones inadecuadas. Esto da como resultado una reducción en la eficiencia del trabajo, un aumento en la pérdida de producto. Por lo tanto, la determinación y la consideración de estos criterios tienen un papel importante en el diseño de estos equipos.

Mohsenin (1980) y Sitkei (1986) manifiestan, que la mayoría del daño de los productos ocurre en la cosecha y la trilla mecánica, así como transporte; todo esto por la falta de conocimiento de las propiedades físicas. Gran fuerza puede dañar a la fruta, grano o semilla y a continuación, el daño es el fracaso en la transformación final y calidad.

Además, Akaaimo y Raji (2006) declaran que el manejo de las pérdidas de los cultivos durante la trilla se ven afectados por el tamaño y forma. Si el juego batidor de pantalla es demasiado grande, puede resultar en mermas de trilla, mientras que demasiado pequeño puede conducir a un daño excesivo a los granos a medida que son aplastados.

Según Correa *et al.* (2006) en su estudio sobre las propiedades físicas y mecánicas de procesamiento de arroz comprobó que el mal diseño de las máquinas para el procesamiento ha generado grietas y rupturas ocasionando una baja en el precio y su comercialización.

2. JUSTIFICACIÓN

La formación profesional en la región debe tener un fuerte componente investigativo que obedezca al hecho de que la academia propicie y consolide la creación de grupos y centros de investigación con líneas investigativas que busquen soluciones a la problemática regional desde cada una de las ciencias y las disciplinas (Argoti, 2009).

El conocimiento de las diversas propiedades físicas de la arveja como la de otros granos agrícolas es importante ya que proporciona datos de ingeniería esenciales y necesarios para el diseño de máquinas de tratamiento de diversas estructuras, procesos y controles; en el análisis y la determinación de la eficiencia de una máquina o de una operación, en el desarrollo de un nuevo producto de consumo y en la evaluación y retención de la calidad del producto final (Amin *et al.*, 2004).

Las propiedades físicas afectan las características de transporte de materiales sólidos por aire o agua. El tamaño, forma, dimensiones y otras propiedades físicas son importantes en el dimensionamiento, la clasificación y el proceso de separación. Densidades aparentes y verdaderas de las semillas de las arvejas son necesarias para diseñar el equipo para el procesamiento y almacenamiento. La porosidad de las frutas y granos es el más importante para el embalaje. El ángulo de reposo es esencial en la determinación de la estructura de embalaje o almacenamiento para el material. El coeficiente de fricción desempeña un papel importante en el transporte y almacenamiento de frutas y granos (Dursun y Dursun, 2005; Nesvadba *et al.*, 2004; Nimkar *et al.*, 2005).

El tamaño, densidad y porosidad son propiedades cruciales en el desarrollo de los sistemas de aireación y secado ya que afectan a la resistencia del flujo de aire a través de una masa almacenada, mientras que el ángulo de reposo es muy importante en el diseño de equipos para el flujo de masa y estructuras de almacenamiento. La fricción entre el grano y la superficie influye en el movimiento de las partículas en los transportadores oscilantes, separación en tamices oscilantes durante la carga y operaciones de descarga (Kutzbach y Scherer, 1977; Zewdu, 2004).

El conocimiento del flujo de aire gracias a las propiedades físicas es de vital importancia en el diseño apropiado de sistemas de secamiento y aireación (Aguilar, 2006). Según Sánchez y Mosquera (2006) las propiedades de hidratación son muy importantes en el procesamiento de los granos; la variedad de guisante adecuado para el procesamiento debe ser capaz de absorber el agua constantemente a un nivel aceptable ($> 110\%$ sobre una base de peso seco). Esto es más probable que ocurra si el contenido de humedad inicial es $> 5\%$. El contenido de humedad inicial de los granos varía con el tipo de variedad y la ubicación.

En el almacenamiento, un equipo que se puede utilizar gracias al estudio de las propiedades físicas es el silo. Según Tefera *et al.* (2010) afirman que el impacto de silos metálicos de la tecnología en África, Asia y América Latina incluye mejorar la seguridad alimentaria, el empoderamiento de los pequeños agricultores, la mejora de las oportunidades de ingresos y creación de empleo, y la salvaguarda de los agroecosistemas. Tomando como ejemplo las principales dimensiones axiales de granos de arroz en bruto son útiles en la selección de los separadores de tamiz y en potencia de cálculo durante el proceso de molienda. También se puede utilizar para calcular el área de superficie y el volumen de los granos que es de gran importancia durante el modelado de secado, aireación, calefacción y refrigeración. Densidad aparente, densidad verdadera, y la porosidad puede ser útil en el dimensionamiento de las tolvas de grano y las instalaciones de almacenamiento, ya que puede afectar la tasa de transferencia de calor y masa durante la aireación y procesos de secado. El coeficiente de fricción estático se utiliza para determinar el ángulo en el que debe colocarse rampas con el fin de lograr un flujo constante de materiales a través de la tolva. Esta información es útil para dimensionar los requerimientos del motor para transporte y manipulación del grano (Ghasemi *et al.*, 2007). Según Akaaimo y Raji (2006) el coeficiente y ángulo de fricción interno tienen aplicaciones en problemas de flujo de materiales a granel especialmente en el cálculo de la pendiente de la tolva, pared lateral y ángulo. Coeficiente de fricción interna es importante en el estudio de la compresibilidad del material y la determinación de los métodos de compresión y empaquetado. Cabe resaltar que Haciseferogullari *et al.* (2006) considera que las propiedades físicas son importantes para el diseño de equipos tecnológicos para la cosecha y postcosecha en transporte, almacenamiento, limpieza, separación, clasificación, calibrado, envasado y procesamiento en diferentes alimentos.

Por tal razón esta investigación es un punto clave, ya que contribuye a la generación de conocimiento y tecnologías, que traen consigo el crecimiento del sector y por ende se mejora las condiciones de vida de los productores y la comunidad.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de la rehidratación sobre las propiedades físicas de dos variedades (Alcalá y Sureña) y cinco líneas de arveja (*Pisum sativum* L.).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar las propiedades físicas en dos variedades (Alcalá y Sureña) y cinco líneas de arveja (*Pisum sativum* L.) en estado seco.

Determinar las propiedades físicas en dos variedades (Alcalá y Sureña) y cinco líneas de arveja (*Pisum sativum* L.), posterior a la rehidratación.

Preguntas de investigación:

Existen diferencias en las propiedades físicas entre las dos variedades (Alcalá y Sureña) y/o cinco líneas de Arveja (*Pisum sativum* L.) en estado seco, como en rehidratado?

Hipótesis:

Ho. Ninguna de las dos variedades (Alcalá y Sureña) y/o cinco líneas de arveja presentan diferencias en sus propiedades físicas.

Ha: Al menos una de las dos variedades y/o cinco líneas de arveja presentan propiedades físicas diferentes.

4. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE

4.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1.1 Rehidratación y humedad. La rehidratación es un proceso complejo dirigido a restaurar las propiedades estructurales originales del material fresco (previo al secado o deshidratado) poniendo en contacto el producto seco con agua. No obstante se ha demostrado que la habilidad de rehidratación presenta una histéresis debido a la disrupción estructural y celular que tiene lugar durante el proceso de deshidratación (Krokida & Philippopoulos, 2005). El conocimiento del contenido de humedad y de las propiedades de hidratación representa una gran importancia para el procesamiento de guisantes enteros, ya que solo aquellos sobre los cuales el agua puede ser absorbida constantemente a un nivel aceptable pueden utilizarse para el procesamiento. Hay muchos factores físicos y estructurales que afectan la absorción de humedad, tales como el tiempo de inmersión, la temperatura y la luz (Vertucci y Leopold, 1987).

El contenido de humedad es el factor de mayor importancia en el comportamiento del grano durante el manejo de poscosecha, en especial en el almacenamiento y procesamiento. El alto contenido de agua es uno de los factores que pueden causar pérdidas en estos productos. Su control inadecuado en las operaciones de poscosecha pueden producir calentamiento de la masa del grano, así como generar infestaciones de hongos y ataque de insectos (Ospina, 2001).

4.1.2 Capacidad de hidratación e índice de hidratación. Recientemente, la hidratación se ha considerado para estudiar la procesabilidad de almidones (Adebowale y Lawal, 2003). Chaparro y colaboradores 2011 manifiestan que las harinas con mayores índices de hidratación son utilizadas con buenos resultados en la preparación de embutidos como salchichas, natillas y masas, ya que estas propiedades permiten adicionar más agua a las masas, así como mejorar las características de manejo y mantenimiento de la frescura del pan. También se podría usar en formulaciones alimenticias como productos infantiles, mezclas en polvo y aderezos.

4.1.3 Forma y tamaño. Son parámetros mutuamente asociados que permiten describir cualquier producto.

Criterios de redondez, esfericidad y semejanza a determinadas formas geométricas se utilizan para determinar la forma y tamaño de una semilla, para lo cual se pueden utilizar diferentes fórmulas matemáticas, las cuales se basan en las tres principales dimensiones ortogonales: longitudinal (eje mayor), ancho (eje medio) y espesor (eje menor). Para la determinación de la forma es necesario conocer la esfericidad y para determinar el tamaño los parámetros de diámetro medio geométrico y el diámetro medio aritmético (Mohsenin, 1970).

4.1.4 Densidad verdadera y densidad a granel. La densidad verdadera es la relación entre la masa del material y el volumen real ocupado por la partícula, excluyendo los espacios vacíos. La densidad verdadera es un factor importante en el análisis de transferencias de masa y calor a través de los granos, en el control de calidad, en la evaluación, cálculo y diseño de sistemas de transporte, limpieza y clasificación. La densidad a granel es importante en el diseño de sistemas de almacenaje, empaque, deshidratación y transporte (Chung y Ho Lee, 1985; Mohsenin, 1986).

4.1.5 Porosidad. La porosidad es la cantidad de espacios vacíos que dejan los granos entre sí dentro de un recipiente, los cuales son ocupados por el aire. Se expresa como la relación entre el volumen de dichos vacíos y el volumen total. La porosidad juega un papel importante en el secado y en los procesos de aireación de los granos ya que de ella depende el movimiento y la resistencia que presenta el aire al atravesar una capa gruesa de grano. Mohsenin (1986) refiere a la porosidad de un material biológico como un factor de empaque.

4.1.6 Coeficiente de rozamiento estático. El Coeficiente de fricción es igual a la relación entre la fuerza de fricción y el peso del producto. La fuerza requerida para iniciar y mantener el movimiento puede ser también producida por un cuerpo situado sobre una pendiente de un ángulo determinado. Por lo tanto el coeficiente de fricción es debido a dos fuerzas principales: la fuerza requerida para deformar y algunas veces cortar las asperezas de las superficies en contacto y la fuerza requerida para vencer la adhesión y cohesión entre superficies (Ospina, 2001). El coeficiente de fricción es una propiedad de los granos, fundamental para el diseño de máquinas agrícolas agroindustriales y estructuras de almacenamiento, así como operaciones de acondicionamiento, transporte y beneficio de granos (Ospina, 2001).

4.1.7 Ángulo de reposo. El ángulo de reposo es de suma importancia en el diseño de las aberturas de tolvas, pendiente de las paredes laterales y las estructuras de almacenamiento en la mayor parte de las semillas por rampa (Solomon y Zewdu, 2008). Un incremento del ángulo de reposo cuando se

incrementa la humedad se debe a un incremento del área proyectada de la semilla, la cual puede incrementar la fricción interna de las semillas (Dursun y Dursun, 2005).

El ángulo de reposo, estático o dinámico, es indicador útil para saber la fluidez del material que sirve para caracterizar el comportamiento del flujo de los alimentos en procesos continuos (Alvarado, 2001). Entre menor sea el ángulo de reposo más fácil se desliza el grano (Ospina, 2001; Alvarado, 2001).

Según Barbosa et al. (2005), un ángulo de reposo cerca a 35° indica libre fluidez, 35° - 45° algo cohesivo, 45° - 55° cohesivo (pérdida de libre fluidez), y mayores de 55° el flujo es limitado.

4.1.8 Color. El color es un factor importante que interfiere significativamente en las propiedades sensoriales de aceptabilidad en bastantes alimentos. Entre los que se puede mencionar granos, harinas, hortalizas, frutas, etc. El color es la única propiedad sensorial que puede ser medida en forma instrumental más efectivamente que en forma visual (Kane et al., 2003). Restrepo, 1995 estableció el color a partir de la medida de los valores triestímulos o coordenadas (L^*), donde L^* representa la luminosidad con intervalo desde cero para el negro y 100 para el blanco, a^* corresponde al tono de colores que varía del verde para valores negativos al rojo para valores positivos, y b^* corresponde al color azul para valores negativos y amarillo para valores positivos.

Artes 2007 afirma que, en función del índice de color los intervalos que caracterizan la coloración de los frutos son:

$-7 < IC < 0$ = Coloración verde amarillosa

$IC \sim 0$ = Coloración amarilla

$0 < IC < 7$ = Coloración anaranjada

$IC > 7$ = Coloración anaranjada intensa

4.2 ESTADO DEL ARTE

El conocimiento de las propiedades físicas de los granos y semillas, constituyen una información fundamental de ingeniería para adecuar y operar máquinas, diseñar y construir estructuras de almacenamiento, montar sistemas adecuados de transporte, además, es un parámetro fundamental para el diseño de empaques, en análisis de calidad y en el control de procesos (Ospina, 2001; Castro, 1996).

Haciseferogullari *et al.* (2003), estudiaron las propiedades físicas de haba (*Vicia faba L.*), utilizando 10 repeticiones en el contenido de humedad natural de 10,90% base seca. Los resultados de longitud, anchura, grosor, peso, diámetro medio geométrico y esfericidad de haba se determinan como 20,39, 14,54, 7,86 mm, 1,31 g, 13,25 mm y 0,651, respectivamente. La proyección del área, el volumen, peso de 1000 granos, densidad aparente y verdadera y la porosidad dieron resultados de 2,79 cm², 1210 mm³, 1349,34 g, 608,17 kg/m³, 1248 kg/m³, 51.48 %, respectivamente. Los autores manifiestan que los resultados son de utilidad para diseñar equipos en la plantación, la cosecha, el transporte, el almacenamiento y el procesamiento.

