



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Química e Ingeniería Química**

**Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial**

**“Influencia de la humedad en las propiedades físicas del lupino andino (*Lupinus mutabilis Sweet*) para los procesos de recepción, limpieza y selección”**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

**AUTOR**

Alfredo Elias GUILLÉN BAZÁN

**ASESOR**

Dr. Fernando SUCA APAZA

Lima, Perú

2019



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Guillén, A. (2019). *Influencia de la humedad en las propiedades físicas del lupino andino (*Lupinus mutabilis* Sweet) para los procesos de recepción, limpieza y selección*. Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial. Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---

## Hoja de metadatos complementarios

Código ORCID del autor	0000-0001-6792-4302
DNI o pasaporte del autor	71283856
Código ORCID del asesor	0000-0001-7116-8685
DNI o pasaporte del asesor	40375320
Grupo de investigación	“—“
Agencia financiadora	“—“
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	San Juan de Lurigancho - Lima Av. Fernando Wiesse 4756, Lima 15416 Latitud -11.954098564396695, Longitud -76.98671414501194
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2017
Disciplinas OCDE	<p><b>2.11.01 -- Alimentos y bebidas</b> <a href="http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.01">http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.01</a></p> <p><b>2.11.02 -- Otras ingenierías y tecnologías</b> <a href="http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.02">http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.02</a></p> <p><b>2.11.03 -- Ingeniería de producción</b> <a href="http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.03">http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.03</a></p>



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

**FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA**  
Central: 619 7000 anexos 1202, 1203, 1205, 1206, 1207 Telefax: 1209, 1218  
Ciudad Universitaria – Av. Venezuela s/n – Lima 1

"Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad"

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

**A C T A DE TITULACION POR TESIS**

Los suscritos Miembros del Jurado nombrados por la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, bajo la Presidencia del **Q.F. OSCAR PEDRO SANTISTEBAN ROJAS**, el **Ing: CARLOS ALBERTO SUCA APAZA** (Miembro) y el **Dr. FERNANDO SUCA APAZA** (Asesor), habiendo presentado para el efecto la **TESIS**, titulada "**INFLUENCIA DE LA HUMEDAD EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL LUPINO ANDINO (*Lupinus mutabilis Sweet*) PARA LOS PROCESOS DE RECEPCIÓN, LIMPIEZA Y SELECCIÓN**", después de **SUSTENTADA Y APROBADA LA TESIS** elaborado por el Bachiller en Ingeniería Agroindustrial: **ALFREDO ELIAS GUILLÉN BAZÁN**; para optar el **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**, acordando calificarlo con la **NOTA** de:

.....  
(LETRAS)

18  
.....  
(NÚMEROS)

Lima, 25 de setiembre del 2019

  
**Q.F. Oscar Pedro Santisteban Rojas**  
Presidente

  
**Ing. Carlos Alberto Suca Apaza**  
Miembro

  
**Dr. Fernando Suca Apaza**  
Asesor

  
**Ph.D. Jorge Ernesto Guevara Vásquez**  
Director de la EP de Ingeniería Agroindustrial



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**“INFLUENCIA DE LA HUMEDAD EN LAS PROPIEDADES  
FÍSICAS DEL LUPINO ANDINO (*Lupinus mutabilis* Sweet) Y  
EN LOS PROCESOS DE RECEPCIÓN, LIMPIEZA Y  
SELECCIÓN”**

Tesis presentada por:

**ALFREDO ELIAS GUILLÉN BAZÁN**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial

Aprobado por el jurado revisor conformado por:

PRESIDENTE : Q.F. Oscar Pedro Santisteban Rojas

PRIMER MIEMBRO : Ing. Carlos Alberto Suca Apaza

ASESOR DE TESIS : Dr. Fernando Suca Apaza

LIMA, PERU

2019

## **DEDICATORIA**

A toda persona que formó parte de esta historia, y para aquella que aún falta formar parte de ella.

<b>ÍNDICE</b>	LISTA DE FIGURAS.....	v
	LISTA DE TABLAS.....	vi
	RESUMEN.....	vii
	SUMMARY .....	viii
<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>2</b>
2.1.	Generalidades.....	3
2.2.	Humedad en los alimentos.....	5
2.2.1.	Tipos de Agua en los granos.....	7
2.3.	Propiedades físicas de los granos.....	8
2.3.1.	Densidad.....	11
2.3.2.	Ángulo de Reposo.....	11
2.3.3.	Coeficiente de fricción.....	12
2.4.	Procesamiento de granos en la Agroindustria.....	12
2.4.1.	Recepción de granos.....	13
2.4.2.	Limpieza, selección y clasificación de granos.....	13
2.4.3.	Envasado y almacenamiento.....	17
2.5.	Relación de las propiedades físicas con el diseño de equipos.....	19
2.5.1.	Diseño de una tolva de recepción o almacenamiento.....	19
2.5.2.	Diseño de un equipo de selección gravimétrica.....	20
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
3.1.	Ensayos realizados.....	23
3.1.1.	Descripción del acondicionamiento de la muestra.....	23
3.1.2.	Determinación experimental de las propiedades físicas.....	25
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>30</b>



4.1. Propiedades dimensionales.....	31
4.2. Masa de 1000 granos .....	35
4.3. Densidad real, aparente y porosidad .....	35
4.4. Coeficiente de fricción .....	38
4.5. Ángulo de reposo.....	39
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>43</b>

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura. 1</b> Producción nacional de lupino andino.....	5
<b>Figura. 2</b> Tiempo de hidratación de los granos de lupino andino ( <i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) .....	6
<b>Figura. 3</b> Distribución de la forma (Sneed & Folk) de los granos de lupino andino a humedad de 11% (b.h.) y 21°C.....	9
<b>Figura. 4</b> Imágenes de algunos granos y semillas que han sido objetos de estudio.....	10
<b>Figura. 5</b> Procesos básicos en el procesamiento de granos .....	12
<b>Figura. 6</b> (a) Equipo de limpieza y selección por aire “Zaranda” o “Pre - limpia” (b) Flujo de producto en la Pre – Limpia.....	15
<b>Figura. 7</b> Tipos de tamices utilizado en la industria de los granos y semillas.....	16
<b>Figura. 8</b> (a) Equipo de limpieza y selección por gravedad específica “Deschinadora” o “Despredadora” (b) Flujo de producto en la despredadora.....	18
<b>Figura. 9</b> Esquema de una tolva de recepción de lupino andino en función del tipo de tolva, ángulo de inclinación y dimensiones requeridas para el volumen .....	20
<b>Figura. 10</b> Seleccionadora y selección de tamices para granos de lupino andino a 11% de humedad (b.h.) de forma redonda .....	21
<b>Figura. 11</b> Granos de lupino andino acondicionados a diferentes humedades (b.h.).....	24
<b>Figura. 12</b> Método utilizado para la determinación de la densidad aparente de granos de lupino andino a 59.8% (b.h.) y 21°C.....	26
<b>Figura. 13</b> Área proyectada de granos de lupino andino a 19.6% (b.h.) y 21°C.....	27
<b>Figura. 14</b> Programa ImageJ utilizado para la determinación del ángulo de reposo de granos de lupino andino a 19.6% (b.h.) y 21°C.....	28
<b>Figura. 15</b> Materiales utilizados para la determinación del coeficiente de fricción de granos de lupino andino a 59.8% (b.h.) y 21°C.....	29
<b>Figura. 16</b> Distribución de la masa y forma de 976 granos de lupino andino a humedad de 11.1% (b.h.) y 21°C.....	31
<b>Figura. 17.</b> Curva de distribución del largo, ancho y espesor de 976 granos de lupino a 11.1% de humedad (b.h.) y 21°C .....	32

<b>Figura. 18</b> Efecto de la humedad en el área proyectada, área de la superficie, tasa de redondez y esfericidad de los granos de lupino andino. ....	33
<b>Figura. 19</b> Distribución de forma (Sneed & Folk) del grano de lupino a 11.1 (■), 29.9 (◆) y 59.8 % (●) de humedad (b.h.).....	34
<b>Figura. 20</b> Masa promedio de lupino andino a diferente humedad (b.h.).....	35
<b>Figura. 21</b> (a) Efecto del aumento de humedad en la masa y volumen. (b) Variación de la densidad de granos de lupino andino a diferente porcentaje de humedad. ....	36
<b>Figura. 22</b> Efecto del incremento de humedad en la densidad aparente de granos de lupino andino. ....	37
<b>Figura. 23</b> Efecto de la variación de humedad en la porosidad de lupino andino.....	38
<b>Figura. 24</b> Efecto de la humedad en el coeficiente de fricción. ....	39
<b>Figura. 25</b> Efecto de la humedad en el ángulo de reposo de lupino andino. ....	40
<b>Figura. 26</b> Ángulo de reposo de garbanzo, soya, habas, lupino andino, girasol, lenteja y cebada a 15% de humedad.....	40

## **LISTADO DE TABLAS**

Tabla. 1 Propiedades físicas del lupino andino, objetos de estudio en un rango de humedad de 11% a 60% 21°C.....	23
Tabla. 2 Análisis proximal de granos de lupino andino. ....	31
Tabla. 3 Variación de la masa y tamaño promedio de 96 granos de lupino andino a diferentes humedades .....	33

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar las propiedades físicas del lupino andino (*Lupinus mutabilis* Sweet) así como también el efecto que produce la variación de la humedad en estas propiedades. La investigación se realizó en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial, sede San Juan de Lurigancho – Lima. Para la ejecución del experimento se acondicionaron los granos de lupino andino durante 16 horas a diferentes porcentajes de humedad y luego almacenados por 14 días; para luego ser analizados en cada una de las propiedades. Los niveles de humedad en base húmeda fueron de 11.1, 19.6, 29.8, 39.9, 50.7, y 59.8 %. En cada valor de humedad se tomaron datos de las propiedades físicas. Las propiedades dimensionales (largo, ancho y grosor), relación de aspecto, área de la superficie, esfericidad y tasa de redondez se determinaron mediante medición directa y ecuaciones establecidas. Por otro lado, el área proyectada y ángulo de reposo fueron determinadas mediante un nuevo método con el uso del software de imágenes Image J. La masa de 1000 granos, densidad real y densidad aparente, porosidad fueron determinadas por mediciones sobre la relación de masa y el volumen. Por otra parte, el coeficiente de fricción se determinó a través de medición indirecta con el uso de un dinamómetro. Se observó que la forma del grano de lupino andino varía de un esferoide oblato hacia un discoide y elipsoide aplanado. Además, las propiedades físicas tienen un incremento significativo con respecto al aumento de la humedad; fenómeno que difiere en la densidad real y aparente que poseen un comportamiento decreciente hasta valores de 40 y 50% de humedad y ascendente en valores mayores a estos respectivamente.

## SUMMARY

The objective of the present research was to determine the physical properties of Andean lupine seeds (*Lupinus mutabilis* Sweet) and the effect of the variation of moisture content on these properties. The research was carried out at the laboratories of Agroindustry Engineering's Department, located at San Juan de Lurigancho - Lima. For the execution of the experiment, the Andean lupine seeds were conditioned for sixteen hours and stored for 14 days at different moisture content (11.1, 19.6, 29.8, 39.9, 50.7, and 59.8%) and then the physical properties were analyzed. Moisture-wet basis levels were 11.1, 19.6, 29.8, 39.9, 50.7, and 59.8%. Physical properties data was taken at each moisture value. Dimensional properties (length, width and thickness), aspect ratio, surface area, sphericity and roundness rate were determined by direct measurement and established equations; On the other hand, the projected area and angle of repose were determined by Image J. The mass of 1000 grains, real density, apparent density and porosity were determined by mass and volume ratio measurements. In addition, the coefficient of friction was determined by indirect measurement using a dynamometer. It was observed that the form of the lupine seeds change from a prolate spheroid to a discoid and ellipsoid platy form. As well as, the physical properties have a significant growth with respect to the increase of the moisture content, this phenomenon differs in the real and apparent density because both presents a decreasing behavior at 40 and 50% of moisture content and present an increasing behavior in greater values of those percentage, respectively.

# 1. INTRODUCCIÓN

La presente tesis se centra en la determinación de las propiedades físicas del lupino andino (*Lupinus mutabilis* Sweet) y sus modificaciones ante la variación de la humedad.

Las propiedades físicas de los granos son necesarias en el desarrollo de equipos y sistemas tecnificados en la agroindustria. El diseño de equipos de limpieza, clasificación y separación son ampliamente usados por las empresas comercializadoras de granos, es por ello que el estudio y conocimiento cuantitativo de la influencia de la humedad sobre las propiedades físicas de los granos relacionado al diseño de equipos de limpieza y selección son factores indispensables para su aprovechamiento industrial posterior.

El lupino andino (*Lupinus mutabilis* Sweet), conocido en nuestro país como tarwi o chocho, es originario de la zona andina de Perú, Ecuador y Bolivia, la cual tiene un aprovechamiento netamente artesanal a diferencia de otros granos comercializados, como los frijoles, lentejas, etc. Por otra parte, las propiedades físicas en general, han sido estudiadas en diferentes tipos de granos, por diferentes autores. En cambio, para el caso del lupino andino, investigaciones del mismo enfoque, en donde se estudie la influencia de la humedad sobre sus propiedades físicas aún no eran realizados hasta la investigación presentada. A consecuencia de esto, se genera una desventaja dentro de la industria, en su aprovechamiento como producto procesado (ensaladas, enlatados, etc.) y suplemento alimenticio.

De lo expuesto, el principal objetivo del estudio realizado es generar conocimiento cuantitativo y analizar la influencia de la humedad sobre las propiedades físicas del lupino andino, tales como densidad real y aparente, ángulo de reposo, propiedades dimensionales (largo, ancho, espesor, relación de aspecto, tasa de redondez, esfericidad), porosidad y coeficiente de fricción; y el efecto que produce la variación de la humedad sobre estas propiedades físicas en los procesos de recepción, limpieza y selección de granos.

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**



## 2.1. Generalidades

A las plantas angiospermas cuya característica distintiva es tener legumbres como fruto se denomina leguminosas, y se les agrupa como miembros de la familia Leguminosae (Fraile et al. 2007). La FAO considera legumbres a los cultivos leguminosos con semillas comestibles secas y con bajo contenido en grasa (FAO 2016).

El lupino andino, *Lupinus mutabilis* Sweet, es una leguminosa cuyo órgano comestible son sus semillas (National Academy of Sciences 1979). Lupino, tarwi, tarhui, altramus y chuchus muti son algunos de los nombres comunes para el *Lupinus mutabilis*. Dos culturas antiguas, la egipcia y la andina, domesticaron hace por lo menos cuatro mil años, sendas especies de lupinus. Existen evidencias de semillas en tumbas Nazca, como dibujos de tarwi en vasos ceremoniales Tiahuanaco. El tarwi en el Perú es un cultivo característico de la zona suni (3400 y 3800 msnm.) junto a la papa, tubérculos andinos y la quinua. (Tapia et al. 2007). Se conocen dos cultivos antiguos del género *Lupinus*: (a) el *Lupinus albus*, proveniente de Europa y Australia; y (b) el *Lupinus mutabilis*, procedente de América del Sur, principalmente del Perú, Ecuador y Bolivia (Gross 1982).

El lupino andino, tarwi en quechua, tiene un rol fundamental en los andes, siendo una leguminosa que puede enriquecer los suelos y prevenir su degeneración mediante la fijación de nitrógeno que presentan cultivos como el maíz. Esta planta también contiene alcaloides que repelen insectos, y puede absorber el fósforo en condiciones donde otras plantas no pueden hacerlo (Morris 1999).

Las legumbres suelen contener alrededor del doble de la cantidad de proteínas que se encuentran en los cereales de grano entero como el trigo (FAO 2016). Las semillas de lupino son excepcionalmente nutritivas. Las proteínas y aceites constituyen más de la mitad de su peso, estudios realizados en más de 300 diferentes genotipos muestran que la presencia de proteína en el grano es variable. Esta puede presentar valores de 37% (Hatzold et al. 1983), 41% (Gross et al. 1988) 46% (Morris 1999) y 50% (National Academy of Sciences 1979). Así mismo el aceite se presenta en concentraciones diferentes; 12% (Hatzold et al. 1983), 13.91% (Ortega-David et al. 2010) y 24%(Morris 1999). El ácido oleico es el ácido graso principal en la composición del aceite (42.3%), seguido del ácido linoleico (34.1%)(Gross et al. 1988).

En general, las leguminosas son deficientes en aminoácidos azufrados. En contraste, los granos de lupino andino son ricos en aminoácidos esenciales, tales como lisina y cisteína en comparación con sus similares especies de lupinus del mediterráneo (Salmanowicz 1999). Los aminoácidos limitantes del *Lupinus mutabilis* son aminoácidos azufrados (Met y Cys)(Schoeneberger et al. 1982). Las semillas de *lupino mutabilis* contienen dos tipos de proteínas de reserva: globulinas, que constituyen más del 80% del total de proteínas y albúminas (Salmanowicz 1999, Santos et al. 1997).

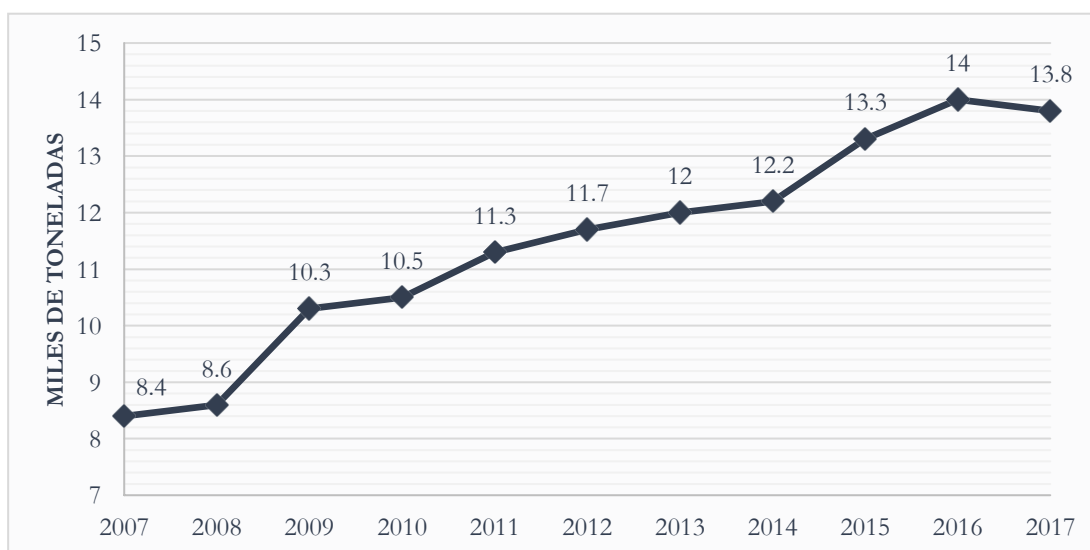
El principal obstáculo para utilizar el lupino como fuente proteínica ha sido su alto contenido de sustancias denominadas alcaloides (Gross et al. 1988, Schoeneberger et al. 1982, Cremer 1983). Estas quinolizidinas, como se conoce técnicamente a dichas sustancias, se pueden extraer a través de un laborioso proceso de desamargado que lleva varios días de tratamiento y que consiste en un proceso de cocción y remojo a fin de extraer los alcaloides y tornar comestible el grano. El alcaloide principal, con cerca del 80% del total de alcaloides presente, es la Lupanina (Gross et al. 1988).

Respecto a las propiedades funcionales de las proteínas del lupino andino. La harina de lupino andino posee una principal característica, la capacidad de absorción de agua es menor en comparación a la concentración de proteína presente. Esta característica nos indica que los productos de lupino tienen valores de absorción de agua más bajos. Los bajos valores de absorción de agua de la harina de lupino andino y su concentrado proteínico comparado con los valores que se reportan para la soya podrían deberse a la presencia de grasa y a la baja disponibilidad de aminoácidos; los cuáles han demostrado ser los principales influyentes para la interacción entre el agua y las proteínas. El concentrado de proteínas de tarwi tiene una alta capacidad emulsificante y que puede ser utilizado para muchas aplicaciones alimentarias donde se requiera una buena emulsificación (Sathe et al. 1982).