Vilche *et al.* (2003) determinaron las propiedades físicas de las semillas de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*), En el rango de humedad de hasta 4,6 a 25,8% en base seca, la masa de 1000 semillas aumentó de 2,5 a 3,1 g, la esfericidad de 0,77-0,80, la densidad verdadera de 928 a 1.188 kg/m³, la porosidad de 0.19-0,44, el ángulo de reposo 18 a 25°, el coeficiente de fricción estática entre 0,14-0,27. Sólo la densidad aparente disminuyó con el contenido de humedad 747 a 667 kg/m³; todas las propiedades mostraron dependencia de la humedad de acuerdo a las relaciones lineales con coeficientes de correlación superior a 0,90.

Los resultados son utilizados para mejorar la tecnología asociada a las diferentes operaciones y equipos relacionados con el proceso de post-cosecha, tales como la limpieza, la clasificación, el transporte, la aireación, secado y el almacenamiento.

Oyelade *et al.* (2004) realizaron estudios de algunas propiedades físicas de las semillas de manzana (*Chrysophyllum albidum*) a un contenido de humedad de 8,49% base seca. El largo, ancho, espesor, densidad real, densidad aparente encontrados fueron: 24,1, 14,7 y 8,30 mm, 972,88 y 499,61 kg/m³ respectivamente. La fricción estática en tres superficies diferentes aumento de 0,38-0,51, mientras que el ángulo de reposo varió de 13,01° a 14,69°. Estos datos se requieren a menudo con el fin de diseñar los procesos de producción, y evaluación de equipos y ven una oportunidad en vista de las posibilidades económicas considerables en las industrias alimentaria y química.

Reddy y Chakraverty (2004) vieron la necesidad de un estudio exhaustivo para determinar las propiedades físicas de arroz analizando cómo estas propiedades se interrelacionan con el contenido de humedad. El peso del mil granos aumentó de 23,04 hasta 27,16 g con un aumento en el contenido de humedad de 10,45-32,13% base seca; densidad aparente y ángulo de reposo aumentó 522 a 566 kg/m³ y 42,35 a 49,308 respectivamente, densidad real y porosidad disminuyeron

1405-1348 kg/m³ y de 62,84-58,01% con un aumento en contenido de humedad de 7,19 a 27,86% base seca respectivamente, los datos proporcionan información para el diseño de equipos de separación, manipulación, almacenamiento y sistemas de secado. Ghasemi *et al.* (2007) exploraron algunas de las propiedades físicas de los granos de arroz con cáscara, los resultados fueron utilizados en el diseño de manipulación, elaboración, envasado y maquinaria para su producción.

Kingsly *et al.* (2005) determinaron las propiedades físicas de *Anardana* en una humedad de 6-18.13%, El tamaño y la masa aumentaron de 3,5 a 4,4 mm y 28,98 a 32,58 g, respectivamente, la densidad aparente, densidad verdadera y ángulo de reposo aumentaron, mientras que la porosidad disminuyó. El ángulo de reposo se incrementó de 26,46 a 32,13°. Los conocimientos obtenidos se utilizan en el diseño y desarrollo de equipos para la limpieza, clasificación, deshidratación, almacenamiento y manipulación.

Kashaninejad *et al.* (2005) realizaron la evaluación de las propiedades físicas de pistacho (*Pistacia vera L.*), la esfericidad aumentó de 70,06 a 72,87% ; el diámetro medio geométrico aumentó 10,65 a 11,81 mm ; densidad aparente aumentó desde 523,48 hasta 545,52 kg/m³; densidad real aumentó 1.082,73-1.087,98 kg/m³; porosidad disminuyó desde 51,65 hasta 49,86% y el coeficiente de fricción estática aumentaron linealmente contra todas las superficies ensayadas con el contenido de humedad.

Altuntas y Yildiz (2005) estudiaron las propiedades físicas de la haba seca (*Vicia faba L.*) con el fin de diseñar equipos utilizados en la plantación, la cosecha, transporte, almacenamiento y transformación. Los autores mencionan que el tamaño y la forma de las habas son importantes en el diseño de equipos para separación, recolección, dimensionamiento y rectificadoras. Masa, densidad y porosidad afectan a las estructuras de las cargas y el ángulo de reposo es importante en el diseño de almacenamiento y el transporte al igual que el coeficiente de fricción de la grano.

Yalcin *et al.* (2007) estudiaron las propiedades físicas de arveja (*Pisum Sativum L.*) variedad Bolero, para el diseño de equipos e instalaciones para la recolección, manejo, transporte, separación, secado, aireación, almacenamiento y procesamiento de las semillas del guisante. El rango de humedad evaluado fue de 10,06% a 35,08% base seca. La masa de mil semillas aumentó de 177,7 a 214,1 g, la esfericidad de 0,836 a 0,851, la porosidad de 38,64% a 40,32%, el coeficiente estático de fricción de semilla de guisante aumentó linealmente contra las superficies, a saber, aluminio 0,292-0,351, acero inoxidable 0,270-,311. La densidad aparente disminuyó desde 712,1 hasta 647,5 kg/m³ y la densidad real

1160,5-1.085,0 kg/m³ respectivamente. El contenido de humedad de las semillas de guisante debe estar en el rango de 10% a 16% para el período de almacenamiento largo. Sin embargo, el contenido de humedad de las semillas de guisante recolectada puede ser más de 24% (Sehirali, 1988).

Ixtaina *et al.* (2008) consideran que el estudio de las propiedades físicas de *Salvia hispanica* L. es de suma importancia en vista de su potencial económico considerable en alimentos y las industrias químicas ya que son a menudo esenciales para desarrollar equipos para la manipulación, transporte, secado, almacenamiento y otros procesos.

Panasiewicz *et al.* (2008) realizaron un esquema multidireccional que permite un análisis de la influencia del tratamiento hidrotérmico en las propiedades físicas de grano de avena, principalmente sobre el contenido de humedad. Los resultados obtenidos facilitaron la elaboración de un régimen para el cálculo de los cambios en la geometría del centro del grano después de que se somete a vapor humectante.

Pradhan *et al.* (2008) establecieron las propiedades físicas de *Jatropha* en una humedad de 7.97-23.33% base seca y midieron dimensiones lineales, tamaño, esfericidad, área superficial, masa de 1000 frutas, densidad aparente, densidad verdadera, porosidad, ángulo de reposo, la trituración, resistencia y coeficiente de fricción estática con el fin de diseñar equipos para cosecha, secado, limpieza, clasificación, decorticación y almacenamiento.

Sologubik *et al.* (2012) midieron las propiedades físicas de las semillas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en función del contenido de humedad en el rango de 13,15 a 45,82% en base seca. Afirman que la comprensión completa de las propiedades físicas de los granos de cebada es útil para mejorar la tecnología asociada con las diversas operaciones y equipos relacionados con procesos de post-cosecha tales como la limpieza, clasificación, transporte, ventilación, secado, almacenamiento y malteado.

Otras investigaciones, que determinaron las propiedades físicas en semillas, con relación al contenido de humedad: Comino (Singh *et al.*, 1995), Maní bambara (Baryeh, 2000), Avellanas (Aydin, 2002), granos de maíz (Karababa, 2004), semillas de maíz dulce (Bulent *et al.*, 2005), frijol barbunia (Mustafa, 2006), caupi (Yalcin, 2006), semillas de tung (Sharma *et al.*, 2010).

Baranzini et al. 2010, manifiestan que entre las varias características del garbanzo de alta calidad, el color es una de las más importantes, puesto que influencia la selección de nuevas variedades mejoradas en los centros de investigación experimentales, y también el precio en el mercado internacional. Evaluaron el color de garbanzo utilizando dos métodos instrumentales y uno sensorial para determinar cual método instrumental presenta una correlación mayor con el método sensorial, y con esto, implementar a futuro, una clasificación de los colores que presentan el grano de garbanzo, y así tener una referencia objetiva al momento de llevar a cabo la comercialización de su producto. Llegaron a la conclusión que aunque los métodos instrumentales son rápidos, confiables y costos accesibles, la evaluación sensorial valida a los mismos.

4.2 INFORMACIÓN DE LAS DOS VARIEDADES SUREÑA, ALCALÁ Y LAS CINCO LÍNEAS DE ARVEJA.

Las arvejas provienen de diferentes cruces de variedades descritas en la tabla 1. Dicho material fue obtenido en la Universidad Nacional y fueron donadas para la investigación, denominándose sureña, Alcalá, 7313, 7324, 7336, 7371-2 y 7143-2. Estas líneas poseen características mejoradas en cuanto a adaptabilidad, resistencia a plagas y enfermedades, componentes de rendimiento como número de vainas, número de granos, peso y tamaño de granos. Teniendo como principales la sureña y Alcalá por tener mejores características tanto en su madurez y germinación.

Tabla 1. Características de las siete líneas de arveja.

Línea	Genealogía	Características
Alcalá	[(Australia 26 x Santa Isabel)/(Alemania 23 x Santa Isabel)] x [(San Isidro x Santa Isabel)/(New Era Wisconsin x Santa Isabel)] F2-MB	Semilla crema, lisa, hilum negro.
Sureña	Santa Isabel x San Isidro	Semilla verde, hilum negro, lisa.
7313	[(Santa Isabel x Tolima)/(Santa Isabel x Australia 26)] x [(Santa Isabel x Alemania 23)/(Santa Isabel x New Era Wisconsin)] F2-MM	Semilla crema, redonda, grande, hilum negro.
7324	[(Australia 26 x Santa Isabel)/(Alemania 23 x Santa Isabel)] x [(New Era Wisconsin x Santa Isabel)/(San Isidro x Santa Isabel)] F2-MA	Semilla café tipo Santa Isabel.
7143-2	Santa Isabel x San Isidro	Semilla crema, hilum negro, lisa.
7336	[(Santa Isabel x ICA tomine)/(Santa Isabel x Australia 26)] x [(Santa Isabel x San Isidro)/(Santa Isabel x WSU 23)] F2-MI	Semilla verde, lisa, hilum hialino.
7371-2	[(Santa Isabel x WSU 31*) x WSU 31] 7B	Semilla verde y crema, rugosa, hilum hialino.

Fuente: Esta Investigación

5. METODOLOGIA

5.1 LOCALIZACIÓN

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en la Planta Piloto de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño, sede Torobajo Pasto (Nariño) a 2527 m.s.n.m.

5.2 OBTENCIÓN DE LAS SIETE LÍNEAS DE ARVEJA

El material vegetal empleado en esta investigación fueron dos variedades sureña, Alcalá y 5 líneas de arveja denominadas: 7143-2, 7313, 7336, 7324 y 7371-2, proporcionadas por el doctor Oscar Checa, docente investigador de la facultad de agronomía de la Universidad de Nariño.

5.3 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS

A excepción de la capacidad del índice de hinchamiento que se midió exclusivamente en el material rehidratado, la siguiente metodología se aplicó tanto para grano seco como para grano rehidratado.

5.3.1 Humedad. Se determinó mediante secado en horno a 105 ± 1 ° C durante 24 h (Suthar y Das, 1996).

Figura 1. Equipos para determinación de humedad.



Fuente: Esta Investigación

5.3.2 Capacidad de hidratación (CH) e Índice de hidratación (IH). Para medir estos parámetros se sometió los materiales a remojo, manejando una relación de arveja, agua 1:4, 1:6, 1:8, durante 10, 12 y 14 horas y se dejó reposar a temperatura ambiente ($18\pm 2^{\circ}\text{C}$). Luego, el líquido fue drenado, el agua superficial se eliminó con papel filtro y las semillas hidratadas se pesaron. Para calcular correctamente los cambios de peso debidos a cambios en el contenido de humedad de la semilla, se utilizó la siguiente igualdad, (Aguirre y Peske, 1988).

$$Pi(100 - Hi) = Pf(100 - Hf)$$

Dónde:

Pi = Peso inicial del lote
 Hi = Humedad inicial del lote (% , base húmeda)
 Pf = Peso final del lote
 Hf = Humedad final del lote (% , base húmeda)

La capacidad de hidratación (CH) se calculó con la siguiente ecuación:

$$CH = \frac{WDH - WAH}{NG}$$

Dónde:

WDH=Peso después de hidratar
 WHA=Peso antes de hidratar
 NG=Numero de granos

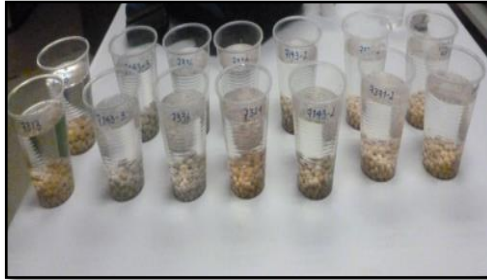
El índice de hidratación (IH), definido se calculó con la ecuación.

$$IH = \frac{CH}{WG}$$

Dónde:

WG= peso del grano
 (Chaparro *et al.*, 2011).

Figura 2. Arvejas en rehidratación.



Fuente: Esta Investigación

5.3.3 Tamaños medios, diámetro medio geométrico y diámetro medio aritmético. Para determinar el tamaño medio, 100 semillas se eligieron al azar y se midieron sus tres dimensiones lineales a saber, longitud L, anchura W y espesor T, esto con la ayuda de un micrómetro de lectura a 0,01 mm (Yalçın et al., 2007). Con los datos obtenidos se determinó el diámetro medio geométrico (Dg) y el diámetro medio aritmético (Da) con las siguientes ecuaciones (Mohsenin, 1986).

$$D_g = (LWT)^{1/3}$$
$$D_a = \frac{L + W + T}{3}$$

Figura 3. Medición dimensiones lineales.



Fuente: Esta Investigación

5.3.4 Esfericidad (ϕ). La esfericidad de semillas ϕ se calculó mediante la relación (Mohsenin, 1970)

$$\phi = \frac{(LWT)^{\frac{1}{3}}}{L}$$

5.3.5 Peso de mil semillas. El peso de mil semillas se determinó por medio de una balanza electrónica de lectura de 0,001 g (Yalçın et al., 2007).

Figura 4. Medición del peso de mil semillas.



Fuente: esta investigación

5.3.6 Densidad aparente (ρ_b). La densidad aparente media de la semilla de arveja se determinó utilizando el procedimiento de prueba de peso estándar (Singh y Goswami, 1996); llenando un recipiente de 500 ml con la semilla desde una altura de 150 mm a una velocidad constante y a continuación se pesó el contenido. Se calculó a partir de la masa de las semillas y el volumen del recipiente.

$$\rho_b = \frac{Mr_l - Mr_v}{V_r}$$

Dónde:

Mr_l =Masa del recipiente lleno

Mr_v =Masa del recipiente vacío

V_r =Volumen del recipiente

Figura 5. Prueba de peso estándar.



Fuente: esta investigación

5.3.7 Densidad verdadera (ρ^s). Esta se determinó utilizando tolueno por el método de desplazamiento (Yalçin et al., 2007).

$$\rho^s = \frac{(wps - wp)}{(wpl - wp) - (wpls - wps)} \rho^l$$

Dónde:

wps = Masa del picnómetro con la muestra

wp = Masa del picnómetro vacío

wpl = Masa del picnómetro con el líquido

$wpls$ = Masa del picnómetro con la muestra y el líquido

ρ^l = Densidad del líquido

Figura 6. Medición densidad verdadera.



Fuente: esta investigación

5.3.8 Porosidad (ε). La porosidad de las semillas de guisante en varios contenidos de humedad se calculó a partir de la densidad aparente y verdadera con la relación propuesta por (Mohsenin, 1970) como sigue

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) * 100$$

5.3.9 Coeficiente de rozamiento estático (μ). El coeficiente de rozamiento estático de las semillas se determinó en una superficie de acero inoxidable y aluminio. Se utilizó un tubo cilíndrico de cloruro de polivinilo de 50 mm de diámetro y 50 mm de altura y se colocó sobre una placa de inclinación ajustable, enfrentado a la superficie y llena con la muestra de semillas (Singh y Goswami, 1996).

/

$$\mu = \tan \alpha$$

Dónde: α =Angulo de inclinación

Figura 7. Medición coeficiente de rozamiento estático



Fuente: esta investigación

5.3.10 Ángulo de reposo. El ángulo de reposo se determinó mediante el uso de un molde cilíndrico hueco de 100 mm de diámetro y 150 mm de altura. El cilindro se colocó en una mesa de madera, lleno de tope y se elevó lentamente hasta que se formó un cono de partículas. Este se calculó mediante el uso de una ecuación como (Amin et al., 2004 y Kaleemullah y Gunasekar, 2002).

$$\phi = \text{TAN}^{-1}\left(\frac{2H}{D}\right)$$

Dónde:

H =Alto del cono

D =Diámetro del cono

Figura 8. Medición del ángulo de reposo.



Fuente: Esta Investigación

5.3.11 Color. Las lecturas para el color se realizaron en un colorímetro marca konica Minolta, se tomaron varias partículas en una caja petri y se colocaron en la lente del colorímetro. El índice de color (IC), adaptado para las partículas de arveja se midió en seco y en rehidratado a partir de la siguiente ecuación (Restrepo, 1995).

$$IC = 100 \frac{a^*}{l^* b^*}$$

Figura 9. Medición del color.



Fuente: Esta Investigación

5.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la evaluación de los datos obtenidos en las propiedades físicas de dos variedades sureña, Alcalá y 5 líneas de arveja, se utilizarán los siguientes arreglos:

Modelo matemático

$$Y_{ij} = M_{ij} + T_{ij} + E$$

Dónde:

Y_{ij} : Variable de respuesta (Propiedad Física).

M_{ij} : Media General.

T_{ij} : Efecto del tratamiento.

E: El Error experimental.

Índice de Hidratación: se realizó un diseño irrestrictamente al azar, factorial en el que se tienen 3 factores, el primero corresponde a los 7 materiales de arveja evaluados, el segundo factor a las relaciones de agua para inmersión (3 niveles), y el tercer factor hace referencia al tiempo de Inmersión (3 niveles).

Se aplicó un análisis de varianza que permitió saber si hay diferencias en los tratamientos, al haber diferencias se realizó una comparación de medias aplicando la prueba de Tukey al 5% de probabilidad, los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico Infostat 2009.

En las propiedades físicas: Peso de mil semillas, ángulo de reposo, porosidad, densidad verdadera y aparente, coeficiente de fricción y esfericidad, se realizó una caracterización tipológica; mediante un análisis de varianza se determinó si hay diferencias de la propiedad física en los 7 materiales evaluados, al encontrar diferencias, se procedió a realizar una prueba de medias que permitió conocer la formación de dos o mas grupos.

Para el análisis de los datos obtenidos se procedió a realizar un análisis de varianza que permitió determinar en primer lugar, si existen diferencias estadísticamente significativas en las propiedades físicas para cada uno de los materiales evaluados y al existir estas diferencias se procedió a realizar una prueba de múltiples que permitió agrupar a los materiales dependiendo de sus similitudes, además se realizó un APC en donde se tuvo en cuenta las propiedades físicas para cada uno de los materiales de arveja y se determinó cual de las propiedades tiene mayor importancia a la hora de caracterizar cada material.

Finalmente con los CP se realizó un análisis de conglomerados o clusters para la formación de grupos de materiales con características comunes en cuanto a las propiedades físicas.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Para determinar las propiedades físicas los siete materiales evaluados se limpian manualmente con el fin de eliminar toda materia extraña, como el polvo, la suciedad, piedras y la paja, así como semillas inmaduras y rotas. . En el análisis de varianza realizado para cada una de las propiedades físicas evaluadas, se tomó como covariable el porcentaje de humedad, teniendo en cuenta que este factor influye en el momento de realizar las comparaciones en los resultados encontrados tanto para las propiedades físicas evaluadas en el material seco y rehidratado. Tanto las variedades como líneas evaluadas tuvieron un promedio de humedad inicial de 12,43%; llegando a un promedio de humedad final de 52,68% después de la rehidratación.

6.1.1 Índice de hidratación. Al realizar el análisis de varianza para el índice de hidratación de los materiales después de su rehidratación, se encontró que existen diferencias significativas. En las interacciones solo hay efecto en el material y tiempo (p -valor < 0.05) (Tabla 2). La comparación de medias de Tukey para el material, permitió identificar cuatro grupos (Tabla 3); la variedad Alcalá presentó el mayor promedio con un valor de $0,89 \pm 0,07$, comportándose estadísticamente igual a la línea 7324, 7371-2, 7143-2; la variedad Sureña y la línea 7313 obtuvieron los menores índices de hidratación $0,69$ y $0,53$ respectivamente.

La comparación de medias de Tukey para el tiempo permitió identificar dos grupos (tabla 3), en el cual la máxima hidratación se da a las 14 horas.

En la interacción, material y tiempo la comparación de medias de tukey permitió identificar diez grupos (tabla 5), se destacan la línea 7324 formando un solo grupo adquiriendo el mayor índice de hidratación de $0,97 \pm 0,07$ en un tiempo de 14 horas y mostrando diferencias estadísticas en los tiempos en rehidratación para 10 y 12 horas con promedios de $0,79 \pm 0,06$ y $0,89 \pm 0,07$ respectivamente. La variedad Alcalá se comporta estadísticamente igual a las 10, 12 y 14 horas de tratamiento y posee un comportamiento estadísticamente igual a las líneas 7336 a las 14 horas, 7324 y 7143-2 a las 12 horas. La línea 7371-2 para las 10 y 14 horas no tiene efecto significativo. La línea 7313 ocupó los menores promedios de índice de hidratación entre todos los materiales, con valores de $0,35 \pm 0,03$; $0,52 \pm 0,09$; $0,72 \pm 0,08$ durante las 10, 12 y 14 horas. La línea 7313 a las 14 horas se comporta estadísticamente igual a la línea 7336 a las 12 horas.

Tabla 2. Análisis de varianza para el índice de hinchamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
MATERIAL	4,962	6	0,827	91,41	0,000
R-AGUA	0,003	2	0,002	0,18	0,839
TIEMPO	1,164	2	0,582	64,34	0,000
MATERIAL*R-AGUA	0,048	12	0,004	0,44	0,946
MATERIAL*TIEMPO	1,018	12	0,085	9,38	0,000
R-AGUA*TIEMPO	0,029	4	0,007	0,81	0,519
MATERIAL*					
R-AGUA*TIEMPO	0,101	24	0,004	0,47	0,986
Error	2,280	252	0,009		
Total	9,606	314			

Tabla 3. Prueba de múltiples rangos índice de hidratación por variedad y/o línea. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

Material	Índice de Hidratación
Alcalá	0,89 ^a ±0,07
7324	0,88 ^a ±0,10
7371-2	0,88 ^a ±0,07
7143-2	0,86 ^a ±0,05
7336	0,77 ^b ±0,18
Sureña	0,69 ^c ±0,15
7313	0,53 ^d ±0,17

Fuente: Esta Investigación

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$). Los valores son expresados como la media \pm desviación estándar ($n = 45$).

Tabla 4. Prueba de múltiples rangos índice de hidratación para tiempo. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

Tiempo	Índice de Hidratación
14	0,87 ^a ±0,10
12	0,76 ^b ±0,15
10	0,73 ^b ±0,22

Fuente: Esta Investigación

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$). Los valores son expresados como la media \pm desviación estándar ($n = 105$).

Tabla 5. Prueba de múltiples rangos índice de hidratación para la interacción material y tiempo. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Material	Tiempo	Índice de Hidratación
7324	14	0,97 ^a ±0,07
73712	14	0,93 ^{ab} ±0,04
73712	10	0,91 ^{abc} ±0,04
Alcalá	14	0,91 ^{abcd} ±0,05
7336	14	0,9 ^{abcd} ±0,04
Alcalá	10	0,89 ^{abcd} ±0,10
7324	12	0,89 ^{abcd} ±0,06
Alcalá	12	0,88 ^{abcd} ±0,05
71432	14	0,88 ^{abcd} ±0,04
71432	12	0,87 ^{abcd} ±0,02
71432	10	0,84 ^{bcd} ±0,06
7324	10	0,79 ^{cdef} ±0,07
Sureña	14	0,79 ^{cdefg} ±0,08
73712	12	0,79 ^{defg} ±0,03
7336	12	0,74 ^{efg} ±0,11
7313	14	0,72 ^{efgh} ±0,08
7336	10	0,68 ^{fgh} ±0,24
Sureña	10	0,67 ^{gh} ±0,19
Sureña	12	0,60 ^{hi} ±0,08
7313	12	0,52 ⁱ ±0,09
7313	10	0,35 ^j ±0,03

Fuente: Esta Investigación

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$). Los valores son expresados como la media \pm desviación estándar ($n=15$).

Al realizar el análisis en la interacción material y tiempo a las 14 horas de rehidratación y teniendo en cuenta que la humedad de partida de cada uno de los materiales fue de (12% base humedad), la línea 7324 adquiere un índice de hidratación con el mayor promedio, $0,97 \pm 0,07$ y la línea 7313 ocupó el menor promedio con un valor de $0,72 \pm 0,08$, resultados similares fueron encontrados por Chavan *et al.* (1999), en el cual se caracterizó el índice de hidratación en guisante de playa (humedad $9,7 \pm 0,29$), guisante verde (humedad $8,2 \pm 0,23$) y guisante forrajero variedad canadiense (humedad $10,4 \pm 0,05$); encontrando un índice de hidratación de $0,16 \pm 0,03$; $0,95 \pm 0,00$; $0,89 \pm 0,007$ respectivamente. Cabe resaltar

que el tiempo de rehidratación para estos resultados fue de 24 horas y se realiza sobre una base de peso en seco.

Según Serna *et al.* (1991), La rápida absorción de agua está directamente relacionada al endospermo suave, mientras que si el grano tiene un endospermo duro, la absorción de agua será más lenta. En este caso la variedad Alcalá no es estadísticamente diferente en los tiempos de rehidratación durante las 10, 12 y 14 horas, por lo cual podríamos decir que posee un endospermo suave, mientras tanto líneas como la 7313 en la que se mira diferencias estadísticamente altas formando diferentes grupos en cada tiempo de rehidratación se podría decir que el índice de hidratación es lento. Chavan *et al.* (1999), llega a la conclusión que las semillas de guisante con menor índice de hidratación tienen una capa muy dura e impermeable y , como tal, no reciben hidratado fácilmente. Aguirre y Gómez, 2010 manifiestan que entre mayor es la capacidad de absorción, generalmente los tiempos de cocción son menores; por tal razón la línea que mejor comportamiento tienen en este parámetro sería la variedad Alcalá con 0.89 ± 0.07 de índice de hidratación, si se analiza desde el aspecto económico esta variedad tiene efectos positivos en procesos industriales.

Para chaparro y colaboradores 2011 hay beneficios a mayor índice de hidratación por su eficiencia en embutidos, natillas y masas y mantenimiento de la frescura de los productos. También se podría usar en formulaciones alimenticias como productos infantiles, mezclas en polvo y aderezos. Por consiguiente la variedad Alcalá y las líneas 7324, 7371-2, 7143-2 con índices de hidratación de $0.89^a \pm 0.07$, $0.88^a \pm 0.10$, $0.88^a \pm 0.07$, $0.86^a \pm 0.05$ podrían tener un potencial para la innovación en estos productos.

Sinibaldi *et al.* (2001), Midieron el índice de absorción de agua en once variedades de maíz, por estar relacionado con el rendimiento de tortillas al hidratar la harina para elaborar la masa. Los resultados obtenidos se encontraban entre 3.06 ± 0.07 a 3.53 ± 0.19 g gel/g harina.

Saharan *et al.* (2001), encontraron índices de hidratación para frijoles (RB-32) y habas (VH-82-1) mejorados genéticamente con valores de 0.867 ± 0.01 y de 0.537 ± 0.07 respectivamente.

Torregroza *et al.* (2007), encontró un índice de hidratación de 1.775 veces el peso de la semilla seca en frijol Zaragoza (*Phaseolus lunatus*) variedad blanca, después de someter a remojo (relación semilla – agua 1:2, 1:3 a 10 horas y 1:3 a 12 horas). Encontrando un mayor índice de hidratación a las 12 horas de tratamiento.

Chaparro *et al.* (2011), reporta un índice de hidratación en semillas de vitabosa con promedios de $0,74 \pm 0,06$ (g agua/g semilla) y manifiesta que el índice de hidratación esta influenciado por la capacidad de hidratación y a la vez esta depende principalmente de la proteína y de algunos de sus parámetros, como tamaño, forma, factores estéricos y balance hidrofílico-hidrofóbico de los aminoácidos en las moléculas, como también de los lípidos y carbohidratos.