Por otro lado, las propiedades del aceite del tarwi, lupino andino, determinan que el aceite presenta un índice menor de ácido oleico comparado con la soya o el girasol. Con este índice de ácido oleico, el aceite presenta una mayor estabilidad debido a su mayor grado de insaturación y a la susceptibilidad a la oxidación. El punto de humo es uno de los parámetros más importantes a la hora de utilizar el aceite con fines de fritura. El punto de humo para el aceite crudo de tarwi es menos a 200 °C. Estos valores son muy bajos si

se considera que un buen aceite de freído debe tener como mínimo 215 °C. Se concluyó que el aceite de tarwi no tiene aplicaciones en fritura (Villacrés et al. 2010).

El principal productor de lupino es Australia con más de 1 000 toneladas de esta semilla en el 2014, seguido de Polonia, Federación Rusia, Sudáfrica y Chile (FAOSTAT 2019). Los principales países que han presentado incrementos en importación tanto en montos como en cantidades durante el último período han sido Japón, Corea del Sur y China.(ProChile 2013). En el Perú, las estadísticas por parte del Ministerio de Agricultura señalan como mayor productor de tarwi a la región de La Libertad, seguida de Cuzco y Puno. Además, evidencia variación positiva en la producción de tarwi del 64% entre los años 2007 al 2017(MINAGRI 2019) (Figura 1).



**Figura. 1** Producción nacional de lupino andino (MINAGRI 2019)

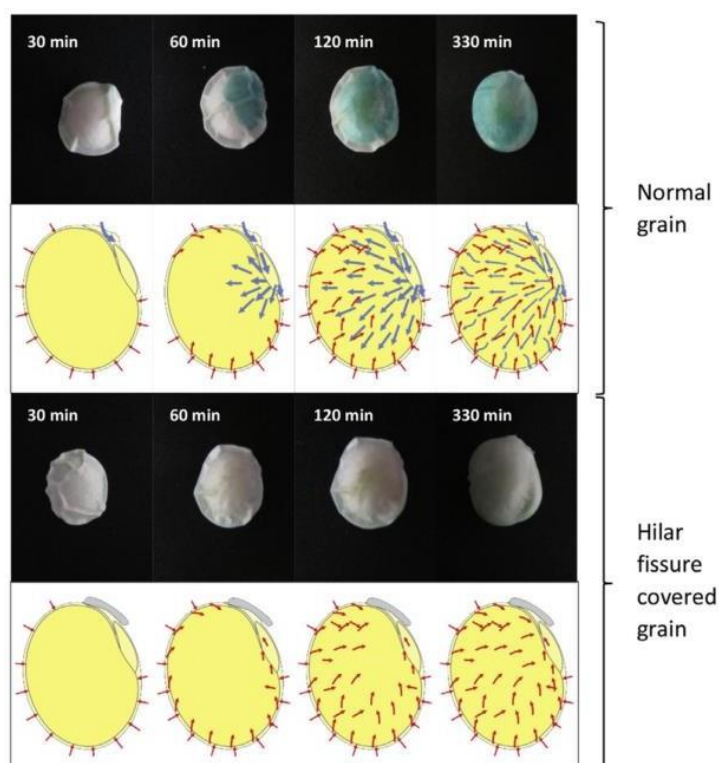
## 2.2. Humedad en los alimentos

La importancia funcional del agua en alimentos va más allá de la presencia cuantitativa en su composición. Por un lado, el agua es esencial para la buena textura y apariencia de frutas y vegetales. Por otro lado, el agua resulta un requerimiento esencial para la realización y apoyo de reacciones químicas, enzimáticas y crecimiento microbiano, el cuál es responsable de la deterioro de los alimentos (Berk 2013).

El agua en los granos, no se encuentra repartida uniformemente; el agua se encuentra en aquellas partes del grano con mayor presencia de hidratos de carbono y proteínas, por ser sustancias hidrofílicas (Garnero 2006). La fuerza con la que es retenida

el agua, en este tipo de alimentos, es crucial puesto que tiene la función de solvente de reacciones químicas del metabolismo en los granos y determinará la facilidad con que realizará su extracción en el proceso de secado (Bidiali et al. citado por Garnero, 2006).

El contenido de humedad del grano, que es un proceso dinámico, está en equilibrio con el contenido de humedad del aire que lo rodea cuando las presiones de vapor del grano y el aire son iguales. El conocimiento del contenido de humedad de equilibrio de los granos tiene implicancias prácticas en los procesos de secado y aireación. Cuando no existe diferencia entre la humedad del grano y del ambiente que lo rodea se denomina humedad de equilibrio. La composición química de los granos afecta el contenido de humedad de equilibrio. Las proteínas y el almidón son hidrofílicos mientras que el aceite es hidrofóbico, por lo tanto, a una determinada temperatura y contenido de humedad de los granos, la humedad relativa de equilibrio de las oleaginosas es más baja que la correspondiente a los granos sin aceites (Garnero 2006).



**Figura. 2** Tiempo de hidratación de los granos de lupino andino (*Lupinus mutabilis* Sweet). Flechas azules indican la entrada de solución colorante por capilaridad. Flechas rojas indican la entrada de agua sin colorante por difusión. (Miano et al. 2015)

Está establecido que el efecto del agua en la estabilidad de los alimentos no puede recaer solamente al contenido de agua. Como ejemplo, la miel contiene 23% de agua y es perfectamente estable, mientras que una papa deshidratada es rápidamente deteriorada por un contenido de humedad tan alto como el mencionado. Para explicar la influencia del agua, un parámetro que refleja la cantidad y la efectividad de agua necesaria es "la actividad de agua". La actividad de agua es definida como la relación de la presión de vapor de agua del alimento con la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura (Berk 2013).

### 2.2.1. Tipos de Agua en los granos

#### *Agua ligada*

Es considerada el agua que existe en la vecindad de los solutos con otros constituyentes no acuosos enlazados con otros solutos a través de enlaces covalentes. De acuerdo con la fuerza del enlace, este tipo de agua se divide en tres. El primer tipo es llamado agua constitucional; considerada el agua de hidratos, la constituyen compuestos con enlaces más estrechos. El segundo tipo, el agua de la monocapa, conforma la primera capa, que se une a los grupos hidrofílicos del soluto. Las fuerzas son agua-ion o agua-asociación polar (Jianqian y Guoqing 2012). Se puede definir estos dos tipos de agua ligada como agua ligada vecinal, que constituye la capa mono molecular. Actúa con sitios hidrofílicos por asociación agua-ion y agua-dipolo. Cubre una capa simple de unión con los grupos fuertemente hidrofílicos (Garnero 2006). El tercer tipo es el agua de la multicapa, el agua de este grupo pertenece al agua distribuida en las siguientes capas que se encuentran alrededor de los componentes no acuosos, forma varias capas adicionales en torno a los grupos hidrofílicos. Las fuerzas que envuelven este tipo son agua-agua y agua-soluto unido con puentes de hidrógeno.(Jianqian y Guoqing 2012, Garnero 2006).

#### *Agua libre*

A diferencia del agua ligada, el agua libre no está unida a los componentes no acuosos. Se divide en dos tipos. El primer tipo es el agua atrapada, localizado entre microestructuras o ultra estructuras y que no puede fluir libremente, ocupa posiciones más alejadas, predominan enlaces agua-agua, el flujo macroscópico se halla impedido. Es agua congelable y evaporable. Se estima que el porcentaje de presencia en alimentos de alta humedad es de 96%. El otro tipo de agua libre es el agua de los capilares. Este tipo

de agua se encuentra atrapada en los poros de las células o en los capilares de las estructuras del alimento, predominan los enlaces agua-agua, su flujo macroscópico se encuentra impedido por el tejido vegetal. (Jianqian y Guoqing 2012, Garnero 2006).

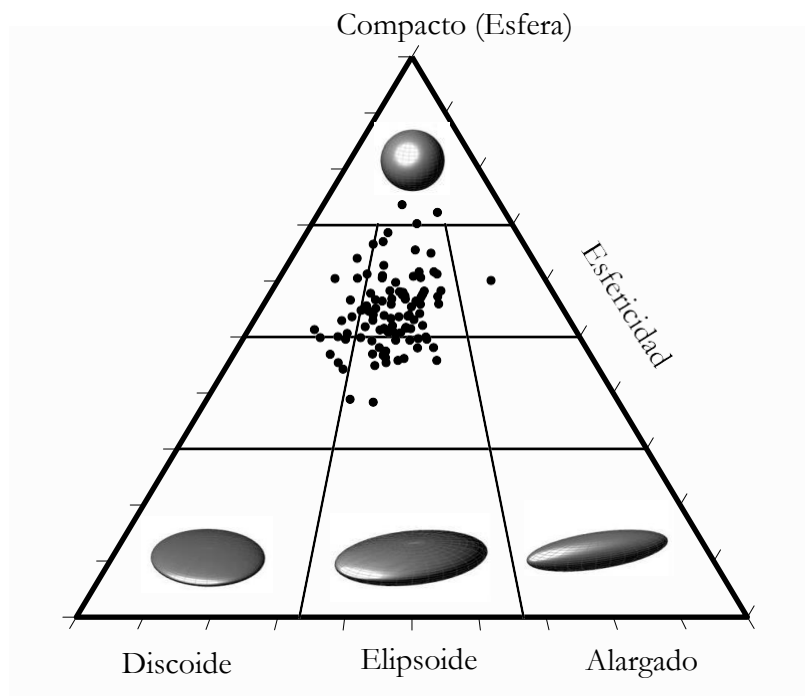
En un grano seco industrialmente, existe agua del tipo ligada vecinal multicapa. Los granos de cereales, con predominancia de hidratos de carbono en su composición, admiten contenidos de agua superiores a los granos ricos en materia grasa (Garnero 2006).

### 2.3. Propiedades físicas de los granos

Las propiedades físicas de los alimentos se definen como aquellas propiedades que se prestan por sí mismas a la descripción y cuantificación por medios físicos en lugar de químicos (Berk 2013).

Las propiedades físicas de los alimentos son importantes y de interés en la ingeniería alimentaria por varias razones. Muchas de las características que define la calidad (textura, estructura, apariencia) y estabilidad (actividad de agua) de un producto alimenticio están relacionadas con estas propiedades físicas. El conocimiento cuantitativo de las propiedades físicas es esencial para el diseño de equipos y operatividad en el procesamiento de alimentos, además que permiten predecir la respuesta de los alimentos en el proceso, selección, distribución y condiciones de almacenamiento. Algunas de las más importantes características de los alimentos son los atributos físicos como el tamaño, ancho, volumen, peso, densidad, ángulo de reposo, área superficial, etc. Muchas de estas propiedades son perceptibles y fácilmente medibles (Berk 2013).

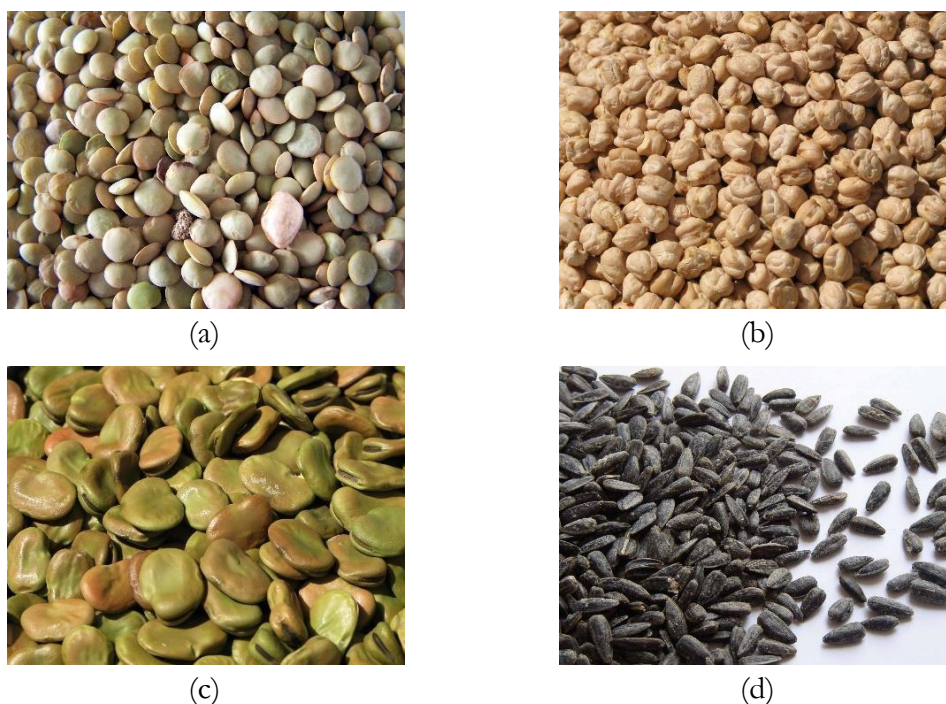
La Figura 3 describe la clasificación (Sneed y Folk 1958) para la forma de partículas. Ellos dividieron un diagrama de 10 clases para describir las formas en que se puede presentar las partículas. A medida que el diagrama desciende la partícula va perdiendo la forma compacta (esférica) y puede cambiar hacia una forma discoide, de elipsoide aplanado o de rodillo alargado. Las 10 divisiones son mezcla de una y otra forma descrita anteriormente: compacto (esférico), esférico aplanado, esférico oblato, esférico prolato, discoide, elipsoide aplanado, alargado, muy aplanado, muy elíptico muy alargado.



**Figura. 3** Distribución de la forma (Sneed & Folk) de los granos de lupino andino a humedad de 11% (b.h.) y 21°C.

Existen investigaciones de las propiedades físicas y mecánicas en diferentes variedades de granos y semillas. Ögüt 1998, describió la dependencia de las propiedades físicas del lupino blanco (*Lupinus albus*) a diferentes contenidos de humedad (8.3 a 19.2% b.s.) y no solo determinó que los promedios del largo, ancho y espesor, los coeficientes de fricción, el volumen del grano, su área proyectada, la masa de 1000 granos y su densidad real incrementaban, sino también que la densidad aparente disminuía con respecto al aumento de humedad. Por otra parte, Dutta et al. 1988 describió las propiedades físicas para el garbanzo; determinó la forma de esferoide prolato para el grano, la masa de 1000 granos, área superficial, tasa de redondez y esfericidad a la humedad de 10.9% así mismo estudió el aumento de la porosidad y la disminución de la densidad real y aparente en el rango de 9.6 a 31% b.s. De la misma manera, Alibas y Koksall 2015 determinaron los cambios de las propiedades físicas para los granos de soja y que varias de las propiedades físicas aumentan con la variación de la humedad (8 a 24% b.h.); sin embargo, propiedades como la densidad real, densidad aparente, porosidad y esfericidad disminuyen. Del mismo modo, Altuntaş y Yıldız 2007 estudiaron el efecto de la humedad (9.8 a 25% b.s.) en habas y determinaron que sus propiedades aumentan con respecto al incremento de la humedad,

mientras que únicamente la densidad aparente disminuye para el mismo rango. Amin et al. 2004, determinó que los granos de lenteja presentan una forma discoide además que sus propiedades físicas, a excepción de la densidad real y aparente, aumentaban linealmente con el incremento de la humedad. Gupta y Das 1997 evaluaron las semillas de girasol en función al contenido de humedad en un rango de 4 a 20% y determinaron que la densidad aparente decrece a comparación de la densidad real y que las propiedades físicas incrementan en ese rango de humedad. Sologubik et al. 2013 estudió la influencia de la humedad (13 a 45.8% b.s.) en las propiedades físicas de las semillas de cebada y determinó que sólo la densidad aparente y real disminuían en función de este aumento. Pradhan et al. 2013 determinó las propiedades físicas para las semillas de calabaza a la humedad de 10.4% b.h. Ixtaina et al. 2008 investigó las propiedades físicas de las semillas de chía blancas y negras a 7% b.s. Todas estas investigaciones permiten dar una visión más amplia de la importancia a nivel industrial que tienen el estudio de las propiedades físicas.



**Figura. 4** Imágenes de algunos granos y semillas que han sido objetos de estudio (a) lentejas, (b) garbanzo, (c) habas, (d) semillas de girasol. (Freeimages.com, Gokhan Okur, Niki Michailov)



### 2.3.1. Densidad

La densidad es la masa por unidad de volumen cuyas unidades en el sistema internacional son  $kgm^{-3}$ . La densidad relativa o gravedad específica, es la relación de la densidad de una sustancia con la densidad de otra sustancia referencial. Generalmente esta referencia es el agua. A diferencia de la densidad, la gravedad específica es adimensional (Berk 2013).

La densidad es una propiedad de ingeniería importante, aparece en al menos cada ecuación describiendo procesos donde la masa y la gravedad están relacionadas. Al mismo tiempo, es un factor que debe ser tomado en cuenta en consideraciones tecnológicas. Por ejemplo, la densidad de los productos terminados debe ser conocida y controlada, como también aquellos que son llenados volumétricamente, pero vendidos por peso. En alimentos porosos, uno distingue la densidad aparente (la densidad que incluye los poros) y la densidad real (densidad de la matriz sólida sin los poros). La densidad aparente es usada para caracterizar harinas y polvos, y depende de la posición relativa de las partículas del polvo dentro del espacio vacío entre las partículas (Berk 2013). En centros de manejo de granos es frecuente usar el término peso hectolítrico. Actualmente la densidad aparente o volumétrica es más importante que la densidad real, en prácticas de secado y almacenaje. Puede variar con el contenido de impurezas, el grado de compactación y el contenido de agua en el grano. Por otro lado el valor de la densidad real es importante para los análisis de transferencia de masa y calor en granos (Muñoz Cisternas 1991).

### 2.3.2. Ángulo de Reposo

Cuando se permite que un material granular fluya libremente desde un punto en una pila, el ángulo que forma parte de la caída de la pila con el plano horizontal se denomina ángulo de reposo (Kisan et al. 1973). El ángulo de reposo es una propiedad única del material. Sin embargo factores como rugosidad de la base, tamaño de la pila, tamaño y distribución de las partículas, densidad de la pila, efectos dinámicos, entre otros, influyen significativamente en el valor del ángulo de reposo (Solaque Guzmán y Lizcano Peláez 2008).

### 2.3.3. Coeficiente de fricción

Es la relación entre la fuerza de fricción y la fuerza normal a la superficie de contacto. El coeficiente de fricción puede ser estático o dinámico. El coeficiente estático es básico para determinar la energía que se debe suministrar para vencer las fuerzas de inercia y poner en movimiento los granos. El coeficiente de fricción dinámico es fundamental para calcular la energía necesaria para mantener el producto en movimiento constante (Muñoz Cisternas 1991).

## 2.4. Procesamiento de granos en la Agroindustria

Posterior a la etapa de la cosecha, los granos son recolectados con diferentes características e impurezas; las cuales no son admisibles para una posterior comercialización. Los granos que entran a las plantas de procesamiento poseen granos partidos, dañados, impurezas vegetales, tierra, piedras, cuarzos, otras semillas, etc. Es un factor crítico el conocimiento de todas estas características en el procesamiento de los granos para una mejora en la apariencia y calidad. La figura 5 describe los procesos básicos que involucran el procesamiento de los granos dentro de la agroindustria. Este consiste en diversos procesos que permiten llegar a las especificaciones que el consumidor final requiere dentro del mercado.



**Figura. 5** Procesos básicos en el procesamiento de granos

### 2.4.1. Recepción de granos

La Recepción es la operación inicial del benefici. Existen dos maneras de recepcionar el producto, uno es mediante sacos y la otra manera es a granel. La recepción en sacos es más costosa para grandes volúmenes que a granel; los sacos deben estar perfectamente limpios o nuevos para evitar contaminaciones, pero permite mejor la identificación de los lotes y pueden ser estibados en los almacenes si el producto está seco (Dávila C. et al. 1986). La recepción en sacos es la mayormente empleada en las plantas de producción en Lima. Por otra parte, se añade al proceso de recepción el análisis de muestra del producto recepcionado. La forma en que el operario puede determinar las actividades a realizar en un lote de producto, es mediante un análisis de las condiciones en las cuales recibió el lote (Dávila C. et al. 1986).

### 2.4.2. Limpieza, selección y clasificación de granos

Después de que el producto es recepcionado, la operación más eficiente a realizar es la de prelimpiar los lotes para disminuir o eliminar la gran cantidad de basura que contienen. La pre - limpieza es realmente una limpieza burda. Generalmente consiste en eliminar los materiales más grandes y más pequeños que el grano, y de ser posible eliminar polvo. Esto permitirá que los granos fluyan más libremente en las máquinas y en el equipo, y se logrará aumentar la capacidad de selección y clasificación posterior. En la etapa de selección y clasificación se separa los granos y materiales indeseables por diferencias en su tamaño, peso, forma, etc. Si después de esta operación se obtiene un producto uniforme, el proceso prácticamente termina con el envasado y almacenamiento del producto, pero si no se logran buenos resultados una separación más refinada es requerida con equipos que basen su selección y clasificación en otras características físicas del producto; un selector óptico, por ejemplo (Dávila C. et al. 1986).

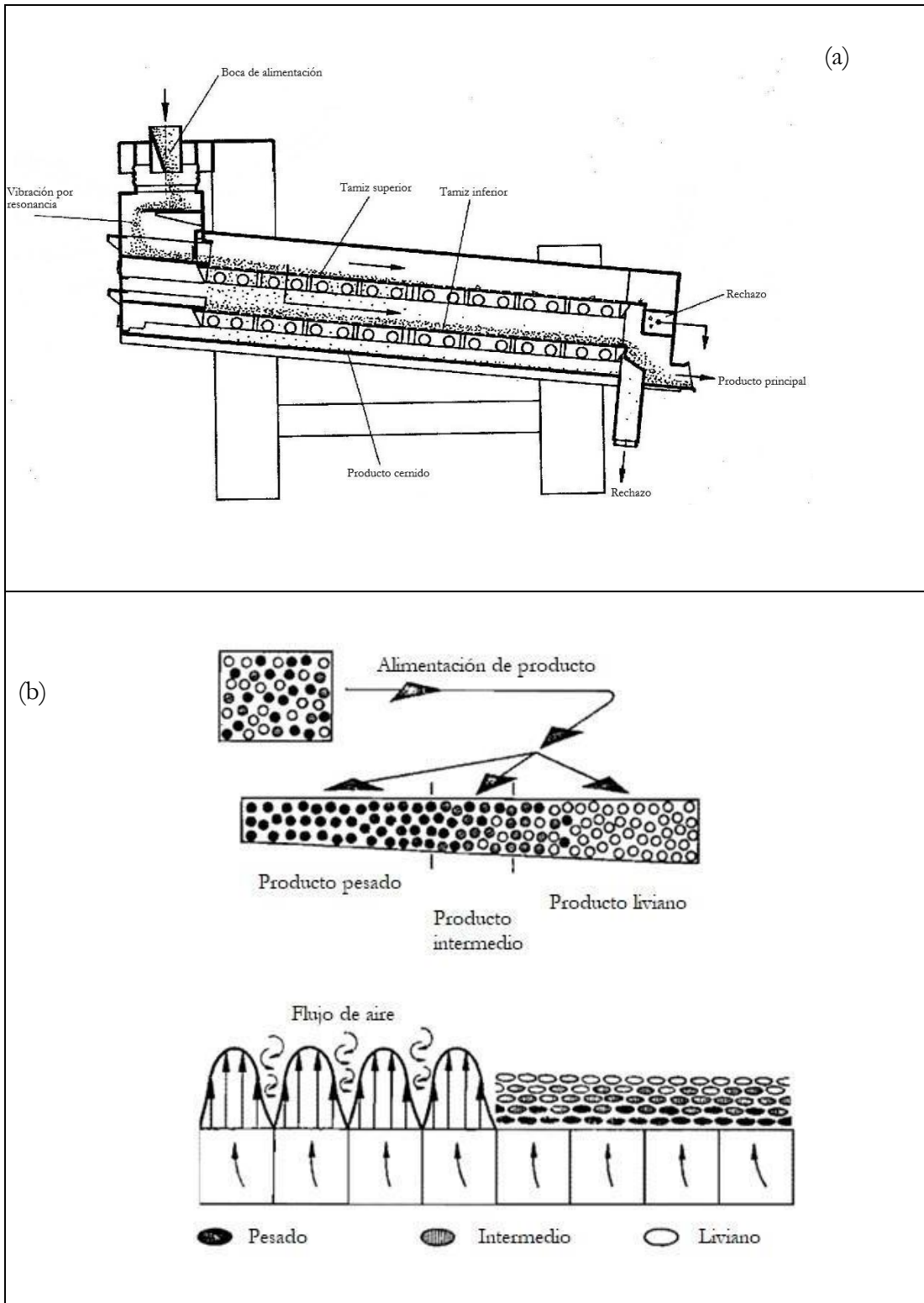
Existen muchos tipos de equipos de limpieza, selección y clasificación que requieren las propiedades físicas de los granos, ya sea de manera individual o en combinación de ellas. Algunos de estos equipos son los separadores por aire, separadores neumáticos, separadores de gravedad específica, separadores magnéticos, separadores electrostáticos y otros. El equipo ampliamente usado es el separador por aire, cuyo uso abarca desde la planta más pequeña hasta la línea industrial más grande. Los otros separadores pueden ser considerados secundarios, debido a que siempre continúan luego

de la pre limpieza obtenida del separador por aire (Harmond et al. 1968). La selección de este tipo de equipo deberá hacerse en función de la capacidad de trabajo que se requiere, del tipo de granos y las condiciones en que estos se reciben; si las impurezas con que se recepcionan los granos es demasiada, los modelos que permiten que los granos hagan un recorrido largo sobre sus zarandas harán un mejor trabajo; en cambio, cuando el lote fue previamente limpiado, los modelos de recorrido corto serán los más adecuados (Dávila C. et al. 1986).

### ***Separadores de aire***

Conocidos en la industria peruana como “Zaranda” o “Pre – limpia”, son el equipo básico que toda línea de selección de granos tiene. El principio de limpieza de este equipo se basa en algunas propiedades físicas, por ejemplo: Las propiedades dimensionales (largo, ancho y espesor), la forma (relación de aspecto, área proyectada) y la densidad del grano.

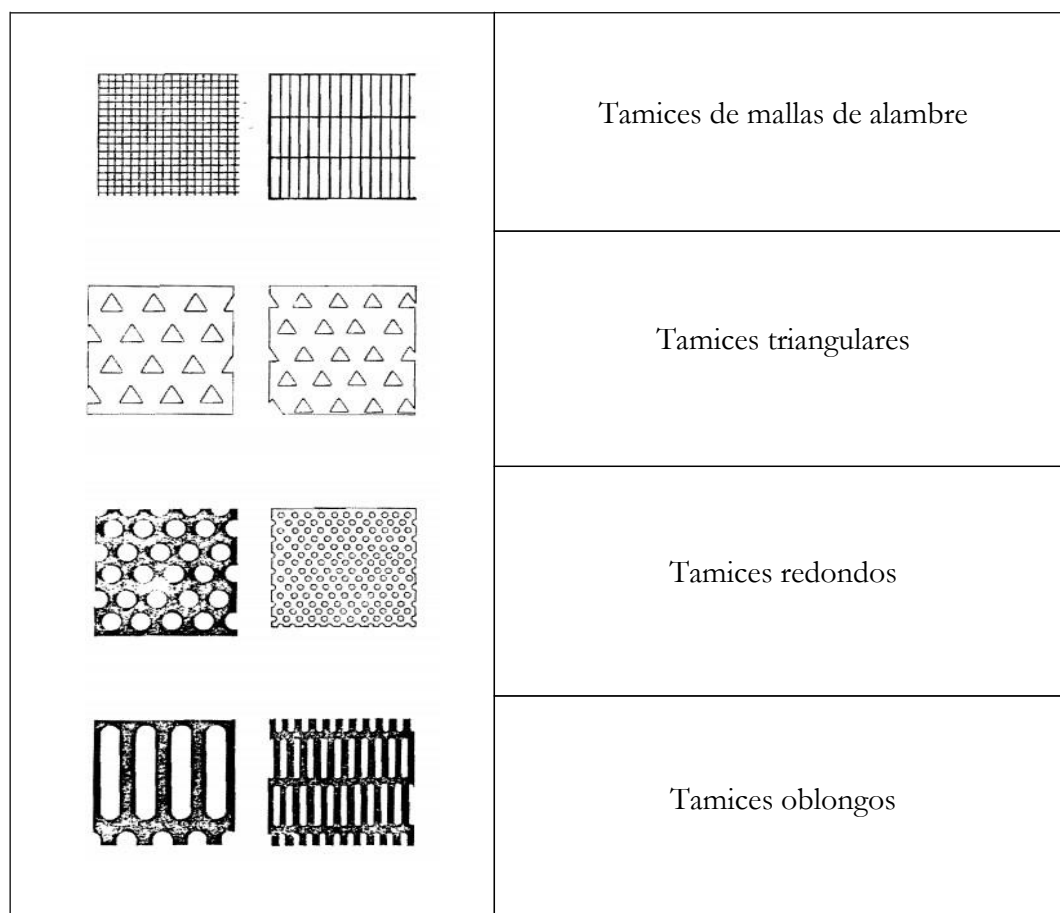
El funcionamiento general consiste en lo siguiente: el producto ingresa a través de una boca de alimentación hacia una entrada que vibra por resonancia. Mediante la torsión de la boca de alimentación el flujo de los granos llega hacia el centro de la máquina, de manera que este se distribuya por todo el ancho del tamiz; el cuál cambia dependiendo del tamaño y la forma del producto a trabajar. El producto que atraviesa el tamiz superior cae sobre el piso inferior. Al mismo tiempo, el producto evacuado de los tamices superiores se conduce hacia el conducto de rechazo. El producto cernido del piso inferior (producto principal) se evacua de igual manera como rechazo. Por otra parte, el producto principal llega a la caja de aspiración o cámara de circulación de aire, eliminando así pajillas, materia extraña que tenga menor peso y diferente tamaño que el producto principal en sí.



**Figura. 6** (a) Equipo de limpieza y selección por aire “Zaranda” o “Pre - limpia” (www.buhlergroup.com). (b) Flujo de producto en la Pre – Limpia (Dávila C. et al. 1986)

### *Sistema de Tamices o zarandas*

Los tamices o zarandas son láminas metálicas con perforaciones de varias formas. Los tipos de tamices se observan en la figura 7, estos pueden tener perforaciones redondas, oblongas, triangulares y de mallas de alambre. Las redondas y oblongas son las más utilizadas. El tamiz que separa los materiales más grandes que el grano, se conoce como tamiz superior y el tamiz en el que los materiales más pequeños que el grano lo atraviesan, se conocen como “tamiz inferior” o “zaranda clasificadora”. El número de zarandas en un equipo de separación por aire depende de su uso y posición. El arreglo recomendado es el de cuatro tamices, porque permite que los granos recorran un camino más largo y permite trabajar mayor capacidad (Dávila C. et al. 1986). Sin embargo, en la industria peruana el arreglo común usado es el de dos tamices, puesto que permite un recorrido corto de los granos y permite trabajar en menos tiempo un lote.



**Figura. 7** Tipos de tamices utilizado en la industria de los granos y semillas(Dávila C. et al. 1986)

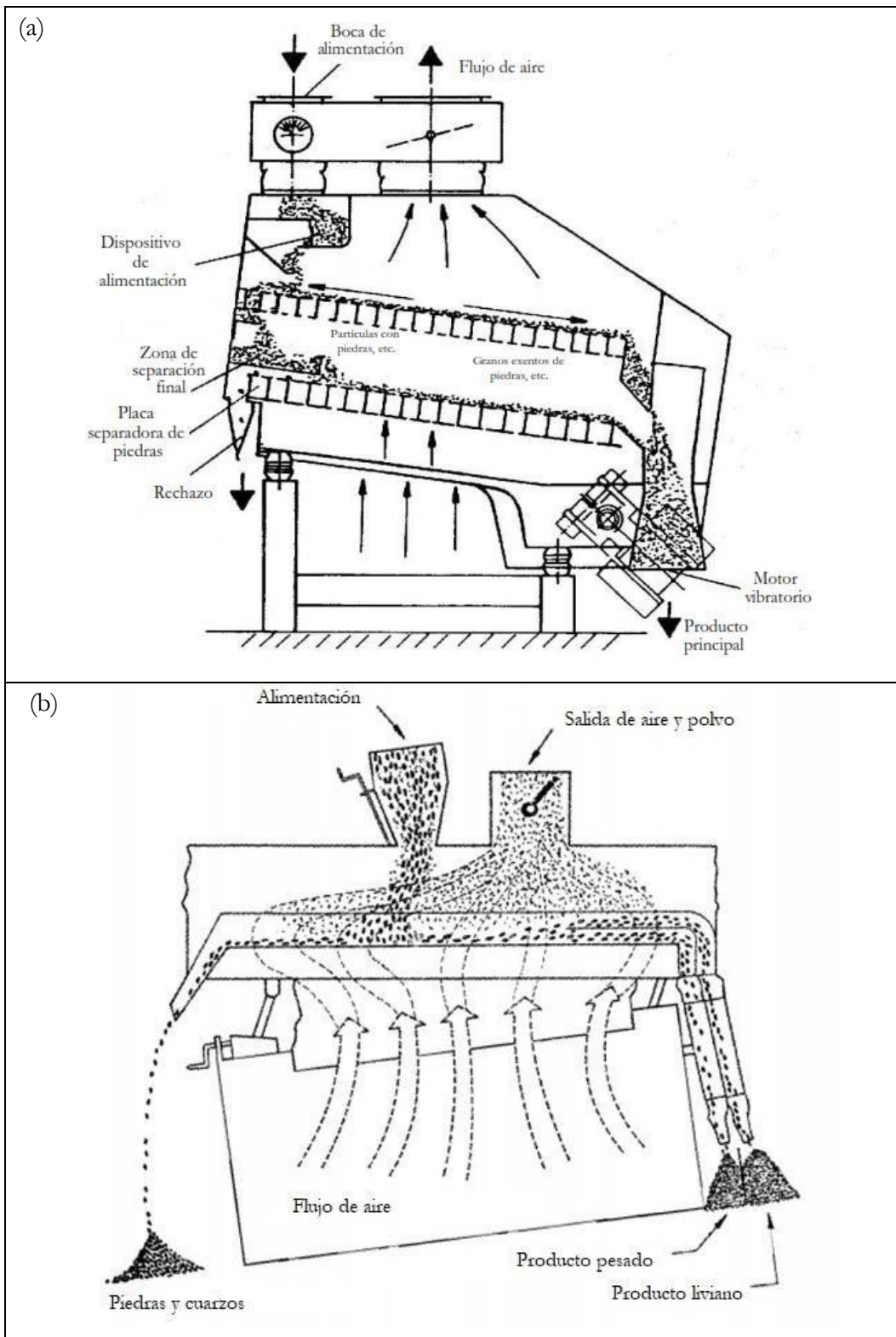
### ***Separadores de gravedad específica***

El separador de gravedad específico clasifica el material de acuerdo a la densidad o la gravedad específica. Esta unidad fue desarrollada originalmente por la industria minera para separar el mineral de la arcilla o la tierra y para clasificar el mineral en los yacimientos mineros. El separador de gravedad o “mesa gravimétrica” como se lo llama comúnmente, ha sido adaptado por la industria de alimentos para la clasificación de granos y la separación de estos, otros cultivos y contaminantes.(Harmond et al. 1968).

Una modificación de este tipo de separador es la “deschinadora” o “despredadora” cuya separación está basada en las distintas velocidades de flotación del producto y las impurezas pesadas, como piedras, metales o vidrio. El funcionamiento general de este tipo de equipo se aprecia en la figura 8, el cual consiste en dejar fluir el producto por todo el ancho de la máquina antes de llegar a una placa de clasificación previa. Sobre esta placa de selección el flujo del producto se estratifica según el peso específico: arriba se ordenan las partículas ligeras y abajo las pesadas. El tamiz inferior con las partículas pesadas fluye en dirección a la salida de rechazo y es transportada a la placa separadora de piedra. Sobre esta placa se estratifica según peso específico (arriba las ligeras, abajo las pesadas). Los granos libres de piedras fluyen hacia la salida de producto principal, con los granos procedentes de la placa separadora de piedras. Las piedras se transportan sobre el tejido de la placa separadora de piedras hacia la salida de rechazo.

#### **2.4.3. Envasado y almacenamiento**

Luego del proceso de limpieza, selección y clasificación, los granos deben envasarse en un recipiente adecuado que contendrá el producto que a ser almacenado, distribuido y comercializado. El envase protegerá al producto de las condiciones climáticas, los daños mecánicos y físicos que ocurren durante dichas operaciones, y su elección más apropiada depende de factores como: el tipo, valor del producto, protección deseada, condición de almacenamiento y capacidad de empaque. Productos con altos contenidos de almidones y con contenidos de humedad superiores al 12% así como oleaginosas con humedades superiores al 10% deberán almacenarse en recipientes porosos (Dávila C. et al. 1986).



**Figura. 8** (a) Equipo de limpieza y selección por gravedad específica “Deschinadora” o “Despredadora” ([www.buhlergroup.com](http://www.buhlergroup.com)). (b) Flujo de producto en la despredadora (Dávila C. et al. 1986)



## 2.5. Relación de las propiedades físicas con el diseño de equipos

Las propiedades físicas de los granos permiten delimitar las pautas necesarias para el diseño de maquinarias de recepción y almacenamiento. Las tovas de recepción permiten que los granos se mantengan secos, limpios, seguros, libres de plagas y en condiciones convenientes para su manejo. El diseño de una estructura de almacenamiento y cualquier maquinaria asociada, debe permitir que el grano fluya durante las operaciones de llenado, vaciado y transferencias internas. (Williams y Gracey 1996).

### 2.5.1. Diseño de una tolva de recepción o almacenamiento

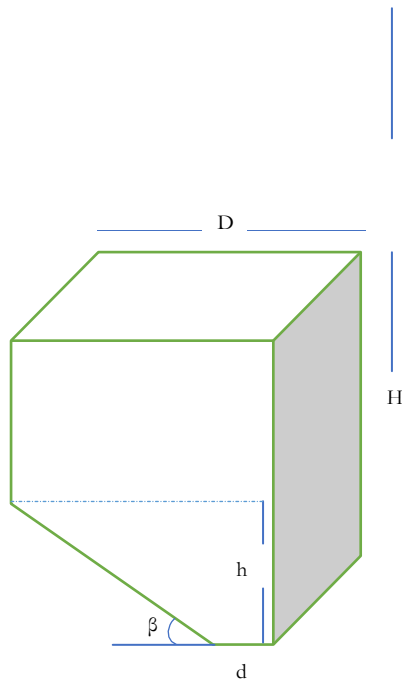
El diseño de este equipo consiste en definir las cualidades del material a utilizar y las características dimensionales necesarias para tener un adecuado almacenamiento del grano antes, durante y después del proceso de selección. Para ello debemos indicar tres principales pautas en el diseño de tolvas de recepción.

#### ***Diseño del tipo y las dimensiones de la tolva***

Inicialmente, se debe definir el tipo de tolva a utilizar. Las tolvas rectangulares y de forma trapezoidal son las comúnmente empleadas en las líneas de producción y selección de granos. Luego, debemos conocer la capacidad que deseamos trabajar por lote (en toneladas) y la densidad del producto (*Lupinus mutabilis* Sweet). A partir de estos datos se determinará el volumen requerido de la tolva. Las dimensiones requeridas en una tolva de recepción de granos de lupino se observan en la figura 9. La altura de la tolva (H), el ángulo ( $\beta$ ) y altura de inclinación(h) de la tolva se encuentran en función del ángulo de reposo del grano a una determinada humedad, el tipo de tolva y el volumen requerido a trabajar.

#### ***Determinar los esfuerzos presentes en la tolva***

Conocida las dimensiones de la tolva de recepción, es importante definir el material a utilizar (usualmente acero inoxidable de grado alimentario) para luego determinar los esfuerzos verticales y horizontales que genera el producto, estos permitirán definir el espesor del material a utilizar y dimensionar las estructuras de soporte. Estos esfuerzos se encuentran en función del coeficiente de fricción del producto con el acero inoxidable, la densidad del producto, las dimensiones de la tolva y el ángulo de fricción del grano con el material.