Brousse *et al.* (2012), Manifiestan que el índice de hidratación es usado como indicador de la retención del agua, por tal razón las que mejor comportamiento tuvieron son las líneas 7324 y 7371-2 con índice de hidratación de $0,97 \pm 0,07$ y $0,93 \pm 0,04$, respectivamente en un tiempo de 14 horas.

Naviglio *et al.* (2013), utilizaron un extractor rápido de sólido-líquido dinámico para la rehidratación de frijol, logrando reducir el tiempo de remojo aproximadamente diez veces al tradicional, también desacelerando el crecimiento microbiano tras una hora de tratamiento y aromatización simultánea.

Estudios previos también han informado sobre índice de hidratación en granos y semillas; Sanghoon *et al.* (2012), clasificaron 12 diferentes cultivares de arroz en base a sus indicadores de procesabilidad, entre ellos la hidratación; Oliveira *et al.* (2013), modelaron el efecto de la temperatura sobre la cinética de hidratación de frijol variedad Adzuki (*Vigna angularis*); McCarthy y Zhang (2013), estudiaron la absorción de agua en los niveles macro y microscópicas de frijoles blancos.

Ghafoor *et al.* (2014), evaluaron el efecto de ultrasonidos sobre la tasa de hidratación de frijol blanco (*Phaseolus vulgaris*), logrando una mayor velocidad de hidratación con difusividad efectiva para el transporte de agua, sin y con la aplicación de ultrasonido de $1,36 \times 10^{-10}$ m²/s y $2,19 \times 10^{-10}$ m²/s respectivamente.

6.1.2 Diámetro medio aritmético y diámetro medio geométrico

6.1.2.1 Diámetro medio aritmético. Al realizar el análisis de varianza para el diámetro medio aritmético, en material seco y rehidratado, se encontró que existen diferencias significativas entre los materiales evaluados (p-valor < 0.05) (Tabla 6). La comparación de medias de Tukey, para material seco, permitió identificar cuatro grupos (Tabla 7), de los cuales la línea Alcalá presentó el mayor promedio, con un valor de $8,1 \pm 0,31$ mm, por su parte la línea 7371-2 presentó el menor promedio con un valor de $7,51 \pm 0,5$ mm. En el caso del material rehidratado se

formaron tres grupos (Tabla 7), de los cuales la Variedad Alcalá presentó el mayor promedio, con un valor de $10,13 \pm 0,33$ mm. Por su parte la línea 7371-2 presentó el menor promedio con un valor de $9,32 \pm 0,38$ mm.

Tabla 6. Análisis de varianza para diámetro medio aritmético de material Seco y Rehidratado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Material Seco					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,00	1	0	0	0,8621
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	1,71	6	0	10	0,0001
RESIDUOS	1,73	62	0		
TOTAL (CORREGIDO)	4,81	69			
Material Rehidratado					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,18	1	0,18	1,37	0,0086
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	2,56	6	0,43	3,19	0,2470
RESIDUOS	8,31	62	0,13		
TOTAL (CORREGIDO)	14,85	69			

Fuente: Esta Investigación

Tabla 7. Prueba de múltiples rangos diámetro medio aritmético de material seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

Seco		Rehidratado	
Material	Diámetro medio aritmético	Material	Diámetro medio aritmético
Alcalá	$8,10^a \pm 0,31$	Alcalá	$10,13^a \pm 0,33$
7324	$8,00^{ab} \pm 0,09$	7336	$9,84^{ab} \pm 0,35$
Sureña	$8,00^{ab} \pm 0,13$	Sureña	$9,79^{abc} \pm 0,24$
7143-2	$7,87^{bc} \pm 0,20$	7324	$9,65^{abc} \pm 0,38$
7313	$7,8^{bc} \pm 0,07$	7313	$9,65^{abc} \pm 0,45$
7336	$7,64^{cd} \pm 0,09$	7143-2	$9,61^{bc} \pm 0,40$
7371-2	$7,51^d \pm 0,50$	7371-2	$9,32^c \pm 0,38$

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$). Los valores son expresados como la media \pm desviación estándar ($n = 100$).

Fuente: Esta Investigación

Tabla 8. Porcentaje de incremento del diámetro medio aritmético de estado seco a rehidratado.

Material	Diámetro medio aritmético		
	Seco	Hidratado	Incremento %
7336	7,64	9,84	28,80
Alcalá	8,10	10,13	25,06
7371-2	7,51	9,32	24,10
7313	7,80	9,65	23,72
Sureña	8,00	9,79	22,38
7143-2	7,87	9,61	22,11
7324	8,00	9,65	20,63

Fuente: Esta Investigación

6.1.2.1 Diámetro medio geométrico. Al realizar el análisis de varianza para el diámetro medio geométrico, en material seco y rehidratado, se encontró que existen diferencias significativas entre los materiales evaluados (p -valor < 0.05) (Tabla 9). La comparación de medias de Tukey, para material seco, permitió identificar cuatro grupos (Tabla 10), de los cuales la variedad Alcalá presentó el mayor promedio, con un valor de $8,1 \pm 0,31$ mm, por su parte la línea 7371-2 presentó el menor promedio con un valor de $7,48 \pm 0,14$ mm. En el caso del material rehidratado se formaron dos grupos (Tabla 10), de los cuales la Variedad Alcalá presentó el mayor promedio, con un valor de $10,1 \pm 0,33$ mm, comportándose estadísticamente igual a la línea 7336. Por su parte la línea 7371-2 presentó el menor promedio con un valor de $9,28 \pm 0,38$ mm.

Tabla 9. Análisis de Varianza para diámetro medio aritmético de material Seco y Rehidratado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Material Seco					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,00	1	0,00	0,01	0,9151
EFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	1,71	6	0,29	10,31	0,0001
RESIDUOS	1,77	62	0,03		
TOTAL (CORREGIDO)	4,92	69			
Material Rehidratado					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,19	1	0,19	1,37	0,2442
EFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	2,60	6	0,43	3,19	0,0088
RESIDUOS	8,45	62	0,14		
TOTAL (CORREGIDO)	15,12	69			

Fuente: Esta Investigación

Tabla 10. Prueba de múltiples rangos diámetro medio geométrico de material seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

Seco		Rehidratado	
Material	Diámetro medio geométrico	Material	Diámetro medio Geométrico
Alcalá	8,10 ^a ±0,31	Alcalá	10,10 ^a ±0,33
7324	7,98 ^{ab} ±0,09	7336	9,84 ^a ±0,35
sureña	7,97 ^{ab} ±0,13	sureña	9,78 ^{ab} ±0,24
7143-2	7,85 ^b ±0,20	7324	9,64 ^{ab} ±0,38
7313	7,77 ^{bc} ±0,07	7313	9,63 ^{ab} ±0,46
7336	7,62 ^{cd} ±0,10	7143-2	9,61 ^{ab} ±0,41
7371-2	7,48 ^d ±0,14	7371-2	9,28 ^b ±0,38

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$). Los valores son expresados como la media \pm desviación estándar ($n = 100$).

Fuente: Esta Investigación

Tanto el diámetro medio aritmético como geométrico aumenta, al incrementar la humedad, estos resultados son similares a los reportados por Kibar et al. (2010) en semillas de arroz, Altunatas *et al.* (2005) en haba, Pradam *et al.* (2008) en *Jatropha*, Sessiz *et al.* (2006) en alcaparras. El mayor incremento en el diámetro medio aritmético durante la hidratación lo obtuvo la línea 7336 con 28,8%, seguido de la variedad Alcalá con un 25,06%. Por su parte la línea 7324 obtuvo el menor incremento 20,63%, mientras tanto el mayor incremento del diámetro medio geométrico durante la hidratación lo obtuvo la línea 7336 con un 29,13%, seguido de la variedad Alcalá con un incremento de 24,69%. Por su parte la línea 7324 obtuvo el menor incremento 20,80%.

Según Aguirre y Gómez 2010, el peso de la semilla se relaciona directamente con el tamaño del grano y en algunos materiales se observa calramente esta afirmación; si analizamos los datos anteriores y los comparamos (tabla 17) del parámetro peso de mil granos se observa que el mayor porcentaje de incremento lo obtuvo la variedad Alcalá con 107,66% y el menor la línea 7371-2 con 58,25% y efectivamente el diámetro aritmético (tabla 7) para la variedad Alcalá ocupó el mayor promedio tanto en estado seco como rehidratado con valores de $8,1 \pm 0.31$ y $10,13 \pm 0.33$ mm y el menor la línea 7371-2 con promedio de $7,51 \pm 0.5$ y $9,32 \pm 0.38$ mm respectivamente.

Tabla 11. Porcentaje de incremento en el valor de diámetro medio geométrico de estado seco a rehidratado.

Material	Diámetro medio geométrico		
	Seco	Hidratado	Incremento %
7336	7,62	9,84	29,13
Alcalá	8,10	10,10	24,69
7371-2	7,48	9,28	24,06
7313	7,77	9,63	23,94
sureña	7,97	9,78	22,71
7143-2	7,85	9,61	22,42
7324	7,98	9,64	20,80

Fuente: Esta Investigación.

6.1.4 Esfericidad en material seco y rehidratado. Al realizar el análisis de varianza para esfericidad, en material seco y rehidratado, se encontró que existen diferencias significativas entre los materiales evaluados (p -valor < 0.05) (Tabla 12). La comparación de medias de Tukey, para material seco, permitió identificar cuatro grupos (Tabla 13), en donde, la variedad Alcalá presentó el mayor promedio con un Valor de $0,95 \pm 0,01$. La línea 7371-2 presentó el menor promedio con un valor de $0,89 \pm 0,03$. En el caso del material rehidratado, se formaron tres grupos (Tabla 13), de los cuales la línea 7324 presentó el mayor promedio, con un valor de $1.02 \pm 0,02\%$, comportándose estadísticamente igual a la variedad Sureña y a las líneas 7143 -2 y 7336, mientras que línea 7371-2 presento el menor promedio con un valor de $0.90 \pm 0,01\%$.

Tabla 12. Análisis de varianza para esfericidad en material seco y rehidratado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Material Seco					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,0005	1	0,0005	2,09	0,1536
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	0,0035	6	0,0006	2,57	0,0274
RESIDUOS	0,0139	62	0,0002		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0177	69			
Material Rehidratado					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,0007	1	0,0006	0,25	0,6183
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	0,0809	6	0,0135	5,21	0,0002
RESIDUOS	0,1607	62	0,0026		
TOTAL (CORREGIDO)	0,2462	69			

Fuente: Esta Investigación

Tabla 13. Prueba de múltiples rangos esfericidad en material seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

Seco		Rehidratado	
Material	esfericidad	Material	esfericidad
Alcalá	0,95a±0,01	7324	1,02a±0,02
7143-2	0,92b±0,01	Sureña	0,98ab±0,12
7324	0,92bc±0,01	7143-2	0,96abc±0,03
Sureña	0,91bc±0,01	7336	0,96abc±0,04
7336	0,91bc±0,01	7313	0,94bc±0,03
7313	0,9cd±0,01	Alcalá	0,92bc±0,01
7371-2	0,89d±0,03	7371-2	0,90c±0,01

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$). Los valores son expresados como la media \pm desviación estándar ($n = 100$).

Fuente: Esta Investigación

La esfericidad de los granos de arveja aumenta, al incrementarse el porcentaje de humedad, estos resultados son similares a los publicados por Yalcin *et al.* (2006) en arveja, Altuntas *et al.* (2007) en haba, Solugubik *et al.* (2012) en cebada y Cetin (2007) en Frijol. Sin embargo la variedad Alcalá es el único material en el que la esfericidad disminuyó con 3,16%, resultados similares a los publicados por Sahoo y Srivastava (2002). Estos resultados posiblemente se deben al incremento del ancho y espesor del grano durante el aumento de la humedad. En el caso de la línea 7324, en la que la esfericidad supera el valor de 1 en el estado hidratado, se debe a que posiblemente valores como el espesor y el ancho, especialmente este último, superan el largo del grano (Tabla 14).

Tabla 14. Porcentaje de incremento en el valor de esfericidad de estado seco a rehidratado.

Material	Esfericidad		
	seco	Hidratado	Incremento %
7324	0,92	1,02	10,87
Sureña	0,91	0,98	7,69
7336	0,91	0,96	5,49
7313	0,9	0,94	4,44
7143-2	0,92	0,96	4,35
7371-2	0,89	0,9	1,12
Alcalá	0,95	0,92	-3,16

Fuente: Esta Investigación

6.1.5 Peso de mil granos en estado seco y rehidratado. Al realizar el análisis de varianza para el peso de mil granos secos y rehidratados, se encontraron diferencias significativas entre los materiales (p -valor < 0.05) (Tabla 15). La comparación de medias de Tukey para granos secos permitió identificar cinco grupos (Tabla 16), de los cuales la línea 7324 y la línea 7336, presentaron el mayor promedio, con un valores de $400,43 \pm 3,21$ y $389,55 \pm 3,59$ gramos respectivamente, mientras que la variedad Alcalá presentó el menor valor ($324,63 \pm 3,43$ gramos) formando un solo grupo. En el caso de los granos rehidratados, se formaron tres grupos (Tabla 16), de los cuales la línea 7371-2 presento el menor promedio, con un valor de $595.59 \pm 7,98$ gramos formando un solo grupo; por otra parte las líneas 7313 y la variedad Sureña con promedios $677,13 \pm 6,83$ y $676,96 \pm 6,23$ gramos respectivamente ocuparon los mayores valores.

Tabla 15. Análisis de Varianza para peso de mil granos en estado seco y rehidratado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Material seco					
Covariable					
% HUMEDAD	7163,11	1	7163,11	140,11	0,0000
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	10619,6	6	1769,94	34,62	0,0000
RESIDUOS	3169,69	62	51,12		
Total (Corr.)	90670,8	69			
Material Rehidratado					
Covariable					
% HUMEDAD	4014,83	1	4014,83	137,46	0,0000
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	23833,4	6	3972,24	136,00	0,0000
RESIDUOS	1810,87	62	29,21		
Total (Corr.)	122245	69			

Fuente: Esta Investigación

Tabla 16. Prueba de Múltiples Rangos por material para peso de 1000 granos en estado seco y rehidratado. Método: 95, porcentaje Tukey HSD.