**Figura. 9** Esquema de una tolva de recepción de lupino andino en función del tipo de tolva, ángulo de inclinación y dimensiones requeridas para el volumen. Dónde H: altura de la tolva, D: diámetro de la boca de recepción, h: altura de inclinación de la tolva, d: diámetro de la boca de salida,  $\beta$ : ángulo de inclinación de la tolva.

### ***Estimar el caudal de salida del producto***

Importante en la dosificación de camiones o fajas transportadoras. El caudal o flujo del producto indica la cantidad de producto que fluye a través de la tolva con las dimensiones definidas en el primer punto. El flujo se encuentra en función del ángulo de inclinación de la tolva, el diámetro promedio del lupino andino a la humedad requerida y el diámetro de boca de salida.

### **2.5.2. Diseño de un equipo de selección gravimétrica**

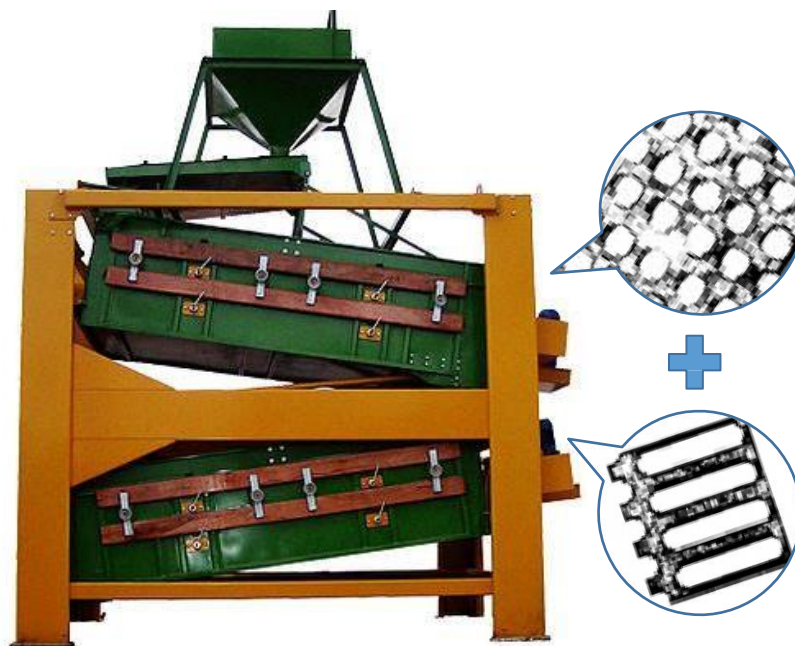
Para el diseño de este tipo de equipo debemos tener presente:

#### ***Diseño y selección del mecanismo de vibración***

Como primer requerimiento se debe realizar un análisis de vibraciones dependiendo de las características del peso específico del grano, el coeficiente de fricción y el flujo de aire, a partir de los cuales se seleccionará la potencia requerida por el motor. Mediante este análisis es posible contar con una variedad de opciones para el ajuste de la mesa dependiendo del desempeño práctico según el tipo de producto a procesar.

### ***Diseño de la mesa y selección de tamices***

Una vez seleccionado el mecanismo de vibración se procede a seleccionar el material de la mesa gravimétrica (usualmente acero inoxidable) y seleccionar los tipos de mallas requeridos a partir de las características dimensionales y la forma del grano a trabajar. Cuando se selecciona granos de forma redonda es preferible seleccionar un tamiz superior redondo con perforaciones de dimensiones ligeramente más grandes que los granos de manera que las impurezas de mayor tamaño al grano no lo atraviesen. El tamiz inferior debe tener forma oblonga y de menor tamaño que los granos para eliminar impurezas mucho más pequeñas que los mismos granos. Por otra parte, cuando los granos tienden a una forma alargada, es conveniente usar un sistema de tamices oblongos, cuya dimensión de tamiz superior sea mayor en anchura y longitud que los granos a seleccionar, de manera para que las impurezas de mayor tamaño no la atraviesen y sean retiradas. El tamiz inferior debe tener perforaciones oblongas y de dimensiones de menor tamaño que los granos para que las impurezas mucho más pequeñas sean eliminadas y los granos no sean trasladados a la zona de rechazo.



**Figura. 10** Seleccionadora y selección de tamices para granos de lupino andino a 11% de humedad (b.h.) de forma redonda. (Imagen de mesa proveniente de: Tecno Merced - Índigo Diseño Web. [www.indigodiseñoweb.com.ar](http://www.indigodiseñoweb.com.ar))

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### 3.1. Ensayos realizados

La humedad del grano fue la variable independiente para la determinación de las propiedades físicas nombradas en la Tabla. 1. Luego se realizó una correlación entre los distintos tratamientos con la humedad.

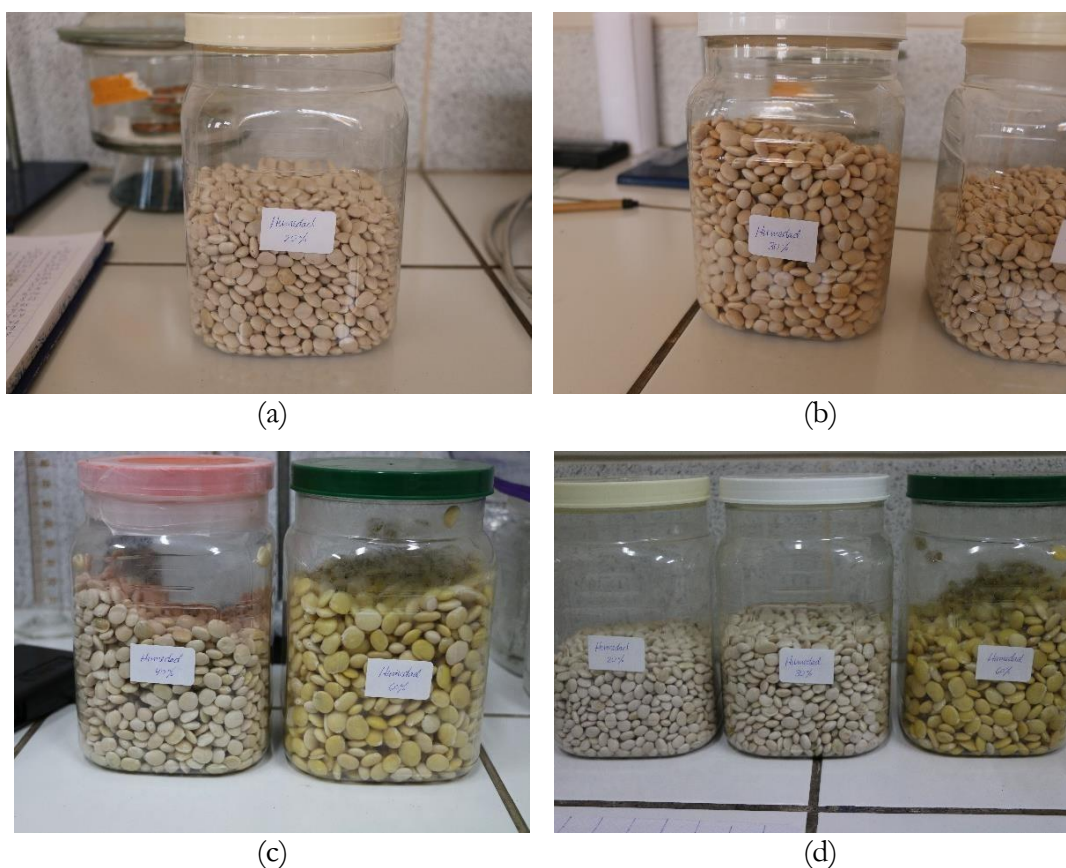
**Tabla. 1** Propiedades físicas del lupino andino, objetos de estudio en un rango de humedad de 11% a 60% (b.h.) y 21°C.

Grano	Determinación
<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet	Propiedades dimensionales (largo, ancho y grosor)
	Relación de aspecto
	Área de la superficie
	Área proyectada
	Esfericidad
	Tasa de redondez
	Masa de 1000 granos de lupino andino
	Densidad real y densidad aparente
	Porosidad
	Coefficiente de fricción
	Ángulo de reposo

#### 3.1.1. Descripción del acondicionamiento de la muestra

Se obtuvo una muestra de 14.9 kg de granos de lupino andino, *Lupinus mutabilis* Sweet, obtenidos en el mercado “La Parada” provenientes de la región Junín. La muestra fue sometida a un análisis de calidad con base en la norma técnica peruana para cereales y menestras: Tarwi NTP 205.056 (INACAL 1989) y un análisis proximal realizado en el laboratorio de evaluación nutricional de alimentos de la Universidad Agraria La Molina con base en la AOAC (2005) 984.13 para la proteína total, 203.05 para el porcentaje de grasa, 962.09 para el porcentaje de fibra cruda y 942.05 para el porcentaje de ceniza en la muestra. El porcentaje de humedad de la muestra fue obtenido con base en la norma ASAE S352.2. Se realizó la homogeneización de la muestra mediante el uso

de método del cuarteo, luego se extrajo 2.4 kg del composite de 14.9 kg. La muestra extraída de 2.4 kg fue subdividida en seis submuestras de 400 gr. Posterior a ello se acondicionaron las submuestras en seis diferentes porcentajes de humedad (11, 20, 30, 40, 50 y 60 b.h.) mediante adición directa de agua destilada en diferentes proporciones a los granos a partir de la humedad obtenida de la muestra general. La primera parte del acondicionamiento de los granos de lupino andino se realizó con referencia a Miano et al. 2015 y consistió en un sumergir los granos en agua destilada por 16 horas a 294 K en envases cerrados herméticamente. Los granos de lupino andino comienzan a ganar agua en una tasa constante luego de 8 horas y llegan a una humedad constante luego de 16 horas de la hidratación (Miano et al. 2015). La segunda parte del acondicionamiento consistió en el almacenamiento en refrigeración las submuestras por 14 días a 273 K para impedir la germinación y pérdida de las muestras.



**Figura. 11** Granos de lupino andino acondicionados a diferentes humedades (b.h.) y 21°C (a) 20% (b) 30% (c) 40 y 50% (d) 11, 30 y 60%

### 3.1.2. Determinación experimental de las propiedades físicas

#### *Propiedades dimensionales*

Para la determinación de estas propiedades se hizo uso de un calibrador digital y una balanza analítica con precisión de  $\pm 001$ . Primero se obtuvieron 976 granos de manera aleatoria proveniente de una submuestra a humedad de 11.1% (b.h.) mediante método de cuarteo, luego cada grano fue pesado. De la misma manera 96 granos se obtuvieron de manera aleatoria de cada submuestra acondicionada a una determinada humedad. Cada grano fue pesado en la balanza analítica y luego se realizaron tres mediciones para cada uno. La primera para determinar el ancho del grano (W), la segunda para determinar el largo (L) y la última, el espesor (T).

Se obtuvieron las ecuaciones dónde el diámetro geométrico ( $D_g$ ) fue obtenido según la ecuación dada por (Mohsenin 1986); (S) es el área de la superficie ( $\text{mm}^2$ ) calculada de acuerdo con (McCabe et al. 1986); ( $\phi$ ) es la efericidad (%) calculada con base en (Alibas y Koksall 2015). En las ecuaciones,  $A_R$  es la relación de aspecto (%) y  $R_R$  es la tasa de redondez (%) y  $P_A$  es el área proyectada ( $\text{mm}^2$ )

$$D_g = \sqrt[3]{LTW} \quad S = \pi D_g^2 \quad \phi = \frac{D_g}{L} \quad A_R = \frac{W}{L} \times 100 \quad R_R = \frac{4P_A}{\pi L^2} \times 100$$

#### *Masa de 1000 granos*

El peso de mil granos es útil para la determinación de diámetro equivalente, el cual puede ser usado en la estimación teórica del volumen del grano, además de las fuerzas de limpieza y aerodinámicas necesaria en los procesos (Ogunjimi et al. 2002, Ixtaina et al. 2008). Se determinó la masa de los mil granos sobre base húmeda a partir de la norma técnica peruana 2005.007:1980.

#### *Densidad real, densidad aparente y porosidad*

Los materiales usados para la determinación de la densidad real fueron tolueno y una balanza analítica de precisión  $\pm 0.001$  g. Para la determinación de la densidad aparente fue necesario una caja cúbica de vidrio plastificado de  $10 \text{ cm}^3$  y un sistema de caída constante.

Para la determinación de la densidad real se obtuvieron 30 granos de lupino andino de manera aleatoria, de una submuestra acondicionada a una determinada humedad. Estos 30 granos se procedieron a pesar en la balanza analítica, para luego ser sumergidos en tolueno que yacía dentro de una bureta graduada. Se determinó la densidad real mediante el principio de Arquímedes. Se realizó 10 repeticiones por cada submuestra.

$$\rho_r = \frac{\text{masa de 30 granos}}{\text{volumen desplazado por los 30 granos}}$$

Por otra parte, para la determinación de la densidad aparente, se hizo uso de un cubo de vidrio plastificado de volumen conocido ( $10 \text{ cm}^3$ ) en el cuál se dejaron caer granos obtenido de manera aleatoria de una humedad determinada, a una altura constante. Se enrasó y se procedió a pesar la cantidad de granos presentes en el cubo. Se realizó 10 repeticiones por cada sub muestra. La densidad aparente se calculó mediante la relación.

$$\rho_a = \frac{\text{masa de granos}}{10 \text{ cm}^3}$$



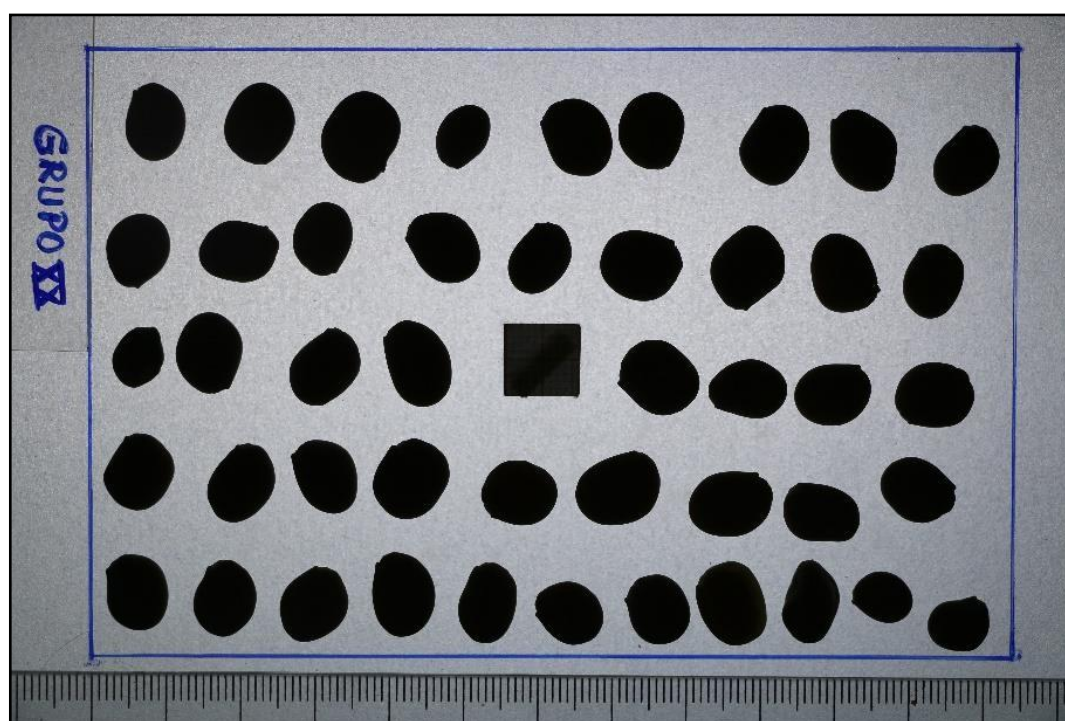
**Figura. 12** Método utilizado para la determinación de la densidad aparente de granos de lupino andino a 59.8% (b.h.) y 21°C.

### ***Área proyectada***

Se usó el software de acceso libre, ImageJ, para la determinación del área proyectada de los granos de lupino andino. Se requirió papel blanco transparente, una base de vidrio con fondo de luz blanca, y una cámara digital Cannon EOS 70D.



Se diseñó una base de vidrio para generar el contraluz; sobre la base de esta, se colocaron los granos de lupino andino a los cuales se había determinado las propiedades dimensionales. Luego a una distancia constante se procedió a tomar una foto, con acercamiento de 50X. La imagen fue llevada al software ImageJ y mediante el complemento “Measure”. Se realizó 96 repeticiones para cada sub muestra de humedad acondicionada.



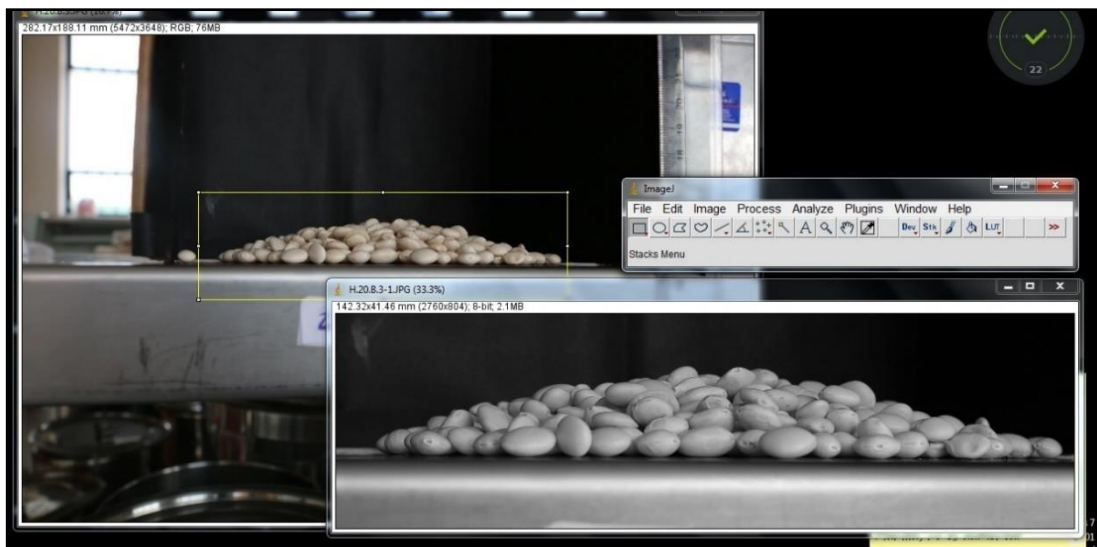
**Figura. 13** Área proyectada de granos de lupino andino a 19.6% (b.h) y 21°C.

### ***Ángulo de reposo***

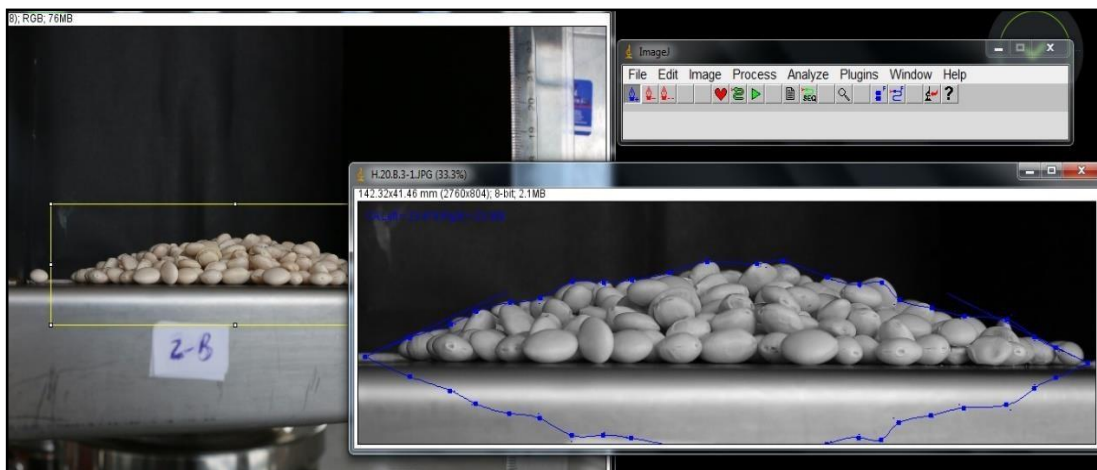
El ángulo de reposo fue determinado mediante el método de caída en cilindro usando el procedimiento descrito por (Salawu et al. 2013) y calculado mediante el programa de acceso libre ImageJ (Kurkuri et al. 2012). Se requirió de un cilindro de vidrio plastificado de (100 x 50 mm) y una cámara digital.

Se hizo uso de un cilindro hueco de 100 mm de alto y 50 mm de diámetro; las semillas se depositaron dentro del cilindro hasta llenarlo completamente, el llenado debe ser lento sin vibración o compactación para que las semillas queden lo más suelto posible. Luego se levanta lentamente el cilindro y la pila se va formando a medida que los granos van saliendo (Solaque Guzmán y Lizcano Peláez 2008). El ángulo de reposo se calculó

tomando una foto de la pila formada; la cuál fue convertida a escala de grises y seleccionada con el “Drop snake” del complemento “Drop Analysis” del programa ImageJ. Este tipo de método que combina dos pasos: tomar una foto de la pila de granos, y el cálculo del ángulo de reposo mediante un programa de procesamiento de imágenes (ImageJ) es más preciso para la medición porque toma base la forma real de la pila de los granos eliminando la asunción de un cono de forma simétrica, la principal causa de error en el método convencional (Kurkuri et al. 2012).



(a)



(b)

**Figura. 14** Programa ImageJ utilizado para la determinación del ángulo de reposo de granos de lupino andino a 19.6% (b.h.) y 21°C. (a) Captura de imagen en el programa (b) Uso del Drop Analysis.

### ***Coefficiente de fricción***

Se hizo uso de una caja sin base ni tapa (10 cm x 10 cm x 6 cm) y tres superficies de melamine, acero inoxidable y latón galvanizado respectivamente.

El coeficiente de fricción fue determinado en tres superficies diferentes, melamine, acero inoxidable y latón galvanizado. Una caja de vidrio plastificado, sin base ni tapa (10 cm x 10 cm x 6 cm) fue puesto en las diferentes superficies (Salawu et al. 2013). Fue llenado y luego jalado con ayuda de un dinamómetro. La fuerza máxima requerida para generar el desplazamiento fue registrada. Se realizó cinco repeticiones del procedimiento, por cada sub muestra acondicionada a diferente humedad. El coeficiente de fricción fue calculado por la relación dada por (Salawu et al. 2013)

$$\mu = \frac{F_t - F_e}{W}$$

Dónde  $\mu$  es el coeficiente de fricción;  $F_t$ = Fuerza requerida para el movimiento de la caja llena de granos (N);  $F_e$ =Fuerza requerida para comenzar el movimiento de la caja vacía (N);  $W$ = Peso de los granos (N).



**Figura. 15** Materiales utilizados para la determinación del coeficiente de fricción de granos de lupino andino a 59.8% (b.h.) y 21°C.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

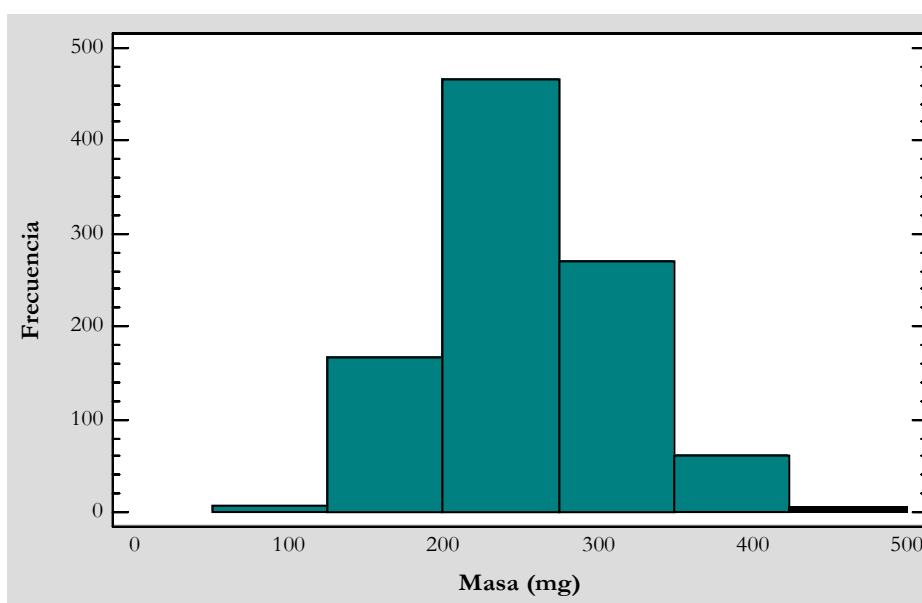
## 4.1. Propiedades dimensionales

La tabla 2 presenta el porcentaje de grasa, proteína, ceniza y carbohidratos obtenidos en la muestra. El valor obtenido fue 15.85% en grasa, 39.19% en proteína, 3.4% en ceniza, 25.85% en carbohidratos y 6.42% en fibra cruda. Los valores obtenidos en proteína y grasa se encuentran en un rango similar obtenido para el lupino andino (Gross et al. 1988, Morris 1999, Jacobsen y Mujica 2006). Por otra parte los valores de ceniza, carbohidratos y fibra cruda son menores a los obtenidos por Jacobsen y Mujica (2006)

**Tabla. 2** Análisis proximal de granos de lupino andino.

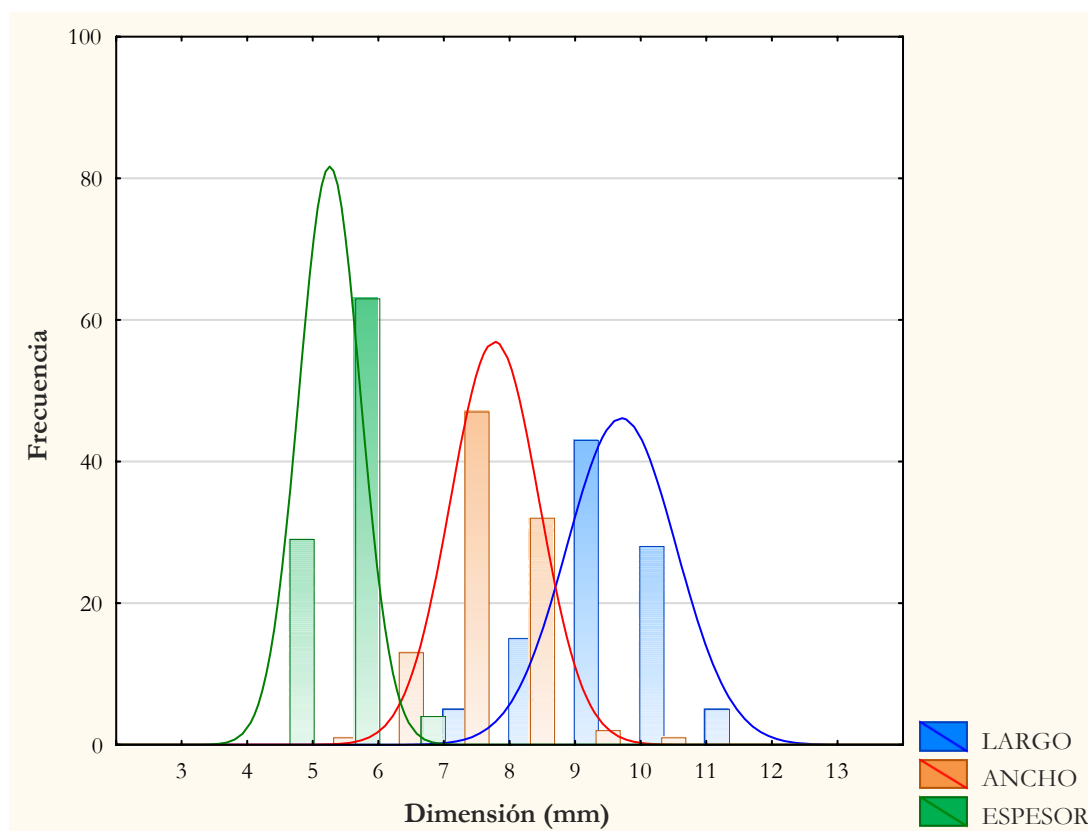
Análisis proximal	
% Grasa	15.85
% Proteína	39.19
% Ceniza	3.40
% Carbohidrato	25.85
% Fibra cruda	6.42

La distribución que sigue la masa de 976 granos de lupino andino a la humedad inicial se presenta en la figura 16. El valor promedio obtenido fue 254.7 mg. Cerca del 47.7% de los granos poseen el valor de masa en el rango de 200 a 275 mg.



**Figura. 16** Distribución de la masa y forma de 976 granos de lupino andino a humedad de 11.1% (b.h.) y 21°C.

La figura 17 muestra la curva de distribución de frecuencias de 976 granos de lupino andino. La dimensión longitudinal (largo) promedio fue de 9.9 mm. La mayor parte de los granos de lupino andino (cerca 54%) se encuentra entre 9.2 a 10.5 mm. El promedio del ancho y el espesor fueron 7.9 y 5.2 mm respectivamente. Aproximadamente un 63% del ancho varía entre 7.0 y 8.1 mm y cerca del 77% del espesor se encuentra entre 4.5 y 5.8 mm.



**Figura. 17.** Curva de distribución del largo, ancho y espesor de 976 granos de lupino a 11.1% de humedad (b.h.) y 21°C.

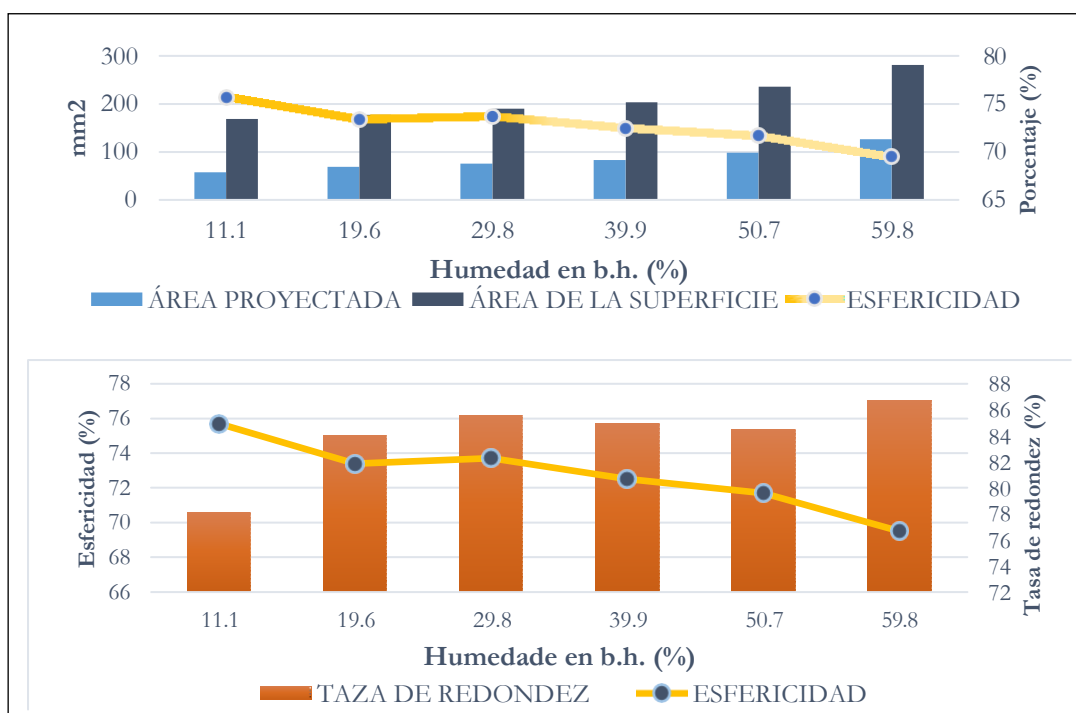
La Tabla 3 muestra la variación de la masa y el tamaño de los granos de lupino. El valor promedio de las masas calculadas para 96 granos lupino andino muestran un rango de 248.6 a 530.5 mg. El promedio del largo, ancho y espesor incrementaron de 9.7 a 13.6, 7.7 a 10.9 y 5.2 a 5.7 mm a medida que el contenido de humedad aumentó, respectivamente. Los datos obtenidos son menores a los reportados por Ögüt (1998) en su estudio de Lupino blanco (*Lupinus albus*) en un rango de 8.9 a 19.2 %. Por otra parte las dimensiones del lupino andino se observaron en un menor rango que los descritos para las semillas de calabaza (Pradhan et al. 2013) y en uno mayor para la soya (Alibas y

Koksal 2015) y cebada (Sologubik et al. 2013). El lupino andino reportó un diámetro de 7.3 mm en promedio para 96 granos a humedad inicial, menor al registrado por (Ortega-David et al. 2010) de 7.5 mm para la misma especie.

**Tabla. 3** Variación de la masa y tamaño promedio de 96 granos de lupino andino a diferentes humedades (b.h.) y 21°C

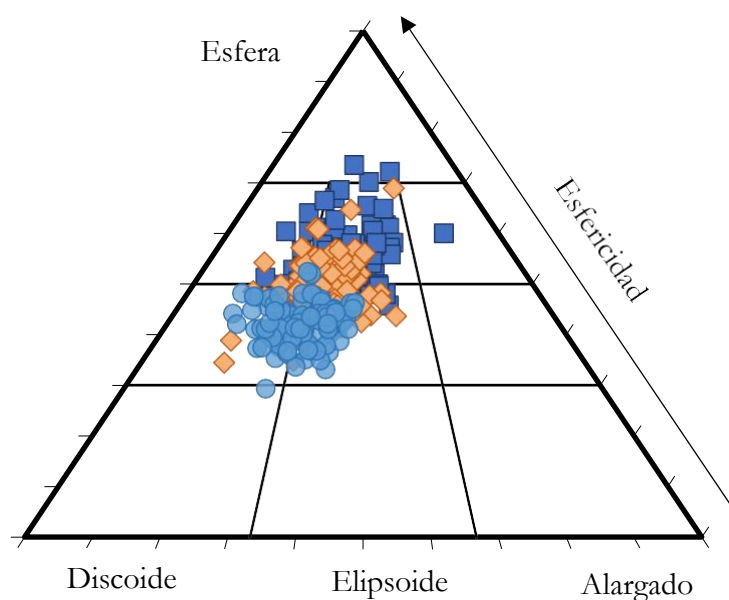
Propiedad Dimensional	Humedad (%)					
	11,1	19,6	29,8	39,9	50,7	59,8
Masa (mg)	248.6	284.3	324.3	370.3	434.0	530.5
Largo (mm)	9.7	10.2	10.6	11.1	12.1	13.6
Ancho (mm)	7.7	8.1	8.6	9.0	9.8	10.9
Espesor (mm)	5.2	5.1	5.2	5.2	5.5	5.7

Los cambios en el área superficial, área proyectada, tasa de redondez y esfericidad son presentadas en la figura 18. Se observa que el área de la superficie y la tasa de redondez aumentan en mayor grado que el área proyectada; además la esfericidad de los granos de lupino andino disminuye al incrementar la humedad. Este fenómeno se explica por el incremento del largo y ancho del grano, el cual aumenta a medida que cambia el porcentaje de humedad.



**Figura. 18** Efecto de la humedad en el área proyectada, área de la superficie, tasa de redondez y esfericidad de los granos de lupino andino.

El cambio de forma que experimentan los granos de lupino andino con respecto al aumento de la humedad es presentado en la figura 19. Se observa que a medida que la humedad incrementa, el grano de lupino pierde la forma de esferoide oblato y esta cambia hacia una forma discoide y de elipsoide aplanado. La mayor parte de los granos de lupino (cerca del 58%) obtuvieron una forma de elipsoide aplanado y el resto una forma discoide. Estos cambios de forma, se deben a la expansión que sufren los granos al ganar humedad y a la existencia de un mayor incremento del largo y ancho en comparación al espesor. Cuando el incremento del largo es ligeramente superior al ancho el grano tiende a una forma de elipsoide aplanado; mientras que cuando el incremento del ancho es ligeramente superior al largo la forma tiende a un discoide.

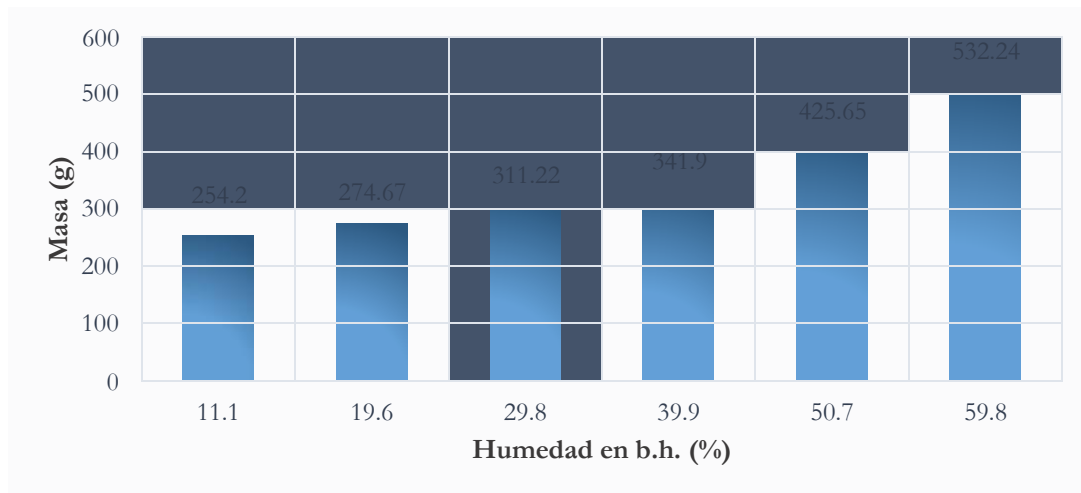


**Figura. 19** Distribución de forma (Sneed & Folk) del grano de lupino a 11.1 (■), 29.9 (◆) y 59.8 % (●) de humedad (b.h.).



## 4.2. Masa de 1000 granos

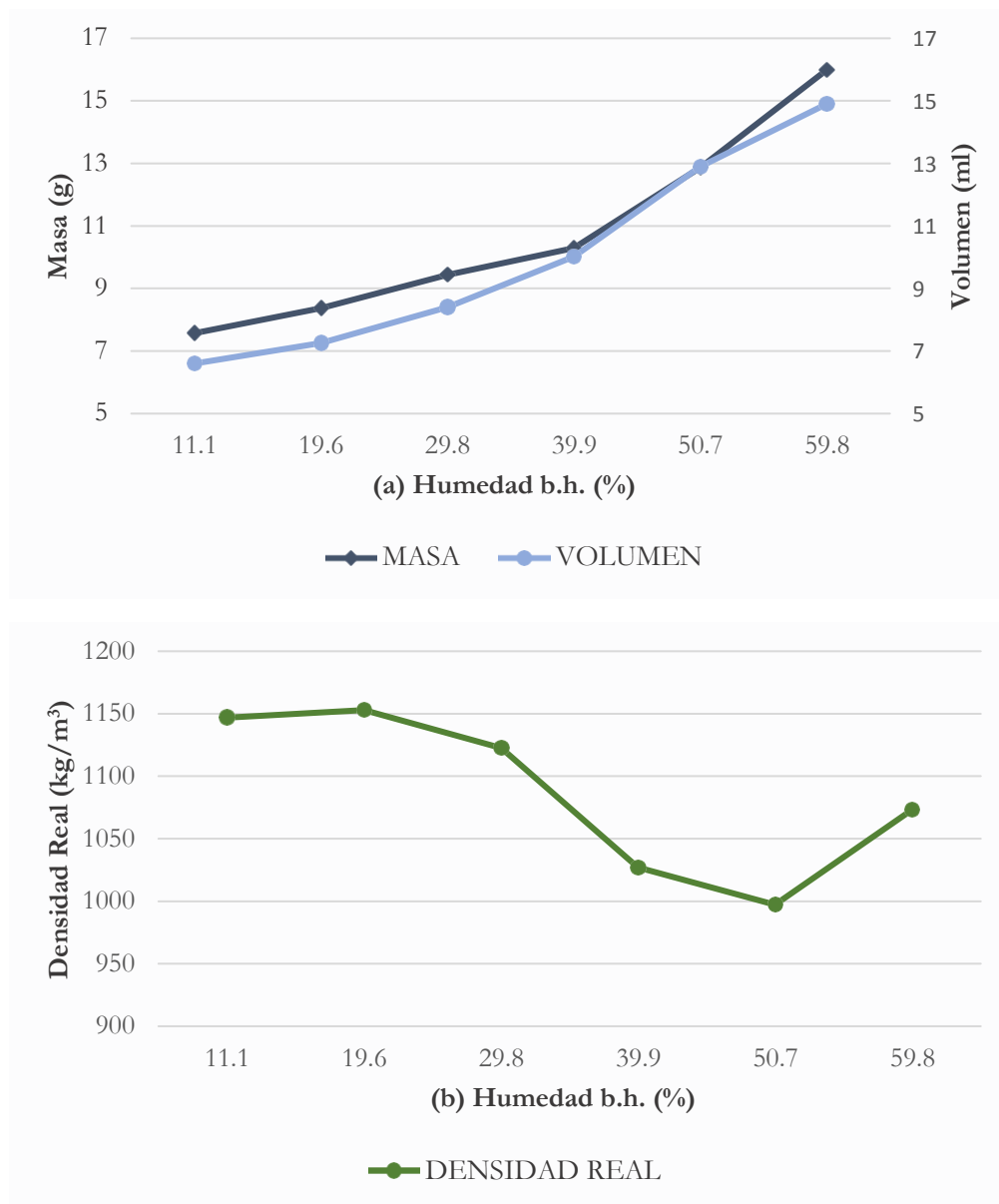
La figura 20 describe el aumento de la masa de los granos de lupino andino a medida que incrementa la humedad. Se aprecia que la masa de los 1000 granos incrementa a medida que la humedad asciende. La masa obtenida es menor a la descrita por Ögüt (1998), en el rango de 8.9 a 19.2% de humedad. Comportamientos similares han sido reportados para los granos de soya (Alibas y Koksall 2015), lentejas (Amin et al. 2004), garbanzo (Dutta et al. 1988), cebada (Sologubik et al. 2013), habas (Altuntaş y Yıldız 2007), semillas de calabaza (Pradhan et al. 2013) y girasol (Gupta y Das 1997).