Seco		Rehidratado	
Material	Peso de mil granos	Material	Peso de mil granos
7324	400,43 ^a ±3,21	7313	677,13 ^a ±6,83
7336	389,55 ^b ±3,59	Sureña	676,96 ^a ±6,23
Sureña	388,83 ^b ±7,43	7324	675,45 ^a ±6,55
7313	381,29 ^{bc} ±3,26	Alcalá	674,13 ^a ±7,52
7371-2	376,35 ^c ±4,36	7143-2	669,77 ^a ±7,32
7143-2	361,14 ^d ±1,25	7336	647,29 ^b ±9,25
Alcalá	324,63 ^e ±3,43	7371-2	595,59 ^c ±7,98

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$). Los valores son expresados como la media \pm desviación estándar ($n = 10$).

Fuente: Esta Investigación

El peso de mil granos aumenta en cada uno de los materiales evaluados cuando el contenido de humedad se incrementa (Tabla 17). Similares resultados fueron encontrados por Yalcin *et al.* (2007) en semillas de Arveja, Singh *et al.* (2005) en semillas de Granada (Arandana), Pradam *et al.* (2008) en *Jatropha* y Sessiz *et al.* (2005) en Alcaparras. La línea 7324 en material seco y la línea 7313 en material rehidratado presentaron los valores más altos para esta propiedad con valores de $400,43 \pm 3,21$ y $677,13 \pm 6,83$ gramos respectivamente, respecto al resto de materiales evaluados, sin embargo el mayor incremento de peso durante la hidratación lo obtuvo la variedad Alcalá con un 107,66%, seguido de la línea 7143-2 con un incremento de 85,46%. Por su parte la línea 7371-2 obtuvo el menor incremento 58,25%.

Tabla 17. Porcentaje de incremento en el valor de peso de mil granos de estado seco a rehidratado.

Material	Peso de mil granos		
	seco	Hidratado	Incremento %
Alcalá	324,63	674,13	107,66
7143-2	361,14	669,77	85,46
7313	381,29	677,13	77,59
Sureña	388,83	676,96	74,10
7324	400,43	675,45	68,68
7336	389,55	647,29	66,16
7371-2	376,35	595,59	58,25

Fuente: Esta Investigación

6.1.6 Densidad bulk (a granel), densidad verdadera y porosidad en estado seco y rehidratado

6.1.6.1 Densidad bulk. Al realizar el análisis de varianza para la densidad aparente de los materiales en estado seco y rehidratado, se encontró que existen diferencias significativas (p -valor < 0.05) (Tabla 18). La comparación de medias de Tukey para estado seco, permitió identificar cinco grupos (Tabla 19), de los cuales la variedad Alcalá presentó el mayor promedio, con un valor de $964,78 \pm 3,30$ Kg/m³, seguida de la variedad Sureña con un Valor de $952,86 \pm 1,75$ Kg/m³, mientras que las líneas 7143-2, 7336 y 7324 presentaron los valores más bajos, $899,28 \pm 6,25$; $893,06 \pm 2,53$ y $890,23 \pm 4,12$ Kg/m³ respectivamente. En el caso de los materiales rehidratados, se formaron cuatro grupos (Tabla 19), en los cuales la línea 7371-2 presentó el mayor promedio, con un valor de $772,54 \pm 9,53$ Kg/m³. La línea 7336 presentó el menor promedio con un valor de $738,74 \pm 5,86$ Kg/m³.

Tabla 18. Análisis de varianza para densidad aparente en estado seco y rehidratado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Material seco					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,03	1	0,03	0,00	0,9592
EFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	55516,7	6	9252,78	699,97	0,0000
TOTAL (CORREGIDO)	59917,8	69			
Material Húmedo					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	92,41	1	92,41	1,53	0,2209
EFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	5966,36	6	994,39	16,45	0,0000
TOTAL (CORREGIDO)	12759,40	69			

Fuente: Esta Investigación

Tabla 19. Prueba de múltiples rangos densidad aparente de granos en estado seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

seco		rehidratado	
Material	Densidad a granel	Material	Densidad a granel
Alcalá	964,78 ^a ±3,30	7371-2	772,54 ^a ±9,53
Sureña	952,86 ^b ±1,75	7313	755,83 ^b ±5,64
7371-2	948,11 ^b ±2,71	7143-2	752,3b ^c ±8,46
7313	913,08 ^c ±2,71	Alcalá	749,09b ^{cd} ±4,64
7143-2	899,28 ^d ±6,25	Sureña	749,06b ^{cd} ±7,33
7336	893,06 ^e ±2,53	7324	742,62 ^{cd} ±8,11
7324	890,23 ^e ±4,12	7336	738,74 ^d ±5,86

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$). Los valores son expresados como la media \pm desviación estándar ($n = 10$).

Fuente: Esta Investigación

6.1.6.2 Densidad Verdadera. Al realizar el análisis de varianza para la densidad verdadera en estado seco y rehidratado, se encontró que existen diferencias significativas entre materiales (p -valor < 0.05) (Tabla 20). La comparación de medias de Tukey para estado seco, permitió identificar tres grupos (Tabla 21), de los cuales las líneas 7371-2 y 7336 presentaron el mayor promedio, con valores de $1276,25 \pm 13,73$ y $1272,38 \pm 11,15$ Kg/m³ respectivamente, por su parte la línea 7143-2 presentó el menor promedio con un valor de $1218,35 \pm 13,55$ Kg/m³. En el caso de los materiales rehidratados se formaron cinco grupos (Tabla 21), de los cuales el primero lo conforman la línea 7371-2 y la línea 7313 con los mayores promedios $1079,90 \pm 12,53$ y $1075,41 \pm 9,97$ Kg/m³ respectivamente. Por su parte la Variedad Alcalá presentó el menor promedio con un valor de $1059,93 \pm 10,57$ Kg/m³ formando un solo grupo.

Tabla 20. Análisis de varianza para densidad verdadera de granos en estado seco y rehidratado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Material Seco					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,23	1	0,23	0,00	0,9720
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	25724,4	6	4287,4	23,45	0,0000
TOTAL (CORREGIDO)	42124,2	69			
Material Rehidratado					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	113,53	1	113,53	0,48	0,4892
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	82904,6	6	13817,4	58,90	0,0000
TOTAL (CORREGIDO)	124463	69			

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 21. Prueba de múltiples rangos por material para densidad verdadera de granos en estado seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

Seco		Rehidratado	
Material	Densidad verdadera	Material	Densidad verdadera
7371-2	1276,25 ^a ±13,73	7371-2	1079,90 ^a ±12,53
7336	1272,38 ^a ±11,15	7313	1075,41 ^{ab} ±9,97
Alcalá	1238,99 ^b ±14,46	Sureña	1074,54 ^b ±9,49
7313	1236,23 ^{bc} ±11,81	7336	1076,68 ^c ±13,53
7324	1236,06 ^{bc} ±12,51	7143-2	1062,06 ^d ±14,18
Sureña	1222,3 ^{bc} ±12,06	7324	1060,02 ^d ±13,89
7143-2	1218,35 ^c ±13,55	Alcalá	1059,93 ^e ±10,57

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$). Los valores son expresados como la media \pm desviación estándar ($n = 10$).

Fuente: Esta Investigación

6.1.6.3 Porosidad. Al realizar el análisis de varianza para porosidad en estado seco y rehidratado, se encontró que existen diferencias significativas entre los materiales evaluados (p -valor $< 0,05$) (Tabla 22). La comparación de medias de Tukey, para estado seco, permitió identificar tres grupos (Tabla 23), de los cuales la línea 7313 presentó el mayor promedio, con un valor de $28,84 \pm 0,60\%$, comportándose estadísticamente igual a la variedad Sureña y las líneas 7371-2 y 7336 con promedios de $28,52 \pm 0,85\%$, $27,89 \pm 0,79\%$ y $27,04 \pm 0,78\%$ respectivamente; el menor promedio lo ocupó la variedad Alcalá con un valor de

21.40±1%. Para el caso granos rehidratados se formaron dos grupos (Tabla 23), de los cuales las líneas 7336 y 7324, presentaron los mayores promedios, con valores de 30.69±1,24%, 30.32±1,41% respectivamente, mientras que la línea 7371-2 y la variedad Alcalá presentaron los menores promedios con valores de 29,23±1,43% y 28,99±1,11% respectivamente.

Tabla 22. Análisis de varianza para porosidad de granos en estado seco y rehidratado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Material Seco					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,001	1	0,001	0,00	0,9759
EFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	404,952	6	67,492	99,92	0,0000
TOTAL (CORREGIDO)	527,641	69			
Material Rehidratado					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	2,849	1	2,849	1,78	0,1871
EFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	345,633	6	57,605	35,97	0,0000
TOTAL (CORREGIDO)	492,232	69			

Fuente: Esta Investigación

Tabla 23. Prueba de múltiples mangos por material para porosidad de granos en estado seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

Seco		Rehidratado	
Material	Porosidad	Material	Porosidad
7313	28,84 ^a ±0,60	7336	30,69 ^a ±1,24
Sureña	28,52 ^a ±0,85	7324	30,32 ^a ±1,41
7371-2	27,89 ^a ±0,79	7143-2	30,22 ^a ±1,45
7336	27,04 ^a ±0,78	7313	30,12 ^a ±1,26
7324	24,64 ^b ±0,69	Sureña	29,52 ^b ±0,93
7143-2	24,12 ^b ±0,93	7371-2	29,23 ^b ±1,43
Alcalá	21,40 ^c ±1	Alcalá	28,99 ^b ±1,11

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$). Los valores son expresados como la media ± desviación estándar (n= 10).

Fuente: Esta Investigación

La densidad aparente y la densidad verdadera decrecen mientras que la porosidad se incrementa, al aumentar la humedad en el material evaluado (Tabla 11). Similares resultados fueron encontrados por Aydin (2002) en Avellanas, Visvanathan *et al.* (1996) en Neem, Aviara *et al.* (1999) en semillas de Guna, Sahoo y Srivastava (2002) en semillas de Okra, Abalone *et al.* (2004) en Amaranto, Amin *et al.* (2004) en lenteja, Dursun y Dursun (2005) en alcaparra, Karababa (2004) en maíz reventón, Nimkar *et al.* (2005) en moth gram, Garnayak *et al.* (2008) en Jatropha, Plange y Baryeh (2003) en Cacao, Amin *et al.* (2004) en lenteja y Yalcin *et al.* (2006) en arveja. La reducción de la densidad aparente con la humedad del grano podría atribuirse a que este parámetro físico representa el peso de un hectolitro de grano incluyendo el volumen de aire que encierran los espacios intergranulares, siendo el porcentaje en volumen de aire intergranario superior en los granos de mayor tamaño y humedad por poseer menor capacidad de compactación que los pequeños y secos (Ordoñez *et al.*, 2011). La densidad a granel es importante en el diseño de sistemas de almacenaje, empaque, deshidratación y transporte (Walther, 1977; Chung y Ho Lee, 1985; Mohsenin, 1986).

La variedad Alcalá se destaca como el material que ocupó los mayores valores de densidad Aparente en estado seco ($964,78 \pm 3,30 \text{ kg/m}^3$) y el mayor incremento en porosidad 35,47%, para el estado rehidratado la línea 7371-2 ocupó el mayor promedio con un valor de ($772.54 \pm 9,53 \text{ kg/m}^3$). En el caso de la densidad verdadera la línea 7371-2 presentó el mayor valor, por encima de los testigos (Alcalá y Sureña) tanto para estado seco ($1276.25 \pm 13,73 \text{ kg/m}^3$) y en estado rehidratado ($1079.9 \pm 12,53 \text{ kg/m}^3$) y así mismo el menor porcentaje de disminución con un valor de 15,38%. La línea 7313 presentó el mayor valor de porosidad en estado seco $28,84 \pm 0,60\%$ en comparación con los testigos, mientras que la variedad 7336 presentó el valor más alto en estado rehidratado con un valor de $30,69 \pm 1,24\%$. La variedad Sureña presentó el menor incremento de porosidad con un valor de 3,51%.

Los resultados de porosidad fueron similares a los reportados por Sologubik *et al.* (2012) en cebada, Cetin (2007) en Frijol, Calisir *et al.* (2004) en Colza, Vilche *et al.* (2003) en Quinoa, Plange y Baryeh (2003) en cacao, Singh y Goswami (1996) en comino, Altuntas y Yildiz (2007) en haba, Aviara *et al.* (1999) en semillas de Guna, Abalone *et al.* (2004) en Amaranto, Aviara *et al.* (1999) en semillas de Guna, Amin *et al.* (2004) en lenteja, Aydin (2002) en avellanas, Karababa (2006) en Popcorn, Ogut (1998) en Lupino blanco, Cetin (2007) en frijol variedad "Barbunia", Coskuner y Karababa (2007) en cilantro, Garnayak *et al.* (2008) en Jatropha, Selvin *et al.* (2006) en Linseed, Coskun *et al.* (2006) en maíz dulce, Solomon y Zewdu (2008) en semillas de Niger, Gupta y Das (1997) en girasol, Amin *et al.* (2004) en lenteja. Estos resultados posiblemente se dan, ya que al incrementar el tamaño de los granos, también se incrementa el tamaño del espacio que queda entre estos.

Tabla 24. Porcentaje de incremento en el valor de densidad aparente, densidad verdadera y porosidad de estado seco a rehidratado.

Material	Densidad aparente			Densidad verdadera			Porosidad		
	Seco	Rehidratado	Disminución %	Seco	Rehidratado	Disminución %	Seco	Rehidratado	Incremento %
Alcalá	964,78	749,09	22,36	1238,99	1059,93	14,45	21,4	28,99	35,47
Sureña	952,86	749,06	21,39	1222,3	1074,54	12,09	28,52	29,52	3,51
7371-2	948,11	772,54	18,52	1276,25	1079,9	15,38	27,89	29,23	4,80
7336	893,06	738,74	17,28	1272,38	1076,68	15,38	27,04	30,69	13,50
7313	913,08	755,83	17,22	1236,23	1075,41	13,01	28,84	30,12	4,44
7324	890,23	742,62	16,58	1236,06	1060,02	14,24	24,64	30,32	23,05
7143-2	899,28	752,3	16,34	1218,35	1062,06	12,83	24,12	30,22	25,29

Fuente: Esta Investigación

6.1.7 Coeficiente de fricción: Determinado en acero y aluminio en estado seco y rehidratado.

6.1.7.1 Coeficiente de fricción en acero. Al realizar el análisis de varianza para el coeficiente de fricción determinado en Acero, para los granos secos y rehidratados, se encontró que existen diferencias significativas entre los materiales evaluados (p -valor < 0.05) (Tabla 25). La comparación de medias de Tukey, para los granos secos, permitió identificar cinco grupos (Tabla 26), de los cuales las líneas 7371-2 presentó el mayor promedio, con un valor de $0.20 \pm 0,01$, comportándose estadísticamente igual a la variedad sureña, mientras que la variedad Alcalá presentó el menor promedio con un valor de $0.17 \pm 0,01$. En el caso de los granos rehidratados se formaron tres grupos (Tabla 26), de los cuales, la Variedad Sureña presento el mayor promedio, con un valor de $0.35 \pm 0,01$ comportándose estadísticamente igual a la línea 7143 -2, mientras que la línea 7313 presentó el menor promedio con un valor de $0.27 \pm 0,01$. Se puede observar que el mayor incremento en el coeficiente de fricción en acero es para la línea 7143-2 con un valor de 88,89%, mientras que el menor valor lo obtuvo la línea 7313 con 42,11% (tabla 22).