**Figura. 20** Masa promedio de 96 granos de lupino andino a diferente humedad (b.h.)

## 4.3. Densidad real, aparente y porosidad

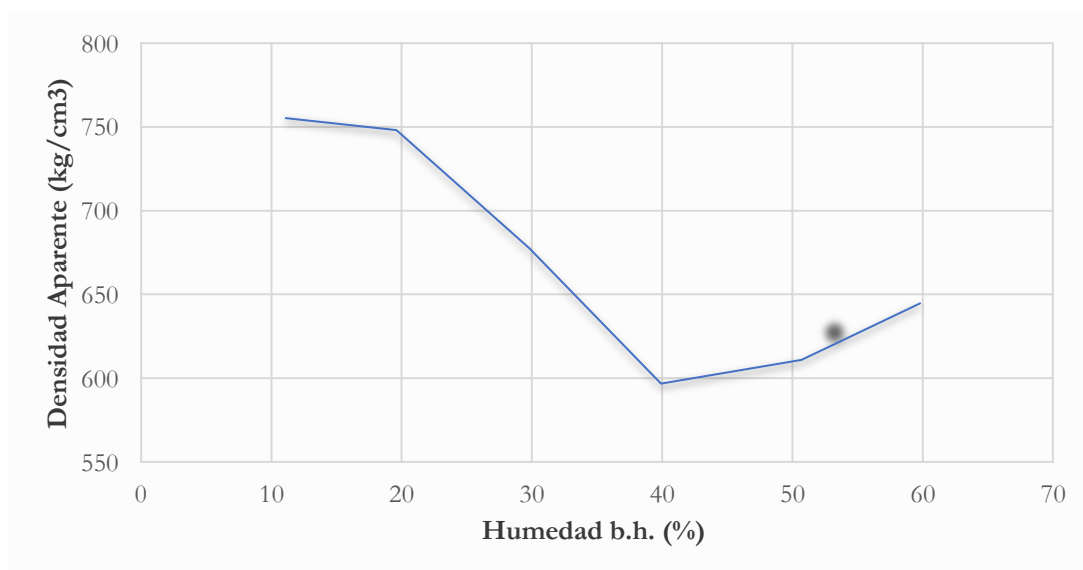
La variación que sufre la masa, el volumen y la densidad de los granos de lupino andino son expuestas en la figura 21. Se observa que tanto la masa y el volumen incrementan con la humedad, en los valores de 11.1 a 59.8%. La densidad real presenta disminución en los valores de 11.1 a 50.7% de humedad y registra un incremento al 59.8% de humedad. La razón de la disminución de la densidad real hasta el punto 50.7% se debe al hecho que el aumento de la masa causado por la humedad fue menor que la expansión del volumen experimentado por los granos. El aumento de la densidad por otra parte, se debe a lo contrario; la expansión del volumen de los granos es menor en comparación al aumento de la masa.



**Figura. 21** (a) Efecto del aumento de humedad en la masa y volumen. (b) Variación de la densidad de granos de lupino andino a diferente porcentaje de humedad.

La disminución de la densidad real ha sido reportada en soya, lenteja y garbanzo (Alibas y Koksal 2015, Amin et al. 2004, Dutta et al. 1988). Por otro lado, los valores obtenidos en el estudio son similares a los observados por Ögüt (1998) en lupino blanco en el rango de 9.8 a 19.2% de humedad. Así mismo el incremento de la densidad ha sido reportado en habas y semillas de girasol (Altuntaş y Yıldız 2007, Gupta y Das 1997).

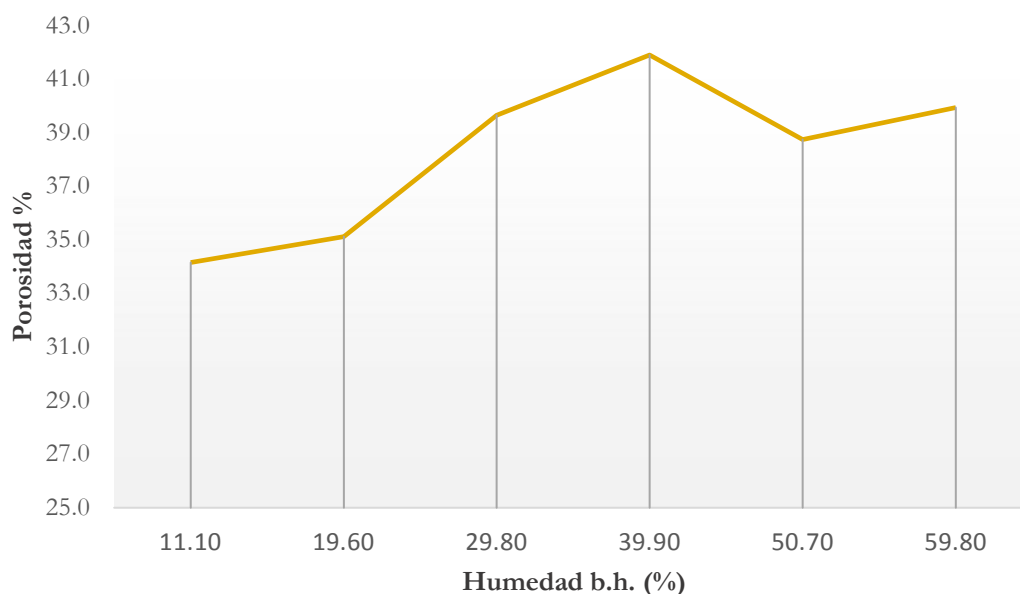
La figura 22 presenta la variación que sufre la densidad aparente de los granos de lupino andino con el aumento de la humedad. Se observa que a medida que la humedad aumenta la densidad aparente disminuye así mismo al 40% de humedad, la densidad empieza a incrementar. Este comportamiento en la disminución se puede deber al hecho de que el aumento de la masa resultó menor a la expansión de volumen de los granos; el espacio entre los granos húmedos fue mayor al de los granos menos húmedos por lo tanto se generó mayor compactación en los granos menos húmedos (Sologubik et al. 2013). Por otra parte, el aumento de la densidad se debe a que la masa de los granos aumentó en contraste con la disminución de la compactación, debido al cambio de forma del grano a discoides y elipsoides aplanados que generaron mayor fricción y capacidad de retención de agua.



**Figura. 22** Efecto del incremento de humedad en la densidad aparente de granos de lupino andino.

Los cambios que sufre la porosidad con el incremento de la humedad son presentados en la figura 23. La porosidad de los granos de lupino andino a diferentes humedades aumentó desde 34.1 a 41.9 en el rango de 11.1 a 39.9% de humedad y luego registró una pequeña caída al 50.7% de humedad. La razón de este incremento se puede explicar de la siguiente manera: mientras que los granos absorben la humedad, aumenta su volumen individual, especialmente debido al incremento de su longitud (que crece más rápidamente que la anchura y espesor); en consecuencia, su volumen aparente. Este

comportamiento hace que el número de granos que ocupan un volumen fijo disminuya. Pero, como el cambio de volumen producido por mojar el grano afecta a sus dimensiones características, alterando principalmente la longitud, este influye más en la densidad aparente resultante que en la densidad real del grano, generando el aumento de la porosidad.(Solomon y Zewdu 2009).

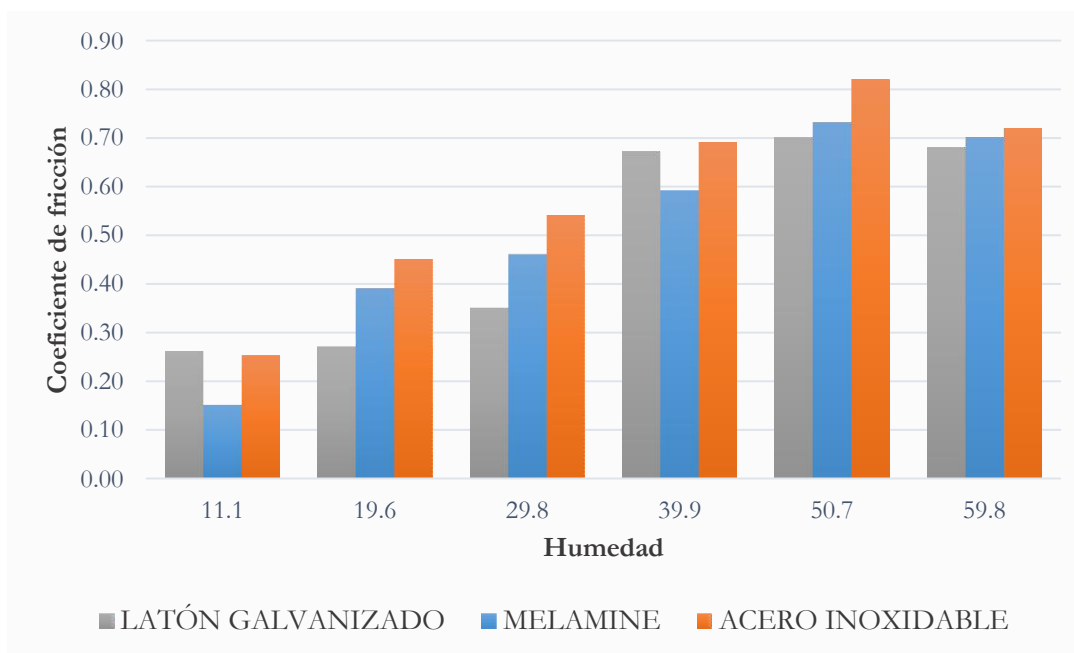


**Figura. 23** Efecto de la variación de humedad en la porosidad de los granos de lupino andino.

#### 4.4. Coeficiente de fricción

La figura 24 presenta el coeficiente de fricción de los granos de lupino andino sobre diferentes superficies y a diferentes humedades. Se observa que la fricción de los granos aumenta cuando existe incremento de la humedad; el mayor coeficiente de fricción se obtuvo sobre el acero inoxidable, en comparación con las otras superficies. A la humedad de 59.8% la fricción descende, esto debido a que probablemente el agua en la superficie del grano migra muy fácilmente hacia el exterior. Los valores obtenidos de coeficiente de fricción son mayores que los granos de soya (Alibas y Koksall 2015) sobre acero inoxidable y la cebada (Sologubik et al. 2013) sobre acero galvanizado. Son menores que las semillas de girasol (Gupta y Das 1997) sobre diferentes superficies; así mismo

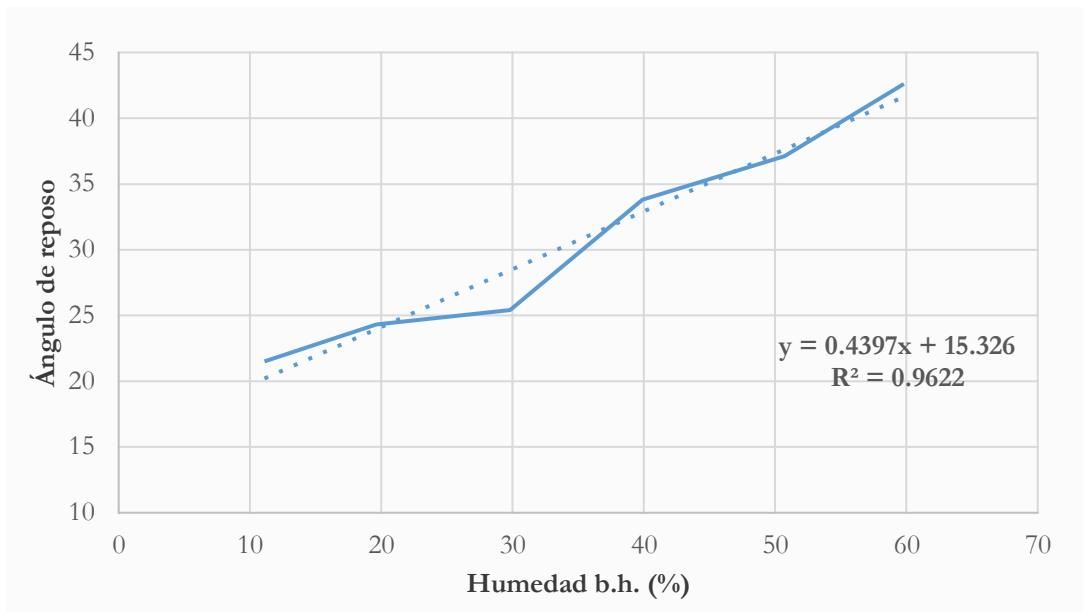
menores que las habas (Altuntaş y Yıldız 2007) y el lupino blanco (Ögüt 1998) sobre acero galvanizado.



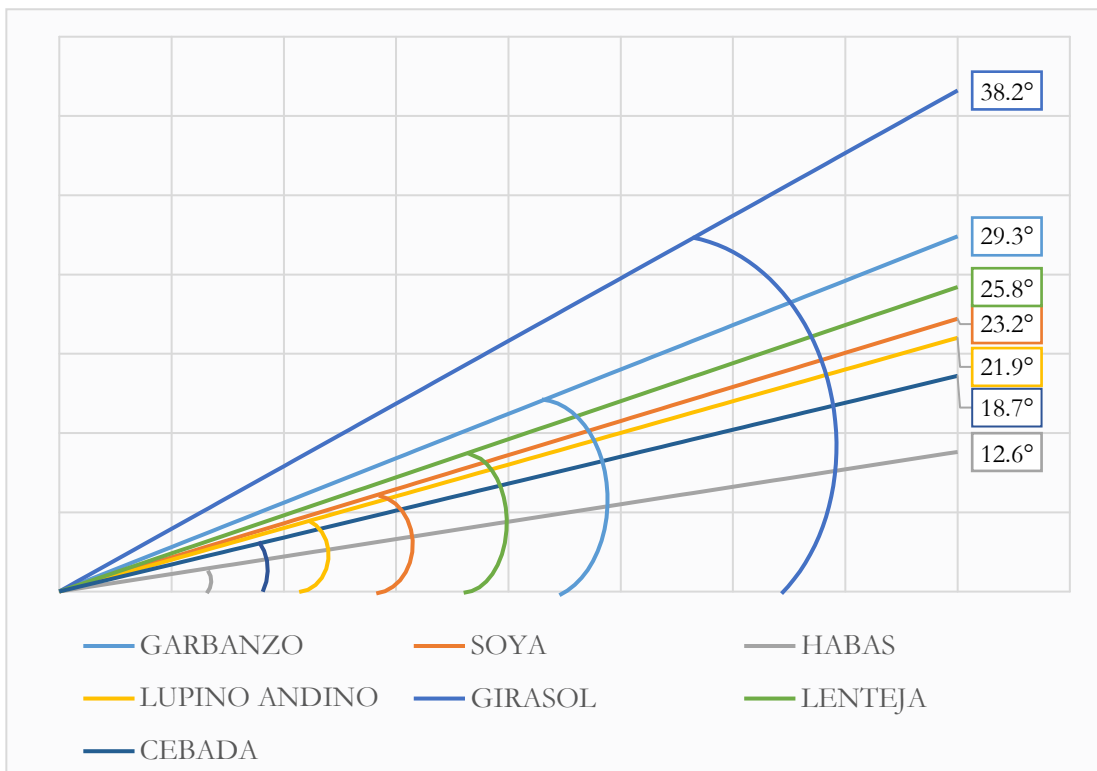
**Figura. 24** Efecto de la humedad en el coeficiente de fricción sobre diferentes superficies.

#### 4.5. Ángulo de reposo

La figura 25 presenta los ángulos de reposo del lupino andino a humedades estudiadas desde 11.1 a 59.8% de humedad. Se observa que a medida que la humedad del lupino aumenta, el ángulo de reposo también aumenta. Por otra parte, la figura 26 presenta los ángulos de reposo a 15% de humedad del lupino andino y otros granos. Los valores obtenidos fueron similares a los granos de soya (Alibas y Koksal 2015). Por otro lado, los valores obtenidos fueron menores que en granos de lenteja, garbanzo y girasol (Amin et al. 2004, Gupta y Das 1997, Dutta et al. 1988). De lo contrario, fueron mayores a las habas y la cebada (Altuntaş y Yıldız 2007, Sologubik et al. 2013).



**Figura. 25** Efecto de la humedad en el ángulo de reposo de los granos de lupino andino.



**Figura. 26** Ángulo de reposo de garbanzo (Dutta et al. 1988), soya (Alibas y Koksal 2015), habas (Altuntaş y Yıldız 2007), lupino andino, girasol (Gupta y Das 1997), lenteja (Amin et al. 2004) y cebada (Sologubik et al. 2013) a 15% de humedad.

## 5. CONCLUSIONES

Como se evidencia en el estudio, el aumento en el contenido de humedad en el lupino andino genera un incremento significativo en las propiedades dimensionales (largo, ancho y espesor), el área de la superficie, área proyectada, esfericidad y la tasa de redondez de los granos. Lo que comprueba la hipótesis que se estableció con el objetivo de determinar las propiedades físicas del lupino andino (*Lupinus mutabilis* Sweet) y el efecto que produce la variación de la humedad sobre estas propiedades.

En los rangos de humedad estudiados (11.1 a 59.8%), los valores de la relación de aspecto, área de la superficie, área proyectada esfericidad, tasa de redondez, ángulo de reposo y las propiedades dimensionales (largo, ancho y espesor) presentaron un crecimiento lineal. El largo, ancho y espesor presentaron crecimientos estimados del 40, 38 y 9.6% respectivamente.

El aumento en el contenido de humedad generó una variación en la forma de los granos de lupino andino. Los granos cambian de una forma de esferoide oblato hacia una forma discoide y de elipsoide aplanado al aumentar la humedad. Este fenómeno influye en el tipo de tamiz a utilizar en los procesos de recepción, limpieza y selección. Es recomendable el uso de un tamiz redondo en granos de forma esferoide porque esto permitirá que las impurezas de diferente forma y mayor tamaño pasen fácilmente a la zona de rechazo durante la limpieza y selección. Por otro lado, un tamiz oblongo será el adecuado para un grano de forma elipsoide aplanado.

El aumento en el contenido de humedad en los granos de lupino andino evidenció que los valores de la densidad real presentan una disminución constante. Sin embargo, en el contenido de humedad superior al 50.7%, estos valores presentaron un incremento.

El incremento en el contenido de humedad en los granos de lupino andino demostró que los valores de la densidad aparente presentan una disminución constante. Sin embargo, en el contenido de humedad superior al 39.9%, estos valores presentaron un incremento, debido a la variación de la forma y volumen de los granos.

En los rangos de humedad estudiados (11.1 a 50.7%), los valores del coeficiente de fricción presentaron un crecimiento lineal. Sin embargo, en el contenido de humedad superior al 50.7%, estos valores presentaron una pequeña disminución, debido

a que el agua presente en el grano emigra fuera de los poros de este y esto genera una menor resistencia a la fricción. Este fenómeno influye en el deslizamiento el grano dentro de las tolvas y máquinas de procesamiento.

La influencia de la humedad en las propiedades físicas del lupino andino en los procesos de recepción, limpieza y selección permite delimitar que características debe considerarse en el tipo y tamaño de tamices, el tipo de superficies a usar en los equipos, la resistencia al transporte, la potencia de los equipos, y las características iniciales (ángulos de caída, bocas de alimentación, altura, et.) de las tolvas de recepción dentro de una línea de procesamiento de granos.



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alibas, I; Koksai, N. 2015. The effect of moisture content on physical, mechanical and rheological properties of soybean (*Glycine max* cv. ATAEM-II) seed. *Legume Research* 38(3): 324-333.

Altuntaş, E; Yıldız, M. 2007. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba* L.) grains. *Journal of Food Engineering* 78: 174-183.

Amin, MN; Hossain, MA; Roy, KC. 2004. Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. *Journal of Food Engineering* 65: 83-87.

Berk, Z. 2013. *Physical Properties of Food Materials*. Food Science and Technology: Food Process Engineering and Technology. Second Israel, Academic Press, p.1-27.

Cremer, HD. 1983. Current aspects on legumes as a food constituent in Latin America with special emphasis on lupines: Introduction. *Qual Plant Plant Foods Hum Nutr* 32: 95-100.

Dávila C., SI; Peske, S; Aguirre, R. 1986. Beneficio de semillas. 1986: 5, 64-68,78,84-87,108,112,141-147.

Dutta, SK; Nema, VK; Bhardwaj, RK. 1988. Physical properties of gram. *Journal of Agricultural Engineering Research* 39(4): 259-268.

FAO. 2016. *Beneficios Nutricionales de las Legumbres*. 2016.

FAOSTAT. 2019. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. Consultado 26 may 2016. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/en/#home>

Fraile, ME; García Suárez, MD; Martínez Bernal, A; Slomianski, R. 2007. *Nutritivas y apetecibles : conozca de leguminosas comestibles*. Parte I. Hojas, vainas y semillas. *Contactos* no.66: 27-35.

Garnero, S. 2006. *Calidad intrínseca de los granos en la poscosecha*. s.l., Universidad Católica de Córdoba.

Situación actual de la investigación alimentaria del lupino. Proyecto Lupino.

(1982, Lima, Perú). 1982. Ed. Gross, R. Lima, Perú,

Gross, R; Von Baer, E; Koch, F; Marquard, R; Trugo, L; Wink, M. 1988. Chemical composition of a new variety of the Andean lupin (*Lupinus mutabilis* cv. Inti) with low-alkaloid content. *Journal Food Composition and Analysis* 1(4): 353-361.

Gupta, RK; Das, SK. 1997. Physical Properties of Sunflower Seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66(1): 1-8.

Harmond, J; Brandenburg, N; Klein, L. 1968. Mechanical seed cleaning and handling. *Mechanical seed cleaning*. no.354: 58.

Hatzold, T; Elmadfa, I; Gross, R. 1983. Edible oil and protein concentrate from *Lupinus mutabilis*. *Qual Plant Plant Foods Hum Nutr* 32: 125-132.

INACAL. 1989. Cereales y menestras. Tarwi NTP 205.056. INDECOPI, Lima, Perú, sep. 28:4-8.

Ixtaina, VY; Nolasco, SM; Tomas, MC. 2008. Physical properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Industrial Crops and Products* 28(3): 286-293.

Jacobsen, S-E; Mujica, A. 2006. El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *Botanica Económica de los Andes Centrales* 2006: 458-482.

Jianqian, K; Guoqing, H. 2012. *Water. Food chemistry*. New York, USA, Nova, p.9-36.

Kisan, M; Sangathan, S; Nehru, J; Pitroda, SG. 1973. Method for determination of angle of repose of grains. 1973: 4-8.

New Method of Measuring the Angle of Repose of Hard Wheat Grain (2012, Wellington, New Zealand). 2012. Ed. Kurkuri, MD; Randall, C; Losic, D. Wellington, New Zealand, Engineers Australia. 1814-1821 p.

McCabe, WL; Smith, JC; Harriot, R. 1986. *Unit Operations of Chemical Engineering*. New York, USA, McGraw-Hill.

Miano, AC; García, JA; Augusto, PED. 2015. Correlation between morphology, hydration kinetics and mathematical models on Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) grains. *LWT - Food Science and Technology* 61(2): 290-298.

MINAGRI. 2019. Series históricas de producción agrícola. Consultado 25 may 2016. Disponible en <http://frenteweb.minagri.gob.pe/>

Mohsenin, NN. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Material*. New

York, USA, Gordon and Breach Science Publishers, 238–241.

Morris, A. 1999. The Agricultural Base of the Pre-Incan Andean Civilizations. *The Geographical Journal* 165(3): 286-295.

Manejo post cosecha de Arroz (1991, Chillan, Chile). 1991. Ed. Muñoz Cisternas, RM. Chillan, Chile,

Tropical Legumes: Resources for the future (1979, Washington, DC). 1979. Ed. National Academy of Sciences. Washington, DC, National Research Council. 331 p.

Ogunjimi, LAO; Aviara, NA; Aregbesola, OA. 2002. Some engineering properties of locust bean seed. *Journal of Food Engineering* 55: 95-99.

Ögüt, H. 1998. Some Physical Properties of White Lupin. *Journal of Agricultural Engineering Research* 69: 273-277.

Ortega-David, E; Rodríguez, A; David, A; Zamora-Burbano, Á. 2010. Caracterización de semillas de lupino (*Lupinus mutabilis*) sembrado en los Andes de Colombia. *Acta Agronómica* 59(1): 111-118.

Pradhan, RC; Said, PP; Singh, S. 2013. Physical properties of bottle gourd seeds. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 15(1): 106-113.

ProChile. 2013. Oportunidades para el Lupino. 2013: 3-21.

Salawu, AT; Suleiman, M.; Isiaka, M. 2013. Physical properties of *Jatropha curcas* seed. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 16(4).

Salmanowicz, BP. 1999. Primary structure and polymorphism of 2S albumins from seeds of Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet). *European Food Research Technology* 209: 416.

Santos, C; Ferreira, R; Teixeira, A. 1997. Seed proteins of *Lupinus mutabilis*. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 45: 3821-3825.

Sathe, S; Deshpande, S; Salunkhe, D. 1982. Functional properties of lupin seed (*Lupinus mutabilis*) proteins and proteins concentrates. *Journal Food Science* 47: 491-497.

Schoeneberger, H; Gross, R; Cremer, HD; Elmadfa, I. 1982. Composition and protein quality of *Lupinus mutabilis*. *Journal of Nutrition* 112: 70-76.

Sneed, E; Folk, RL. 1958. Pebbles in the lower Colorado River, Texas, a study in particle morphogenesis. *Journal of Geology* 66: 114-150.

Solaque Guzmán, DP; Lizcano Peláez, A. 2008. Ángulo de fricción crítico y ángulo de reposo de la arena del Guamo. Revista Épsilon 11(Julio): 7-19.

Sologubik, CA; Campanone, LA; Pagano, AM; Gely, MC. 2013. Effect of moisture content on some physical properties of barley. Industrial Crops and Products 43: 762-767.

Solomon, WK; Zewdu, AD. 2009. Moisture-dependent physical properties of niger (*Guizotia abyssinica* Cass.) seed. Industrial Crops and Products 29(1): 165-170.

Tapia, ME; Fries, AM; FAO; ANPE. 2007. Guía de Campo de los Cultivos Andinos. Guía de Campo de los Cultivos Andinos. Primera Ed Lima, Perú, s.e., p.7,10,96-102.

Villacrés, E; Navarrete, M; Lucero, O; Espín, S; Peralta, E. 2010. Evaluación del rendimiento, características físico-químicas y nutracéuticas del aceite de chocho (*Lupinus mutabilis* sweet). Revista Tecnológica ESPOL-RTE 23(2): 57-62.

Williams, DB; Gracey, AD. 1996. Mantenimiento y funcionamiento de silos. 1996: 19.

**Tabla A1** Propiedades dimensionales de 96 granos de lupino andino a humedad de 11.1% (b.h.)

Masa (mg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espe-sor (mm)	Diáme-tro aritmé-tico (mm)	Diámetro geomé-trico (mm)	% Esfericidad ( $\Phi$ )	Rela-ción de aspec-to	Área superficial (mm <sup>2</sup> )	Área proyectada (mm <sup>2</sup> )
277.4	9.40	8.19	5.74	23.33	7.62	81.03	87.13	182.26	60.47
273.1	9.79	8.05	5.69	23.53	7.65	78.18	82.23	184.05	61.06
361.6	11.24	9.02	5.75	26.01	8.35	74.32	80.25	219.24	77.95
273.6	9.58	8.31	5.06	22.95	7.39	77.09	86.74	171.35	62.19
218.4	8.99	6.96	5.53	21.48	7.02	78.09	77.42	154.84	46.88
296.7	9.92	7.61	6.06	23.59	7.71	77.67	76.71	186.52	56.52
206.5	8.67	7.12	5.67	21.46	7.05	81.28	82.12	156.03	45.23
243.1	9.95	7.62	5.12	22.69	7.29	73.32	76.58	167.18	60.44
294.5	10.42	7.74	5.41	23.57	7.58	72.79	74.28	180.73	63.93
229.2	9.63	7.58	4.88	22.09	7.09	73.61	78.71	157.87	54.33
309.0	10.91	8.17	5.38	24.46	7.83	71.74	74.89	192.47	67.88
297.2	10.74	9.18	5.03	24.95	7.92	73.70	85.47	196.83	70.46
220.4	9.68	8.18	4.79	22.65	7.24	74.78	84.50	164.61	52.39
182.0	7.91	6.66	5.54	20.11	6.63	83.86	84.20	138.23	39.75
296.1	11.07	8.09	5.31	24.47	7.81	70.51	73.08	191.40	66.81
210.6	8.54	7.22	5.16	20.92	6.83	79.94	84.54	146.41	49.66
366.2	10.62	8.45	6.53	25.60	8.37	78.80	79.57	220.00	70.27
239.4	9.23	7.58	5.50	22.31	7.27	78.80	82.12	166.20	52.65
202.2	9.17	6.98	4.86	21.01	6.78	73.89	76.12	144.23	49.10
284.3	9.47	8.02	5.76	23.25	7.59	80.16	84.69	181.04	54.96
228.2	10.45	7.22	4.78	22.45	7.12	68.12	69.09	159.17	57.45
278.0	10.36	8.74	5.74	24.84	8.04	77.61	84.36	203.08	66.69
263.3	8.94	8.18	5.39	22.51	7.33	82.01	91.50	168.89	57.13
303.3	10.29	8.50	5.54	24.33	7.85	76.33	82.60	193.81	66.85
198.6	9.56	7.36	4.42	21.34	6.78	70.87	76.99	144.21	53.33
244.0	9.62	7.18	5.59	22.39	7.28	75.69	74.64	166.58	52.11
191.5	9.11	7.08	4.61	20.80	6.67	73.27	77.72	139.95	47.82
215.5	10.24	7.97	4.59	22.80	7.21	70.40	77.83	163.25	55.78
237.2	10.00	7.75	4.74	22.49	7.16	71.62	77.50	161.14	55.78
335.0	9.69	8.49	6.48	24.66	8.11	83.68	87.62	206.55	61.46
255.4	11.03	8.66	4.28	23.97	7.42	67.29	78.51	173.05	73.44
238.0	9.98	7.68	4.92	22.58	7.22	72.39	76.95	163.98	58.23
268.7	10.01	8.22	5.29	23.52	7.58	75.71	82.12	180.44	62.80
244.6	10.46	7.83	4.78	23.07	7.32	69.94	74.86	168.12	59.74
266.4	10.23	7.87	5.18	23.28	7.47	73.03	76.93	175.36	59.01
202.7	9.62	7.91	4.25	21.78	6.86	71.35	82.22	148.02	56.75
195.6	7.90	6.93	5.41	20.24	6.67	84.38	87.72	139.59	41.75
299.8	10.24	7.95	5.66	23.85	7.72	75.43	77.64	187.42	63.43
249.7	9.12	7.79	5.71	22.62	7.40	81.17	85.42	172.16	53.97
224.3	9.35	8.03	4.67	22.05	7.05	75.42	85.88	156.21	58.08
225.5	9.12	7.96	5.15	22.23	7.20	78.99	87.28	163.04	52.93
259.4	9.20	8.11	5.55	22.86	7.45	81.02	88.15	174.54	56.58
282.2	9.86	8.01	5.59	23.46	7.61	77.23	81.24	182.15	59.84
260.4	9.84	8.14	5.09	23.07	7.42	75.36	82.72	172.73	60.01
136.2	8.04	6.00	4.59	18.63	6.05	75.25	74.63	114.98	36.45
191.5	8.53	7.24	4.92	20.69	6.72	78.81	84.88	141.99	46.16
155.4	8.81	6.50	4.37	19.68	6.30	71.53	73.78	124.76	45.04
253.2	10.11	8.01	4.74	22.86	7.27	71.88	79.23	165.93	61.61
280.5	10.54	8.14	5.67	24.35	7.86	74.62	77.23	194.32	63.59

**Tabla A2 (continuación)** Propiedades dimensionales de 96 granos de lupino andino a humedad de 11.1% (b.h.)

Masa (mg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espe-sor (mm)	Diáme-tro aritmé-tico (mm)	Diámetro geomé-trico (mm)	% Esfericidad ( $\Phi$ )	Rela-ción de aspec-to	Área superficial (mm <sup>2</sup> )	Área proyectada (mm <sup>2</sup> )
273.6	10.20	7.73	5.24	23.17	7.45	73.02	75.78	174.27	61.98
250.2	9.44	7.51	5.40	22.35	7.26	76.92	79.56	165.64	54.94
187.5	7.71	6.79	5.66	20.16	6.67	86.47	88.07	139.63	39.55
267.0	9.90	8.01	5.32	23.23	7.50	75.76	80.91	176.71	60.50
187.6	8.37	6.60	5.06	20.03	6.54	78.12	78.85	134.31	43.77
263.3	10.02	7.89	5.20	23.11	7.44	74.21	78.74	173.69	60.93
201.8	8.95	7.41	4.92	21.28	6.88	76.92	82.79	148.90	50.85
299.6	11.05	8.19	5.09	24.33	7.72	69.89	74.12	187.38	69.39
314.3	10.37	7.99	5.91	24.27	7.88	76.01	77.05	195.18	62.52
204.1	9.31	7.49	4.58	21.38	6.84	73.42	80.45	146.78	52.13
139.4	7.83	6.61	4.29	18.73	6.06	77.34	84.42	115.19	38.51
241.2	9.57	7.63	4.92	22.12	7.11	74.28	79.73	158.76	56.22
283.8	9.88	8.25	5.38	23.51	7.60	76.90	83.50	181.33	62.56
233.4	9.15	7.32	5.25	21.72	7.06	77.14	80.00	156.51	54.16
286.4	10.45	8.08	5.60	24.13	7.79	74.55	77.32	190.67	65.51
283.6	9.98	8.23	5.62	23.83	7.73	77.44	82.46	187.64	64.00
171.5	8.74	6.77	4.92	20.43	6.63	75.83	77.46	137.99	41.79
242.0	9.74	7.19	5.43	22.36	7.24	74.38	73.82	164.90	52.29
188.1	8.85	6.82	5.09	20.76	6.75	76.24	77.06	143.04	44.75
290.1	10.37	8.66	4.70	23.73	7.50	72.34	83.51	176.77	68.75
247.9	10.32	7.51	5.15	22.98	7.36	71.34	72.77	170.31	58.21
285.7	10.28	7.79	5.56	23.63	7.64	74.28	75.78	183.18	63.44
290.2	10.34	7.91	5.76	24.01	7.78	75.25	76.50	190.21	61.46
247.2	8.73	7.17	6.29	22.19	7.33	83.96	82.13	168.76	48.99
190.6	8.09	7.28	5.17	20.54	6.73	83.16	89.99	142.19	45.93
190.6	9.43	7.31	4.40	21.14	6.72	71.25	77.52	141.82	52.19
193.9	8.76	6.94	4.96	20.66	6.71	76.55	79.22	141.27	47.48
260.3	10.02	8.26	4.99	23.27	7.45	74.32	82.44	174.23	63.22
240.6	9.51	7.62	5.50	22.63	7.36	77.38	80.13	170.14	53.54
250.4	9.52	7.96	5.38	22.86	7.41	77.89	83.61	172.73	54.12
189.3	8.00	7.11	5.31	20.42	6.71	83.87	88.88	141.42	44.72
222.6	8.67	6.89	5.62	21.18	6.95	80.16	79.47	151.75	46.61
235.0	9.30	7.51	5.39	22.20	7.22	77.64	80.75	163.79	56.02
226.2	9.46	8.02	4.78	22.26	7.13	75.38	84.78	159.76	65.52
252.1	9.80	7.70	5.24	22.74	7.34	74.90	78.57	169.24	61.84
265.3	9.99	8.47	5.46	23.92	7.73	77.38	84.78	187.75	63.39
234.8	9.57	7.62	5.09	22.28	7.19	75.10	79.62	162.26	58.46
305.2	10.47	8.96	5.60	25.03	8.07	77.07	85.58	204.54	71.97
203.6	9.71	7.42	4.40	21.53	6.82	70.22	76.42	146.06	55.92
288.3	10.31	7.90	5.32	23.53	7.57	73.40	76.62	179.89	71.19
271.2	10.96	7.75	5.26	23.97	7.64	69.75	70.71	183.60	64.86
225.2	9.64	6.57	5.78	21.99	7.15	74.21	68.15	160.77	53.05
255.3	9.94	8.79	4.95	23.68	7.56	76.08	88.43	179.67	66.00
221.9	9.18	7.08	5.33	21.59	7.02	76.51	77.12	154.96	53.78
289.0	10.89	7.89	5.39	24.17	7.74	71.05	72.45	188.05	69.04
419.6	11.58	10.42	5.93	27.93	8.94	77.24	89.98	251.33	92.55
290.3	10.69	8.42	5.13	24.24	7.73	72.30	78.77	187.68	73.21