Tabla 25. Análisis de varianza para coeficiente de fricción determinado en acero para material seco y rehidratado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Material Seco					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,000	1	0,0001	0,02	0,8973
EFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	0,002	6	0,0004	5,16	0,0002
TOTAL (CORREGIDO)	0,013	69			
Material Rehidratado					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,292	1	0,2917	0,14	0,7134
EFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	51,949	6	8,6582	4,04	0,0018
TOTAL (CORREGIDO)	185,982	69			

Fuente: Esta Investigación

Tabla 26. Prueba de múltiples rangos para coeficiente de fricción determinado en acero para material en estado seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

Seco		Rehidratado	
Material	Coefficiente de fricción en acero	Material	Coefficiente de fricción en acero
7371-2	0,20 ^a ±0,01	Sureña	0,35 ^a ±0,01
Sureña	0,20 ^{ab} ±0,00	7143-2	0,34 ^a ±0,01
7324	0,19 ^{abc} ±0,01	Alcalá	0,32 ^b ±0,01
7313	0,19 ^{bcd} ±0,01	7336	0,31 ^b ±0,01
7336	0,18 ^{cd} ±0,01	7371-2	0,31 ^b ±0,01
7143	0,18 ^d ±0,01	7324	0,31 ^b ±0,01
Alcalá	0,17 ^e ±0,01	7313	0,27 ^c ±0,01

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$). Los valores son expresados como la media \pm desviación estándar ($n = 10$).

Fuente: Esta Investigación

6.1.7.1 Coeficiente de Fricción en Aluminio. Al realizar el análisis de varianza para el coeficiente de fricción determinado en Aluminio, para material seco y rehidratado, se encontró que existen diferencias significativas entre los materiales evaluados (p -valor < 0.05) (Tabla 27). La comparación de medias de Tukey, para material seco, permitió identificar cuatro grupos (Tabla 28), de los cuales la variedad sureña presentó el mayor promedio, con un valor de $0.28 \pm 0,01$, comportándose estadísticamente igual a las líneas 7324, 7371-2 y 7313, por su parte la línea 7336 presentó el menor promedio con un valor de $0.23 \pm 0,01$. En el caso del material rehidratado, se formaron tres grupos (Tabla 28), de los cuales la variedad sureña presentó el mayor promedio, con un valor de $0.43 \pm 0,01$, comportándose estadísticamente igual a la línea 7143-2, por su parte la línea 7336 presentó el menor promedio con un valor de $0.35 \pm 0,01$. Se puede observar que el mayor incremento en el coeficiente de fricción en aluminio es para la línea 7143-2 con un valor de 68,00% (tabla 29).

Tabla 27. Análisis de varianza para coeficiente de fricción determinado en aluminio para material seco y rehidratado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Material Seco					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,000	1	0,000	0,15	0,6990
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	0,015	6	0,002	18,98	0,0000
TOTAL (CORREGIDO)	0,023	69			
Material Rehidratado					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,000	1	0,000	0,54	0,4662
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	0,043	6	0,007	52,34	0,0000
RESIDUOS	0,009	62	0,000		
TOTAL (CORREGIDO)	0,052	69			

Fuente: Esta Investigación

Tabla 28. Prueba de múltiples rangos para coeficiente de fricción determinado en aluminio para material en estado seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

Seco		Rehidratado	
Material	Coeficiente de fricción en aluminio	Material	Coeficiente de fricción en aluminio
Sureña	0,28 ^a ±0,01	Sureña	0,43 ^a ±0,01
7324	0,28 ^a ±0,01	7143-2	0,42 ^a ±0,01
7371-2	0,27 ^{ab} ±0,01	7313	0,38 ^b ±0,01
7313	0,27 ^{ab} ±0,01	7324	0,37 ^b ±0,01
Alcalá	0,26 ^{bc} ±0,01	Alcalá	0,37 ^b ±0,01
7143-2	0,25 ^c ±0,01	7371-2	0,37 ^b ±0,01
7336	0,23 ^d ±0,01	7336	0,35 ^c ±0,01

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$). Los valores son expresados como la media \pm desviación estándar ($n = 10$).

Fuente: Esta Investigación

El coeficiente estático de fricción evaluado en los siete materiales de arveja en las superficies Aluminio y Acero, incrementó proporcionalmente con el cambio en el porcentaje de humedad (Tabla 29) Estos resultados son similares a los reportados por Pradham *et al.* (2008) en *Jatropha* encontrando un aumento de (0,46-0,75, 62,88%) para acero y (0,45-0,60, 34,82%) para aluminio, cuando el contenido de humedad aumentó de 7,97% a 23,33%, Isik y Unal (2007) para frijol Variedad “Barbunia”, acero (0,325-0,404, 24,45 %), aluminio (0,272-0,333, 22,42%), así se encontraron incrementos en otros estudios, Amine *et al.* (2003) en trigo, Karababa (2006) en maíz, Kingsly *et al.* (2006) en Granada, Solugubik *et al.* (2012) en Cebada, Cetin (2007) en Frijol Y Calsir *et al.* (2004) en colza. El aumento del coeficiente de fricción a mayor contenido de humedad puede ser debido a que el agua presente en las partículas ejerce una fuerza de cohesión en la superficie de contacto (Pradhan *et al.*, 2008). El coeficiente de fricción es importante para determinar las pérdidas de potencia debidas a la fricción con las superficies de los equipos y disminución de daños mecánicos (Ospina, 2001). Rojas, (2010), manifiesta que los materiales de caucho y pvc ejercen una mayor fuerza tangencial, lo cual requerirá de mayor esfuerzo en los sistemas de transporte de la semilla, siendo menos eficiente, con mayor consumo de energía y un flujo de masa unitaria reducida, mientras que los materiales de acero inoxidable, lona, hierro galvanizado y aglomerado de madera serian los materiales adecuados en los sistemas de transporte por que presentan menores fuerzas tangenciales, dando mejor eficiencia en el flujo de la masa unitaria. De otra parte para sistemas de transporte por bandas transportadoras las superficies más adecuadas son las que tienen mayor coeficiente de fricción.

Tabla 29. Porcentaje de incremento en el valor de coeficiente de fricción en acero y en aluminio de estado seco a rehidratado.

Material	Coeficiente de fricción en acero			Coeficiente de fricción en aluminio		
	Seco	Hidratado	Incremento %	Seco	Hidratado	Incremento %
7143-2	0,18	0,34	88,89	0,25	0,42	68,00
Alcalá	0,17	0,32	88,24	0,26	0,37	42,31
Sureña	0,20	0,35	75,00	0,28	0,43	53,57
7336	0,18	0,31	72,22	0,23	0,35	52,17
7324	0,19	0,31	63,16	0,28	0,37	32,14
7371-2	0,20	0,31	55,00	0,27	0,37	37,04
7313	0,19	0,27	42,11	0,27	0,38	40,74

Fuente: Esta Investigación

6.1.8 Ángulo de reposo en material seco y rehidratado. Al realizar el análisis de varianza para el ángulo de reposo, en material seco y rehidratado, se encontró que existen diferencias significativas entre los materiales evaluados (p -valor < 0.05) (Tabla 30). La comparación de medias de Tukey, para material seco, permitió identificar dos grupos (Tabla 31), de los cuales la línea 7336 presentó el mayor promedio, con un valor de $21.74 \pm 1,89$, comportándose estadísticamente igual a la variedad Alcalá y las líneas 7143-2, 7324 y 7371-2, por su parte la variedad sureña presentó el menor promedio con un valor de $18,11 \pm 1,09$, comportándose estadísticamente igual a la línea 7313. En el caso del material rehidratado se formaron dos grupos (Tabla 31), de los cuales la Variedad sureña presentó el mayor promedio, con un valor de $30.56 \pm 1,13$, comportándose estadísticamente igual a las líneas 7313, 7143-2 y 7336. Por su parte la línea 7324 presentó el menor promedio con un valor de $27.87 \pm 1,11$. Se puede observar que el mayor incremento en el ángulo de reposo es para la variedad Sureña con un valor de 68,75%, mientras que el menor lo ocupa la variedad Alcalá con 31,97% (tabla 32).

Tabla 30. Análisis de varianza para coeficiente de ángulo en reposo de material seco y rehidratado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Material Seco					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,152	1	0,152	0,12	0,7354
EFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	97,608	6	16,268	12,32	0,0000
RESIDUOS	81,851	62	1,320		
TOTAL (CORREGIDO)	194,957	69			
Material Rehidratado					
COVARIABLES					
% HUMEDAD	0,292	1	0,292	0,14	0,7134
EFECTOS PRINCIPALES					
A:LINEAS	51,949	6	8,658	4,04	0,0018
RESIDUOS	132,827	62	2,142		
TOTAL (CORREGIDO)	185,982	69			

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 31. Prueba de múltiples rangos para ángulo en reposo de material seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

Seco		Rehidratado	
Material	Ángulo de reposo	Material	Ángulo de reposo
7336	21,74 ^a ±1,89	Sureña	30,56 ^a ±1,13
Alcalá	21,46 ^a ±0,96	7313	29,42 ^{ab} ±0,63
7143-2	21,39 ^a ±0,64	7143-2	29,4 ^{ab} ±1,29
7324	20,91 ^a ±0,52	7336	28,96 ^{ab} ±1,12
7371-2	20,2 ^a ±1,21	Alcalá	28,32 ^b ±2,94
7313	18,41 ^b ±1,12	7371-2	28,16 ^b ±0,58
Sureña	18,11 ^b ±1,09	7324	27,87 ^b ±1,11

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$). Los valores son expresados como la media \pm desviación estándar ($n = 10$).

Fuente: Esta Investigación

El Ángulo de Reposo aumenta, al incrementar la humedad (Tabla 32), estos resultados son similares a los reportados por, Aydin (2002) en Avellanas, Pradham *et al.* (2008) en Jatropha, Sessiz *et al.* (2006) en alcaparras, Amin *et al.* (2003) en lentejas, Karimi *et al.* (2009) en trigo, Dursun y Dursun (2005) en alcaparra, Bart-Plange y Baryeh (2003) en cacao, Singh y Goswami (1996) en comino, Altuntas y Yildiz (2007) en haba, Aviara *et al.* (1999) en Guna seed, Visvanathan *et al.* (1996) en Neem, Sahoo y Srivastava (2002) en Okra seed, Karababa (2006) en Popcorn, Altuntas *et al.* (2005) en Fenugreek, Coskuner y Karababa (2007) en cilantro, Garnayak *et al.* (2008) en Jatropha, Selvin *et al.* (2006) en Linseed, Nimkar *et al.* (2005) en moth gran, Solomon y Zewdu (2008) en semillas de Niger y Solugubik *et al.* (2012) en Cebada. Esta tendencia podría ser debido al hecho que la humedad en la capa superficial del grano los mantiene unidos entre sí por efecto de tensión superficial (Pradhan *et al.*, 2008). Los datos obtenidos para el ángulo de reposo indican que las partículas poseen libre fluidez ya que no superan los 35°; la variedad sureña con 18,11±1,09° en estado seco posee el valor mínimo, mientras tanto en estado rehidratado la misma variedad posee el valor máximo 30,56±1,13° esto significa que hay mayor resistencia al flujo de las partículas.

Tabla 32. Porcentaje de incremento en el valor de ángulo de reposo de estado seco a rehidratado.

Material	Ángulo de reposo		
	seco	Hidratado	Incremento %
Sureña	18,11	30,56	68,75
7313	18,41	29,42	59,80
7371-2	20,2	28,16	39,41
7143-2	21,39	29,4	37,45
7324	20,91	27,87	33,29
7336	21,74	28,96	33,21
Alcalá	21,46	28,32	31,97

Fuente: Esta Investigación

6.1.9 Color. Al realizar el análisis de varianza para índice de color, en material seco y rehidratado para las variedades Alcalá, Sureña y la línea 7336, se encontró que existen diferencias significativas (p -valor < 0.05), mientras tanto para las líneas 7313, 7324, 7371-2, 7143-2, no existen diferencias significativas (p -valor > 0.05) (tabla 33).

Tabla 33. Análisis de Varianza para el índice de color en los materiales evaluados tanto en estado seco como rehidratado.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Alcalá					
Entre grupos	0,059136	1	0,059136	8,37	0,0201
Intra grupos	0,056498	8	0,00706		
Total (corr)	0.115635	9			
Sureña					
Entre grupos	0,01089	1	0,01089	57,15	0,0001
Intra grupos	0,001524	8	0,00019		
Total (corr)	0,012414	9			
7336					
Entre grupos	0,03249	1	0,03249	18,46	0,0026
Intra grupos	0,014082	8	0,00176		
Total (corr)	0,046572	9			
7313					
Entre grupos	0,000194	1	0,000194	0,08	0,7842
Intra grupos	0,019301	8	0,002413		
Total (corr)	0,019494	9			
7324					
Entre grupos	0,044489	1	0,044489	0,55	0,4782
Intra grupos	0,64298	8	0,080373		
Total (corr)	0.68747	9			
7371-2					
Entre grupos	0,0000049	1	0,0000049	0,00	0,9887
Intra grupos	0,185203	8	0,0231504		
Total (corr)	0,185208	9			
7143-2					
Entre grupos	0,0183184	1	0,0183184	0,74	0,4135
Intra grupos	0,197013	8	0,0246267		
Total (Corr.)	0,215332	9			

Fuente: Esta Investigación

Los resultados observados para color en la (Tabla 33), expresan el comportamiento de las medias de la variable entre las variedades y líneas analizadas en una prueba de Tukey al 95% de confiabilidad, los datos no presentan diferencias significativas para las líneas 7313, 7324, 7371-2, 7143-2; tanto en estado seco como rehidratado en el mismo material, sin embargo entre las variedades Alcalá, Sureña y 7336, si hay diferencias.

Tabla 34. Colorimetría entre las variedades Alcalá, Sureña y cinco líneas de arveja prueba de múltiples rangos de material seco y rehidratado. Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD.

Línea y/o variedad	L	A	B	IC	D.E	CV
S7313	54,128	-0,744	13,988	-0,983±0.052 ^a		5,292
R7313	54,124	-0,740	14,040	-0,974±0.046 ^a		4,772
S7324	44,410	11,194	23,830	10,582±0.394 ^a		3,725
R7324	44,484	11,090	23,860	10,449±0.072 ^a		0,694
SAIcala	52,112	7,340	21,654	6,505±0.105 ^a		1,614
RAIcala	52,124	7,562	21,786	6,659±0.056 ^b		0,843
S7336	47,176	1,436	17,162	1,774±0.032 ^a		1,824
R7336	47,216	1,340	17,094	1,660±0.049 ^b		3,008
S7371-2	53,510	8,730	21,386	7,630±0.149 ^a		1,947
R7371-2	53,514	8,734	21,398	7,629±0.155 ^a		2,036
SSureña	45,554	-0,066	15,190	-0,095±0.008 ^a		7,942
RSureña	45,550	-0,112	15,216	-0,162±0.018 ^b		11,212
S7143-2	41,526	3,354	17,372	4,650±0.072 ^a		1,551
R7143-2	41,486	3,284	17,364	4,564±0.209 ^a		4,594

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P \geq 0,05$). (S: seco, R: rehidratado). Los valores son expresados como la media \pm desviación estándar ($n= 5$).

Fuente: Esta Investigación

Según Vignoni *et al.* (2006), cuando el índice de color (IC) se encuentra entre (-2 a +2) representa el amarillo verdoso, por lo cual la línea 7313, 7336 y variedad sureña estarían dentro de este rango de color (tabla 34), y cuando IC está entre (+2 a + 20) relaciona los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso, por lo cual la línea 7143-2, la variedad Alcalá, la línea 7371-2 y 7324 en su orden irían desde el amarillo pálido al naranja intenso. Lo anterior concuerda con los intervalos hechos por Artes (2007), Cuando el índice de color se encuentra entre (-7 y 0) toma una coloración verde amarillosa; entre (0 y 7) coloración anaranjada y mayor que 7 coloración anaranjada intensa.

se puede observar que, en general, la luminosidad resultó alta para la línea 7313, 7371-2 y la variedad Alcalá con valores de 54,128, 54,124; 53,510, 53,514; 52.112, 52.124 tanto en estado seco como rehidratado respectivamente y en contraste la línea que menor luminosidad tiene es la 7143-2 con un valor de 41,526 y 41.486 tanto en estado seco como rehidratado. En cuanto a los valores de a y b la línea 7313 y la variedad Sureña presentaron valores negativos para el parámetro a indicando una tendencia de color verde y la 7324 presento el valor máximo en el parámetro b, indicando una tendencia de color amarillo.

CONCLUSIONES

La humedad tiene efecto significativo en los siete materiales de arveja evaluados con incrementos para, esfericidad, diámetro medio aritmético y diámetro medio geométrico, peso de mil granos, porosidad, coeficiente de fricción tanto en acero como en aluminio, ángulo de reposo, color, a excepción de densidad aparente como densidad verdadera que tuvieron una disminución.

El índice de hidratación es usado como indicador de la retención del agua, las que líneas que mejor comportamiento tuvieron son la 7324 y 7371-2 con índice de hidratación de $0,97\pm 0,07$ y $0,93\pm 0,04$, respectivamente para un tiempo de 14 horas. A excepción de la variedad Alcalá que no es estadísticamente diferente en los tiempos de rehidratación durante las 10, 12 y 14 horas, podríamos decir que posee un endospermo suave.

La variedad Alcalá y las líneas 7324, 7371-2, 7143-2 con promedios en índices de hidratación de $0,89\pm 0,07$, $0,88\pm 0,10$, $0,88\pm 0,07$, $0,86\pm 0,05$ al cabo de 10, 12 y 14 horas podrían tener un potencial para la innovación en embutidos, productos en polvo, aderezos, etc.; por poseer los mayores índices de hidratación.

El tamaño esta directamente relacionado con el peso de mil semillas; es el caso de la variedad Alcalá con 107,66% de incremento en el peso de mil semillas de estado seco a rehidratado y a la vez ocupó el mayor promedio de diámetro aritmético tanto en estado seco como rehidratado con valores de $8,1\pm 0,31$ y $10,13\pm 0,33$ mm respectivamente. Teniendo en cuenta que para los sistemas de transporte las partículas que tienen menor coeficiente de fricción estático, dan mejor eficiencia en el flujo de la masa unitaria; las líneas que mejor comportamiento tuvieron en acero tanto en seco como en rehidratado fueron, variedad Alcalá $0,17\pm 0,01$ y línea 7313 con $0,27\pm 0,01$ y en aluminio línea 7336 $0,23\pm 0,01$ y $0,35\pm 0,01$ respectivamente. Al evaluar ángulo de reposo se encontró que los valores no superan lo 35° , si se tienen en cuenta que entre menor sea el ángulo más fácil se deslizan las partículas, la que mejor comportamiento posee en estado seco sería la variedad Sureña con $18,11^\circ$ y en estado rehidratado la línea 7324 con $27,87^\circ$. Los parámetros L, a, y b que proporcionan la información para el índice de color serían importantes a la hora de evaluar la calidad de los granos de arveja en posteriores tratamientos a desarrollar.

RECOMENDACIONES

Enfocar investigaciones en cuanto al procesamiento y aprovechamiento de los materiales de arveja estudiados, teniendo en cuenta el componente interdisciplinario con profesionales de agronomía y otras carreras afines a la agroindustria que permitan evaluar que material presenta características mejoradas en cuanto a adaptabilidad, resistencia a plagas y enfermedades, componentes de rendimiento como germinación, número de vainas, número de granos, etc. Esto permitirá contribuir con una mejor calidad de vida y mayor productividad con todos los agricultores a nivel nacional, departamental y regional. Ampliar la investigación en diferentes rangos de humedades para analizar su comportamiento de cada una de las variables estudiadas y buscar el empleo de nuevas tecnologías, una de ellas el ultrasonido (US) basado en la ventaja que representa sobre los procesos tradicionales, al reducir tiempos de proceso y mejorar atributos de calidad. Además es considerada una tecnología limpia y de gran potencial de aplicación en procesos como rehidratación, entre otros.

Realizar estudios en las variables bromatológicas para determinar materia seca, ceniza, grasa, fibra cruda, proteína, etc. Por la razón de que estas variables nos permiten cumplir con los requerimientos básicos de comercialización y a partir de su composición estimar sus usos potenciales en la industria de alimentos con el fin de darle un valor agregado a cada material estudiado.

BIBLIOGRAFÍA

ABALONE, R.; CASSINERA, A.; GASTON, A.; LARA, M. Some Physical Properties of Amaranth Seeds. *Biosystems Engineering*, 89(1), 109–117. 2004.

AGUILAR, J. F. Análisis de los Factores que Intervienen Sobre la Resistencia al Flujo de Aire en Granos y Semillas en Operaciones de Manejo Poscosecha. *Ingeniería 17 (1)*: 113-124, ISSN: 1409-2441; San José, Costa Rica. 2006.

AGUIRRE, A.; PESKE, S. Manual para el Beneficio de Semillas. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 1988.

Aguirre, E.A y Gómez, C.A. Evaluación de las Características Fisicoquímicas en la Especie de Frijol *Phaseolus Vulgaris* de las Variedades; Pinto Saltillo, Bayo Victoria Y Negro San Luis. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, Gto. 2010.

Baranzini, R.; Lourdes, A.; Villa, F.; Refugio, M.; Barrón, Hoyos.; Silveira, G.; Rodríguez, A. Evaluación de Color del Garbanzo (*Cicer Arietinum* L.) Por Métodos Instrumentales Y Sensoriales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, vol. XIV, núm. 27, 2010.

ALVARADO, J.; AGUILERA J. Métodos para Medir Propiedades Físicas en la Industria de Alimentos. España: *Acribia*. Pp. 136-138. 2001.

AMIN, M.; HOSSAIN, M.; ROY, C. Effects of Moisture Content on Some Physical Properties of Lentil Seeds. *Journal of Food Engineering*, 65, 83–87. 2004.

AKAAIMO, D. I.; RAJI, A. O. Some Physical and Engineering Properties of (*Prosopis africana*) Seed. *Biosystems Engineering*, 95 (2), 197–205. 2006.

ALTUNTAS, E.; YILDIZ, M. Effect of Moisture Content on Some Physical and Mechanical Properties of Faba Bean (*Vicia faba* L.) Grains. *Journal of Food Engineering*, 78,174–183. 2005.

- AN, D.; ARNTFIELD, S. D.; BETA, T.; CENKOWSKI, S. Hydration Properties of Different Varieties of Canadian Field Peas (*Pisum sativum* L.) from Different Locations. *Food Research International*, 43(2), 520-525. 2010.
- ARGOTI, A. C. Las PYMES Agroindustriales de Nariño y su Aporte en el Desarrollo de la Región. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas Universidad de Nariño*, 10(1), 7-34. 2009.
- ARTES, H. F. Determinación de la Calidad y Madurez de Frutas y Hortalizas. Curso Internacional de Tecnología Poscosecha y Procesado Mínimo. Cartagena, España 1-8p. 2007.
- AYDIN, C. Physical Properties of Hazel Nuts. *Biosystems Engineering*, 82(3), 297–303. 2002.
- AVIARA, N.; GWANDZANG, M.; HAQUE, M. Physical Properties of Guna Seed. *Journal Agriculture Engineering*, 73, 105-111. 1999.
- BALASUBRAMANIAN D. Physical Properties of Raw Cashew Nut. *Journal of Agricultural Engineering*, 78 (3), 291-297. 2001.
- BALLAZ, D. *Flujo y Atascos de un Medio Granular en la Descarga de Silos* (Doctoral dissertation, Ph. D. thesis, Departamento de Física y Matemática Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra). 2005.
- BARBOSA, G.; ORTEGA, E.; JULIANO, P.; YAN, H. Food Powders Physical properties Processing and Functionality. *Food Engineering Series*; Klumer Academic, New York, pp. 55-88. 2005.
- BART-PLANGE, A.; EDWARD, A. The Physical Properties of Category B. Cocoa Beans. *Journal of Food Engineering*, 60, 219-227. 2003.
- BARYEH, E. A. Physical Properties of Bambara Groundnuts. *Journal of Food Engineering*, 47(4), 321-326. 2000.

BUITRAGO, J. Obtención de Progenies de Arveja (*Pisum sativum* L.) por Cruzamientos Convergentes y su Reacción a *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 2006.

BUITRAGO, J. Y.; DUARTE, C. J., Y SARMIENTO, A. El Cultivo de la Arveja en Colombia. Produmedios y Fondo Nacional de Leguminosas, Bogotá, 82-83. 2006.

BULENT, M.C.; YALCIN, I.; Y OZARSLAN, C. Physical Properties of Sweet Corn Seed (*Zeamays saccharata* Sturt.). *Journal of Food Engineering*, 74(4), 523-528. 2005.

BROUSSE, M.; NIETO, A.; LINARES, A.; VERGARA, M. Cinética de Adsorción de Agua en Purés Deshidratados de Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 3(1), 080-096. 2012.

CETIN, M. Physical Properties of Barbunia Bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Barbunia') seed. *Journal of Food Engineering*, 80, 353–358. 2007.

CHAPARRO, S.P.; GIL, J. H.; ARISTIZABAL, I. D. Effect of Hydration and Baking on the Physical and Functional Properties of Vitabosa Flour (*mucuna deeringiana*). *VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. págs. 133-143. 2011.

CHAVAN, U.; SHAHIDI, F.; BAL, A.; MCKENZIE, D. Physico-Chemical Properties and Nutrient Composition of Beach Pea (*Lathyrus maritimus* L.). *Food Chemistry* 66, 43-50. 1999.

CHUNG D.; HO LEE C. Physical and Thermal Properties of Grains. En: Preserving Grain Quality by Aeration and In-store Drying. *Aciar*, Malaysia, 53-62. 1985.

CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL, CCI. Manual del Exportador de Frutas, Hortalizas y Tubérculos en Colombia. Consulta: Agosto 2011. <http://www.cci.org.co/>.

CORREA, P.C.; SCHWANZ, F.; JAREN, C.; JUNIOR, P.; ARANA, I. Physical and mechanical properties in rice processing. *Journal of Food Engineering*, 79, 137–142. 2006.

COSKUN, B.; YALCIN, I.; OZARSLAN, C. Physical Properties of Sweet Corn Seed (*Zea mays saccharata* Sturt.) *Journal of Food Engineering*, 74, 523–528. 2006.

COSKUNER, Y.; KARABABA E. Physical Properties of Coriander Seed. (*Coriandrum sativum* L.) *Journal of Food Engineering*, 80, 408–416. 2007.

DURSUN, E.; DURSUN, I. Some Physical Properties of Caper Seed. *Biosystem Engineering*, 92(2), 237–245. 2005.

ENCUESTA NACIONAL AGROPECUARIA, ENA. Sistema de Información de la Oferta Agropecuaria, Forestal, Pesquera y Acuícola. Consulta: Agosto de 2011. <http://www.agronet.gov.co/agronetweb/Boletines/tabid/75/Default.spx>.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. (1998). El cultivo de la habichuela. 3ª ed Cali Litoncecoa, 2-21.

FEMENIA, A.; LEFEVRE, A. C.; THEBAUDIN, J. Y.; ROBERTSON, J.A.; BOURGEOIS, C.M. Physical and Sensory Properties of Model Foods Supplemented with Cauliflower Fiber. *Journal of Food Science*, 62, 635-639. 1997.

GARNAYAK, D.; PRADHAN R.; Naik, S.; BHATNAGAR, N. Moisture Dependent Physical Properties of Jatropha Seed (*Jatropha curcas* L.). *Industrial Crops and Products*, 27, 123–129. 2008.

GHAFOOR, M.; MISRA, N.; MAHADEVAN, K.; TIWARI, B. Ultrasound Assisted Hydration of Navy Beans (*Phaseolus vulgaris*). *Ultrasonics Sonochemistry*, 21, 409–414. 2014.

GHASEMI, V. M.; MOBLI, H.; JAFARI, A.; KEYHANI, A. R.; HEIDARI, S.; RAFIEE, S.; KHEIRALIPOUR, K. Some Physical Properties of Rough Rice (*Oryza sativa* L.) Grain. *Journal of Cereal Science*, 47, 496–501. 2007.

GRANITO, M., GUERRA, M., TORRES, A., Y GUINAND, G. Efecto del Procesamiento Sobre las Propiedades Físicas de Leguminosas. *INCI*, 29(9), 521-526. 2008.

GUPTA, R.; DAS, S. Fracture Resistance of Sunflower and Kernel to Compressive Loading. *Journal Food Engineering*, 46, 1-8. 2000.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE CEREALES Y LEGUMINOSAS, FENALCE. El Cultivo de la Arveja, Historia y su Importancia. En línea: http://www.fenalce.org/arch_public/arveja93.pdf. 2010.

HACISEFEROGULLARI, H.; GEZER, I.; OZCAN, M. M.; ASMA, M B. Post Harvest Chemical and Physical–Mechanical Properties of Some Apricot Varieties Cultivated in Turkey. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 364–373. 2006.

HACISEFEROGULLARI, H.; GEZER, I.; BAHTIYARCA, Y.; MENGES, H. O. Determination of Some Chemical and Physical Properties of Sakız Faba Bean (*Vicia faba* L. *Var. major*). *Journal of Food Engineering*, 60(4), 475–479. 2003.

ISIK E.; UNAL, H. Moisture- Dependent Physical Properties of White Speck led Red Kidney Beans Grains. *Journal of Food Engineering*, 82 (2), 209- 216. 2007.

IXTAINA, V.Y.; NOLASCO, S. M.; TOMAS, M. C. Physical Properties of Chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds. *Industrial Crops and Products*, 28(3), 286–293. 2008.

KASHANINEJAD M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Some Physical Properties of Pistachio (*Pistacia vera* L.) nut and its kernel. *Journal of Food Engineering*, 72, 30–38. 2005.

KANE, A. M.; LYON, B. G.; SWANSON, R. B.; SAVAGE, E. M. Comparison of the Sensory and Two Instrumental Methods to Evaluate Cookie Color. *Journal of food science*, 71(6), 433-437. 2003.

KALEEMULLAH, S.; GUNASEKAR, J. J. Moisture-Dependent Physical Properties of Arecanut Kernels. *Biosystems Engineering*, 82(3), 331–338. 2002.

KARABABA, E. Physical Properties of Popcorn Kernels. *Journal of Food Engineering*, 72(1), 100–107. 2004.

KARABABA, E. Physical Properties of Popcorn Kernels. *Journal of Food Engineering*, 72, 100–107. 2006.

KIBAR, H.; OZTÜRK, T.; ESEN, B. Efecto del Contenido en Humedad sobre las Propiedades Físicas y Mecánicas del Arroz (*Oryza sativa* L.). *Spanish Journal of Agricultural Research. Revista de Investigación Agraria*, 8(3), 741-749. 2010.

KINGSLY, R.; SINGH, B.; MANIKANTAN, R.; JAIN, R. Moisture Dependent Physical Properties of Dried Pomegranate Seeds (*Anardana*). *Journal of Food Engineering*, 75(4), 492–496. 2005.

KROKIDA, M.; PHILIPPOPOULOS, C. Rehydration of Dehydrated Foods. *Drying Technology*, 23, 799-830. 2005.

KUTZBACH, H. D.; SCHERER, R. Frictional Properties of Seeds – a Literature Survey. *Grundl Landtechnik*, 27, 213–219. 1977.

LOBO, M.; MEDINA, C.; ESCOBAR, M. Manejo y Conservación de los Recursos Genéticos de Arveja (*Pisum sativum* L.). Investigación en los Cultivos de Arveja y Haba. Boletín Técnico. IICA; Prociandino, Quito. 1989.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVAS). Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas y sus Calendarios de Siembras y Cosechas. Disponible en <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/Anuario/ANUARIO%20ESTADISTICO%20DE%20FRUTAS%20Y%20HORTALIZAS%202011.pdf>. 2011.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL Y CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL. Encuesta de decisión de siembras y productividad. Proyecto Sistema de Información de la Oferta Agropecuaria de Colombia, Bogotá D.C. 2012.

MOHSENIN, N. Physical Properties of Plant and Animal Material. New York: *Gordon and Breach Science Publishers*. 1970.

MOHSENIN, N. Physical properties of plant and animal materials. New York: *Gordon and Breach Science Publishers*. 1980.

MOHSENIN, N. Physical Properties of Plant and Animal Materials. New York: *Gordon and Breach Science Publishers*. 1986.

MUSTAFA, C. Physical Properties of Barbunia Bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Barbunia'). *Journal of Food Engineering*, 80(1), 353–358. 2006.

MWITHIGA, G.; SIFUNA, M. Effect of Moisture Content on the Physical Properties of Three Varieties of Sorghum Seeds. *Journal of Food Engineering*, 75, 480–486. 2006.

NAVIGLIO, D.; FORMATO, A.; PUCILLO, G.; GALLO, A. Cyclically Pressurised Soaking Process for the Hydration and Aromatization of Cannellini Beans. *Journal of Food Engineering*, 116, 765–774. 2013.

NEDDERMAN, U.; TUZUN, S.; HOULSBY G. The Flow of Granular Materials. Discharge Rates from Hoppers, *CHEM. ENG. SCI.* 37, 15-97. 1982.

NESVADBA, N.; HOUSKA, M.; WOLF, W.; GEKAS, V.; JARVIS, D.; SADD, P. A.; JOHNS, A. Database of Physical Properties of Agro-food Materials. *Journal of Food Engineering*, 61(4), 497–503. 2004.

NIMKAR, P.M.; DIPALI, S.; DUDHE, R. Physical Properties of Moth Gram. *Biosystem Engineering*, 91(2), 183–189. 2005.

OGUT, H. Some Physical Properties of White Lupin. *Journal Agricultural engineering*, 69, 273-277. 1998.

OJOMO, O.; & CHHEDA, H. R. Physicochemical properties of cowpeas (*V. unguiculata*) influencing varietal differences in culinary values. *Journal of West African Science Association*, 17,3. 1972.

OLIVEIRA, A.; COLNAGHI, B.; ZUCATTI, E.; GOUVÊA, I.; LOPES, R.; DUARTE, P. Modelling the Effect of Temperature on the Hydration Kinetic of Adzuki Beans (*Vigna angularis*). *Journal of Food Engineering*, 118, 417–420. 2013.

ORDÓÑEZ M.; GELY M.; PAGANO A. Estudio de las Propiedades Físicas y de la Cinética de Secado de Granos de Maíz Colorado Duro. *Av. cien. Ing.* 3(3), 153-171. 2011.

OSPINA M.; JULIO E. Características Físico Mecánicas y Análisis de Calidad de Granos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrícolas. Departamento de Ingeniería Agrícola Bogotá: Pp. 225. 2001.

OYELADE, J.; ODUGBENRO, P. O.; ABIOYE, A. O.; RAJI, N. L. Some Physical Properties of African Star Apple (*Chrysophyllum albidum*) seeds. *Journal of Food Engineering*, 67, 435–440. 2004.

PANASIEWICZ, M.; GROCHOWICZ, J.; SOBCHAK, P. Influence of Hydrothermal Processes on Selected Physical Properties of Oat Grain. *Journal of Food Engineering*, 90, 81–89. 2008.

PRADHAN, R.C.; NAIK, S. N.; BHATNAGAR, N.; VIJAY, V. K. Moisture-Dependent Physical Properties of Jatropha Fruit. *Industrial Crops and Products*, 29(3), 341–347. 2008.

REDDY, B.S.; CHAKRAVERTY, A. Physical Properties of Raw and Parboiled Paddy. *Biosystems Engineering*, 88(4), 461–466. 2004.

ROJAS, Á. *Caracterización Físico-Mecánica de la Semilla de Vitabosa (Mucuna deeringiana)* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín). 2010.

SACILIK, K.; OZTURK, R.; KESKIN, R. Some Physical Properties of Hemp Seed. *Biosystems Engineering*, 86(2), 191–198. 2003.

SAHARAN, K.; KHETARPAUL, N.; BISHNOI, S. Variability in Physico-chemical Properties and Nutrient Composition of Newly Released Ricebean and Fababean Cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15, 159–167. 2002.

SAHOO. P.; SRIVASTAVA, A. Physical Properties of Okra Seed. *Biosystems Engineering*, 83(4), 441–448. 2002.

SÁNCHEZ, E.; MOSQUERA, T. Establecimiento de una Metodología para la Inducción de Regenerantes de Arveja (*Pisum sativum*) variedad 'Santa Isabel'. *Agronomía Colombiana*, 24(1), 17-27. 2006.

SANGHOON, K.; INAE, L.; GYOUNG, J.; DONG E.; YONG, C.; MI-RA, Y.; MALSHICK, S. Classification of rice cultivars based on cluster analysis of hydration and pasting properties of their starches. *LWT - Food Science and Technology*, 48, 164-168. 2012.

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE DE NARIÑO. Consolidado Agropecuario de Nariño. San Juan de Pasto: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2009.

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE DE NARIÑO. Consolidado Agropecuario de Nariño. San Juan de Pasto: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2010.

SEHIRALI, S. *Yemeklik Dane Baklagiller*. Ankara, Turkey: Ankara University Press. 1988.

SELVI, C.; PINAR Y.; YESILOGLU, E. Some Physical Properties of Linseed. *Biosystems Engineering*, 95 (4), 607–612. 2006.

SERNA, S.; ALMEIDA, H.; GÓMEZ, A.; BOCKHOLT, A.; ROONEY, L. Method to Evaluate Lose of Pericarp Removal of Lime-cooked Corn Kernels. *Crop Science*, 31, 842-844. 1991.

SHARMA, V.; DAS, L.; PRADHAN, R. C.; NAIK, S. N.; BHATNAGAR, N.; KUREEL, R. S. Physical Properties of Tung Seed: An Industrial Oil Yielding Crop. *Industrial Crops and Products*, 33(2), 440-444. . 2010.

SINGH, K.; GOSWAMI, T. Physical Properties of Cumin Seed. *Journal Agricultural Engineering Research*, 64, 93-98. 1996.

SINIBALDI, A.; & BRESSANI, R. Características de Cocción por Nixtamalización de Once Variedades de Maíz. *Arch. Latinoam. Nutr*, 51(1), 86-94. 2001.

SITKEI, G. Mechanics of agricultural materials. Budapest: Akademiai Kiado. 1986.

SOLOGUBIK, C.; CAMPANONE, L.; PAGANO, A.; GELY, M. Effect of Moisture Content on Some Physical Properties of Barley. *Industrial Crops and Products*, 43, 762–767. 2012.

SOLOMON, W.; ZEWDU, A. Moisture-Dependent Physical Properties of Niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) Seed. *Industrial Crops and Products*, 29, 165–170. 2009.

SUBRAMANIAN, S.; VISWANATHAN, R. Bulk Density and Friction Coefficients of Selected Minor Millet Grains and Flours. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 118–126. 2006.

SUTHAR, S.; DAS, S. Some Physical Properties of Karingda (*Citrullus lanatus* Thumb Mansf) Seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 65(1), 15–22. 1996.

RESTREPO, M. Evaluación Sensorial de los Alimentos. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. 1995.

TEFERA, T.; KANAMPIU, F.; DE GROOTE, H.; HELLIN, J.; MUGO, S.; KIMENJU, S.,... Y BEYENE, P.M. The Metal Silo: An Effective Grain Storage Technology for Reducing Post-harvest Insect and Pathogen Losses in Maize While Improving

Smallholder Farmers' Food Security in Developing Countries. *Crop Protection*, 30, 240-245. 2010.

TAMAYO, Y.; BERMÚDEZ, A. Los Residuos Vegetales de la Industria de Jugo de Naranja como Fuente de Fibra Dietética. *En Temas de Tecnología de Alimentos*, 2, 181-189. 1998.

TORREGROZA, F.; CONEO, R.; MIRANDA, V.; MARRUGO, L. P. Obtaining a High Protein Content Drink from the Zaragoza Bean (*Phaseolus Lunatus*) White Variety. Grupo de Investigación PROAL – Programa de Ingeniería de Alimentos – Universidad de Cartagena. 5(1), 63-68, 2007.

UDENAR, 2011. Grupo de Cultivos Andinos. Evaluación Agronómica para siete Líneas Promisorias de Arveja de crecimiento indeterminado (*Pisum sativum* L.) en la zona andina del departamento de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto Colombia.

VERTUCCI, C.W.; LEOPOLD, A. Oxidative Processes in Soybean and Pea Seeds. *Plant Physiology*, 84, 1038-1043. 1987.

VIGNONI, L. A.; CESARI, R. M., FORTE, M. Y MIRABILE, M. L. Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. *Inf. tecnol.* 17(6), 63-67. 2006.

VILCHE, C.; GELY, M.; SANTALLA, E. Physical Properties of Quinoa Seeds. *Biosystems Engineering*, 86 (1), 59–65. 2003.

VISVANATHAN, R.; PALANISAMY, P.; GOTHANDAPANI, L.; SREENARAYANAN, V. Physical Properties of Neem Nut. *Journal of Agricultural Engineering research*. 63, 19–26. 1996.

WALTHER, P. Manual de la Producción, Control de Calidad y Distribución de Semilla de Cereales: FAO. Roma, 1977; Pp. 89.

YALCIN, I. Physical Properties of Cowpea (*Vigna sinensis* L.) Seed. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 57–62. 2006.

YALCIN, I.; OZARSLAN, C.; AKBAS, T. Physical Properties of Pea (*Pisum Sativum* L.) Seed. *Journal of Food Engineering*, 79(2), 731-735. 2007.

ZEWDU, A. Investigations into Performance Improvement of Combine Cleaning Shoe Through Additional Lateral Oscillations. *Journal of Food Engineering*. 35(2), 304-309. 2004.

ZHANG, L.; MCCARTHY, M. NMR Study of Hydration of Navy Bean During Cooking. *LWT - Food Science and Technology*, 53, 402-408. 2013.