**Tabla A3** Propiedades dimensionales de 96 granos de lupino andino a humedad de 19.6% (b.h.)

Masa (mg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Diámetro aritmético (mm)	Diámetro geométrico (mm)	% Esfericidad ( $\Phi$ )	Relación de aspecto	Área superficial (mm <sup>2</sup> )	Área proyectada (mm <sup>2</sup> )
260.9	10.14	7.68	5.04	22.86	7.32	72.21	75.74	168.41	66.76
378.7	10.52	8.95	6.21	25.68	8.36	79.49	85.08	219.67	79.01
345.9	11.81	9.95	4.16	25.92	7.88	66.70	84.25	194.95	98.49
179.9	8.71	6.36	4.92	19.99	6.48	74.44	73.02	132.06	46.71
292.3	10.76	8.36	4.54	23.66	7.42	68.95	77.70	172.93	76.81
306.6	10.10	8.45	5.15	23.70	7.60	75.28	83.66	181.61	72.53
346.2	10.39	9.25	5.53	25.17	8.10	77.96	89.03	206.13	75.58
304.4	11.22	8.76	4.72	24.70	7.74	69.00	78.07	188.27	77.77
196.0	9.70	7.77	4.09	21.56	6.76	69.64	80.10	143.36	61.63
275.9	9.76	8.42	5.10	23.28	7.48	76.68	86.27	175.94	65.74
268.2	10.61	8.62	5.00	24.23	7.70	72.61	81.24	186.47	69.88
245.3	9.74	11.00	4.75	25.49	7.98	81.97	112.94	200.25	60.91
258.4	10.56	9.00	4.56	24.12	7.57	71.66	85.23	179.91	71.85
186.3	9.81	7.32	3.70	20.83	6.43	65.53	74.62	129.84	60.04
371.4	10.68	10.03	5.66	26.37	8.46	79.25	93.91	225.05	81.75
358.4	11.34	9.82	5.40	26.56	8.44	74.43	86.60	223.82	82.34
326.7	10.85	8.49	5.38	24.72	7.91	72.94	78.25	196.74	75.30
245.3	9.90	7.46	4.76	22.12	7.06	71.29	75.35	156.48	62.10
167.0	8.62	6.76	4.93	20.31	6.60	76.55	78.42	136.78	43.73
371.3	10.62	9.09	6.16	25.87	8.41	79.18	85.59	222.16	75.89
362.0	10.78	7.78	6.29	24.85	8.08	74.95	72.17	205.11	71.81
380.8	11.63	8.41	5.92	25.96	8.33	71.67	72.31	218.25	80.41
254.7	10.30	7.94	4.84	23.08	7.34	71.28	77.09	169.36	64.07
300.8	10.14	8.14	5.30	23.58	7.59	74.86	80.28	181.04	68.39
308.6	10.38	8.59	5.19	24.16	7.73	74.52	82.76	187.96	74.69
327.3	10.00	9.27	5.82	25.09	8.14	81.41	92.70	208.20	72.79
271.8	10.95	8.05	5.01	24.01	7.62	69.55	73.52	182.19	71.61
284.4	10.23	7.91	5.46	23.60	7.62	74.45	77.32	182.24	67.46
316.7	10.53	9.16	4.57	24.26	7.61	72.27	86.99	181.96	83.33
290.9	10.11	8.61	5.07	23.79	7.61	75.31	85.16	182.11	69.74
366.6	11.40	9.26	4.99	25.65	8.08	70.84	81.23	204.91	87.11
349.3	11.41	8.60	5.15	25.16	7.97	69.81	75.37	199.32	79.41
233.7	9.90	8.05	4.32	22.27	7.01	70.80	81.31	154.32	66.32
280.7	10.00	8.14	4.22	22.36	7.00	70.03	81.40	154.09	70.25
198.2	10.08	8.06	4.84	22.98	7.33	72.68	79.96	168.62	66.78
287.3	10.28	8.33	3.67	22.28	6.80	66.14	81.03	145.22	70.95
250.2	10.50	7.35	4.61	22.46	7.09	67.48	70.00	157.74	65.82
225.8	9.41	7.52	4.51	21.44	6.83	72.62	79.91	146.71	59.12
277.7	9.11	8.10	5.37	22.58	7.35	80.63	88.91	169.49	62.85
226.4	11.09	8.13	4.11	23.33	7.18	64.77	73.31	162.08	81.73
249.0	11.08	7.25	5.63	23.96	7.68	69.28	65.43	185.10	62.62
158.0	7.98	6.34	4.55	18.87	6.13	76.80	79.45	118.00	42.44
168.2	8.32	7.10	4.60	20.02	6.48	77.85	85.34	131.80	48.29
287.1	10.36	8.21	5.21	23.78	7.62	73.59	79.25	182.60	72.34
183.1	9.60	7.63	4.02	21.25	6.65	69.30	79.48	139.05	59.23
256.5	10.45	7.94	5.15	23.54	7.53	72.08	75.98	178.23	69.17
184.3	9.08	6.86	4.53	20.47	6.56	72.24	75.55	135.15	52.22
264.9	9.26	7.39	5.51	22.16	7.22	78.02	79.81	163.97	58.57
316.4	10.36	8.61	5.42	24.39	7.85	75.76	83.11	193.52	72.41

**Tabla A4 (continuación)** Propiedades dimensionales de 96 granos de lupino andino a humedad de 19.6% (b.h.)

Masa (mg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Diámetro aritmético (mm)	Diámetro geométrico (mm)	% Esfericidad ( $\Phi$ )	Relación de aspecto	Área superficial (mm <sup>2</sup> )	Área proyectada (mm <sup>2</sup> )
316.9	9.78	8.03	5.99	23.80	7.78	79.52	82.11	190.02	66.42
186.0	8.87	6.90	4.46	20.23	6.49	73.13	77.79	132.20	50.57
347.8	11.07	8.69	5.48	25.24	8.08	72.97	78.50	205.01	78.89
402.9	12.21	9.91	4.80	26.92	8.34	68.33	81.16	218.69	104.83
307.2	10.03	7.97	5.70	23.70	7.70	76.72	79.46	186.03	66.94
335.3	10.84	8.59	5.24	24.67	7.87	72.63	79.24	194.71	79.03
329.2	9.90	7.93	5.96	23.79	7.76	78.42	80.10	189.34	70.43
254.6	10.59	8.60	4.66	23.85	7.51	70.96	81.21	177.42	73.73
348.9	10.88	8.74	5.52	25.14	8.07	74.14	80.33	204.43	79.88
225.9	9.00	7.39	5.17	21.56	7.01	77.84	82.11	154.19	57.02
204.8	9.06	7.13	4.87	21.06	6.80	75.07	78.70	145.32	56.24
275.3	10.08	7.98	5.15	23.21	7.45	73.95	79.17	174.58	65.37
299.3	11.12	8.26	4.96	24.34	7.69	69.20	74.28	186.01	76.92
284.9	10.54	8.57	4.90	24.01	7.62	72.30	81.31	182.46	70.91
261.3	9.14	7.53	5.25	21.92	7.12	77.93	82.39	159.37	60.74
286.6	10.48	8.50	5.13	24.11	7.70	73.50	81.11	186.39	69.07
203.7	8.60	6.97	4.92	20.49	6.66	77.40	81.05	139.19	51.37
327.4	11.28	8.09	5.30	24.67	7.85	69.59	71.72	193.57	77.50
292.4	10.24	7.88	4.98	23.10	7.38	72.06	76.95	171.08	69.26
325.4	10.84	8.33	5.53	24.70	7.93	73.19	76.85	197.73	73.91
264.7	10.91	7.28	5.37	23.56	7.53	69.00	66.73	178.01	66.38
315.3	10.25	8.35	5.74	24.34	7.89	76.98	81.46	195.60	68.05
261.3	10.06	6.90	5.54	22.50	7.27	72.29	68.59	166.13	60.74
439.0	11.63	9.41	6.04	27.08	8.71	74.90	80.91	238.39	89.79
355.4	11.52	8.24	5.38	25.14	7.99	69.39	71.53	200.72	80.77
412.2	11.12	8.89	6.01	26.02	8.41	75.60	79.95	222.03	83.49
302.8	9.56	9.09	5.42	24.07	7.78	81.39	95.08	190.18	69.53
361.1	11.24	9.30	4.64	25.18	7.86	69.90	82.74	193.94	90.80
247.6	9.12	7.82	5.22	22.16	7.19	78.88	85.75	162.58	60.56
335.2	10.78	9.11	4.82	24.71	7.79	72.30	84.51	190.81	86.04
288.6	10.44	8.17	4.90	23.51	7.48	71.62	78.26	175.62	72.24
294.9	10.23	7.91	5.37	23.51	7.57	74.04	77.32	180.23	67.70
278.6	10.10	7.56	5.18	22.84	7.34	72.68	74.85	169.28	66.16
301.1	9.73	7.35	6.04	23.12	7.56	77.69	75.54	179.52	61.23
246.4	9.26	7.33	5.25	21.84	7.09	76.56	79.16	157.91	59.24
205.0	9.73	7.25	3.95	20.93	6.53	67.13	74.51	134.02	61.28
223.8	9.87	7.24	4.16	21.27	6.67	67.62	73.35	139.93	62.23
307.8	11.17	8.27	4.64	24.08	7.54	67.50	74.04	178.59	79.51
318.2	10.81	7.58	5.47	23.86	7.65	70.79	70.12	183.99	69.77
281.9	10.44	8.33	4.59	23.36	7.36	70.53	79.79	170.32	71.40
294.8	9.50	7.86	5.88	23.24	7.60	80.01	82.74	181.48	62.43
247.3	10.13	7.27	4.97	22.37	7.15	70.61	71.77	160.75	61.48
285.7	9.56	7.62	5.73	22.91	7.47	78.17	79.71	175.47	60.77
296.8	10.43	8.12	4.88	23.43	7.45	71.42	77.85	174.31	72.58
239.9	9.12	7.35	5.09	21.56	6.99	76.62	80.59	153.40	57.40
283.1	10.24	8.33	4.92	23.49	7.49	73.11	81.35	176.10	69.09
245.1	8.79	7.33	6.08	22.20	7.32	83.24	83.39	168.20	52.25



**Tabla A5** Propiedades dimensionales de 96 granos de lupino andino a humedad de 29.8% (b.h.)

Masa (mg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Diámetro aritmético (mm)	Diámetro geométrico (mm)	% Esfericidad (Φ)	Relación de aspecto	Área superficial (mm <sup>2</sup> )	Área proyectada (mm <sup>2</sup> )
331.4	10.25	9.27	4.97	24.49	7.79	75.97	90.44	190.51	76.72
406.2	11.93	10.06	4.96	26.95	8.41	70.51	84.33	222.31	101.63
352.4	10.99	8.99	5.52	25.50	8.17	74.34	81.80	209.71	78.86
284.6	10.12	8.70	4.76	23.58	7.48	73.95	85.97	175.94	71.14
355.6	11.35	9.09	5.16	25.60	8.10	71.41	80.09	206.36	83.95
463.4	12.30	9.73	5.92	27.95	8.91	72.48	79.11	249.68	98.81
300.7	10.21	8.66	5.11	23.98	7.67	75.16	84.82	184.98	71.13
248.7	10.51	7.44	4.60	22.55	7.11	67.67	70.79	158.89	65.50
272.0	10.08	7.90	5.19	23.17	7.45	73.90	78.37	174.31	64.38
177.7	8.93	6.82	4.64	20.39	6.56	73.49	76.37	135.29	53.48
270.3	9.77	7.46	4.96	22.19	7.12	72.91	76.36	159.43	62.17
377.0	10.88	8.95	5.43	25.26	8.09	74.32	82.26	205.42	87.07
299.3	9.47	8.28	5.77	23.52	7.68	81.07	87.43	185.15	62.60
298.3	10.01	8.52	5.16	23.69	7.61	75.99	85.11	181.76	67.24
459.7	11.89	9.83	5.90	27.62	8.83	74.30	82.67	245.21	96.56
351.6	11.44	9.56	4.74	25.74	8.03	70.22	83.57	202.73	87.66
274.9	9.57	7.62	5.44	22.63	7.35	76.78	79.62	169.61	60.92
344.5	11.30	9.39	4.81	25.50	7.99	70.72	83.10	200.64	86.39
299.5	10.95	8.10	4.68	23.73	7.46	68.12	73.97	174.82	78.57
434.6	11.47	9.83	5.49	26.79	8.52	74.30	85.70	228.18	92.39
432.2	10.84	9.45	6.17	26.46	8.58	79.17	87.18	231.37	85.86
282.6	10.62	8.76	4.60	23.98	7.54	70.96	82.49	178.41	76.40
280.7	9.44	7.78	5.36	22.58	7.33	77.64	82.42	168.74	61.04
220.7	9.92	7.98	4.05	21.95	6.84	68.99	80.44	147.16	62.22
318.4	11.05	8.90	4.52	24.47	7.63	69.07	80.54	182.98	81.93
298.1	9.94	8.24	5.46	23.64	7.65	76.93	82.90	183.72	67.44
330.5	10.14	8.24	5.38	23.76	7.66	75.55	81.26	184.35	71.78
400.9	11.72	9.50	5.38	26.60	8.43	71.93	81.06	223.24	92.13
313.0	11.55	7.74	5.04	24.33	7.67	66.37	67.01	184.64	75.13
306.5	10.39	8.45	5.02	23.86	7.61	73.24	81.33	181.94	73.21
395.0	10.68	8.77	5.74	25.19	8.13	76.14	82.12	207.72	80.30
236.5	11.50	8.94	4.01	24.45	7.44	64.72	77.74	174.02	78.01
418.6	11.95	9.50	5.27	26.72	8.43	70.51	79.50	223.06	96.20
298.0	10.17	8.83	4.78	23.78	7.54	74.17	86.82	178.77	76.53
426.1	11.60	9.59	5.43	26.62	8.45	72.87	82.67	224.49	93.89
315.9	10.17	8.43	5.43	24.03	7.75	76.21	82.89	188.70	72.80
352.1	11.18	9.18	4.77	25.13	7.88	70.50	82.11	195.14	84.10
245.5	10.41	8.29	4.85	23.55	7.48	71.86	79.63	175.78	66.70
393.0	12.10	9.30	5.66	27.06	8.60	71.11	76.86	232.56	87.06
379.0	10.83	8.89	5.88	25.60	8.27	76.38	82.09	214.99	78.62
446.9	11.95	9.59	5.64	27.18	8.65	72.35	80.25	234.85	93.84
364.8	9.93	8.35	6.41	24.69	8.10	81.57	84.09	206.13	68.49
468.9	12.24	10.3	5.39	27.93	8.79	71.83	84.15	242.82	105.73
280.3	10.24	8.35	5.30	23.89	7.68	75.01	81.54	185.35	65.52
274.2	10.13	7.25	4.88	22.26	7.10	70.12	71.57	158.51	64.90
305.8	10.91	7.96	5.21	24.08	7.68	70.37	72.96	185.15	71.31
284.2	10.93	7.82	4.64	23.39	7.35	67.22	71.55	169.58	71.24
284.2	10.49	8.28	4.60	23.37	7.37	70.21	78.93	170.42	75.36
316.8	10.77	8.45	5.16	24.38	7.77	72.17	78.46	189.80	74.45

**Tabla A6 (continuación)** Propiedades dimensionales de 96 granos de lupino andino a humedad de 29.8% (b.h.)

Masa (mg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Diámetro aritmético (mm)	Diámetro geométrico (mm)	% Esfericidad (Φ)	Relación de aspecto	Área superficial (mm <sup>2</sup> )	Área proyectada (mm <sup>2</sup> )
344.9	10.63	8.64	5.39	24.66	7.91	74.42	81.28	196.60	76.24
287.1	9.70	8.23	5.32	23.25	7.52	77.49	84.85	177.50	66.26
353.9	10.87	8.47	5.64	24.98	8.04	73.94	77.92	202.96	77.88
311.0	10.47	8.43	5.06	23.96	7.64	73.01	80.52	183.56	72.47
237.8	8.84	7.69	5.37	21.90	7.15	80.85	86.99	160.47	54.16
302.7	10.40	8.08	4.97	23.45	7.47	71.87	77.69	175.53	67.69
184.6	8.16	6.91	4.51	19.58	6.34	77.64	84.68	126.10	49.06
174.6	9.27	8.24	3.60	21.11	6.50	70.15	88.89	132.85	64.04
222.1	9.85	6.96	4.60	21.41	6.81	69.10	70.66	145.55	57.02
354.5	10.78	8.42	5.53	24.73	7.95	73.72	78.11	198.42	79.64
353.5	10.99	8.61	5.38	24.98	7.98	72.65	78.34	200.30	77.40
387.9	11.72	9.06	4.95	25.73	8.07	68.86	77.30	204.61	91.46
339.4	10.60	9.14	5.72	25.46	8.21	77.49	86.23	211.96	71.72
279.4	10.19	8.87	5.08	24.14	7.71	75.71	87.05	186.98	70.45
249.2	9.57	8.05	4.73	22.35	7.14	74.64	84.12	160.27	62.54
374.5	11.85	8.92	5.01	25.78	8.09	68.27	75.27	205.64	89.86
269.9	9.97	8.09	4.94	23.00	7.36	73.81	81.14	170.11	68.15
368.1	10.48	9.03	5.63	25.14	8.11	77.36	86.16	206.47	78.71
355.1	10.45	8.44	5.16	24.05	7.69	73.61	80.77	185.88	79.32
316.5	11.19	8.22	5.02	24.43	7.73	69.07	73.46	187.68	79.66
287.8	9.91	7.74	5.23	22.88	7.38	74.42	78.10	170.88	67.94
394.9	10.5	9.62	5.69	25.81	8.31	79.18	91.62	217.17	83.18
312.0	10.08	8.67	5.39	24.14	7.78	77.19	86.01	190.19	73.02
434.8	11.09	9.19	6.16	26.44	8.56	77.21	82.87	230.34	87.48
487.8	12.80	9.37	5.84	28.01	8.88	69.38	73.20	247.78	100.18
279.6	9.43	8.06	5.10	22.59	7.29	77.32	85.47	167.02	62.38
401.9	11.51	8.83	5.60	25.94	8.29	72.00	76.72	215.76	84.56
247.1	8.61	6.88	5.92	21.41	7.05	81.90	79.91	156.23	50.90
284.4	11.03	8.50	4.93	24.46	7.73	70.10	77.06	187.81	73.48
323.2	10.52	8.19	5.75	24.46	7.91	75.22	77.85	196.70	68.83
306.5	9.87	7.68	5.53	23.08	7.48	75.83	77.81	175.96	69.50
273.7	10.03	8.04	4.75	22.82	7.26	72.41	80.16	165.70	67.91
310.5	9.94	7.90	5.32	23.16	7.48	75.21	79.48	175.56	71.94
327.3	10.56	8.78	5.00	24.34	7.74	73.29	83.14	188.18	79.86
163.0	8.63	6.95	4.74	20.32	6.58	76.19	80.53	135.83	49.05
271.8	9.39	8.23	5.36	22.98	7.45	79.39	87.65	174.57	64.26
421.6	12.65	11.09	4.36	28.10	8.49	67.10	87.67	226.37	113.81
338.0	10.83	8.42	5.09	24.34	7.74	71.49	77.75	188.33	83.26
373.5	11.61	8.72	4.96	25.29	7.95	68.46	75.11	198.47	89.40
366.2	11.27	9.09	5.86	26.22	8.44	74.85	80.66	223.57	82.61
352.8	10.86	9.58	5.15	25.59	8.12	74.79	88.21	207.25	86.44
248.5	9.77	8.00	5.53	23.30	7.56	77.39	81.88	179.59	63.15
319.4	11.15	8.63	5.15	24.93	7.91	70.97	77.40	196.73	77.84
370.0	11.45	9.61	5.56	26.62	8.49	74.14	83.93	226.40	85.14
407.0	11.12	9.23	5.94	26.29	8.48	76.25	83.00	225.88	87.41
274.2	10.54	8.08	4.82	23.44	7.43	70.51	76.66	173.52	67.91
217.8	8.80	7.38	4.84	21.02	6.80	77.26	83.86	145.24	53.25

**Tabla A7** Propiedades dimensionales de 96 granos de lupino andino a humedad de 39.9% (b.h.)

Masa (mg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Diámetro aritmético (mm)	Diámetro geométrico (mm)	% Esfericidad ( $\Phi$ )	Relación de aspecto	Área superficial (mm <sup>2</sup> )	Área proyectada (mm <sup>2</sup> )
432.0	12.07	9.85	5.45	27.37	8.65	71.69	81.61	235.24	91.05
385.0	11.03	9.39	5.27	25.69	8.17	74.09	85.13	209.82	80.64
358.7	10.88	8.43	5.55	24.86	7.98	73.39	77.48	200.29	74.18
279.4	12.21	8.04	3.76	24.01	7.17	58.75	65.85	161.66	82.05
422.4	11.88	10.11	5.10	27.09	8.49	71.49	85.10	226.59	93.20
375.9	10.87	8.56	5.54	24.97	8.02	73.76	78.75	201.97	75.46
290.9	10.24	8.28	4.67	23.19	7.34	71.71	80.86	169.40	66.66
517.3	12.42	11.03	5.46	28.91	9.08	73.09	88.81	258.87	105.41
487.4	12.07	10.16	5.80	28.03	8.93	73.96	84.18	250.32	95.53
396.7	11.35	9.13	5.80	26.28	8.44	74.35	80.44	223.74	79.72
493.8	11.58	10.10	6.00	27.68	8.89	76.74	87.22	248.09	95.88
410.9	11.45	9.41	5.64	26.50	8.47	73.98	82.18	225.39	88.68
311.7	11.28	10.09	4.37	25.74	7.92	70.24	89.45	197.21	87.24
435.0	11.04	10.12	5.85	27.01	8.68	78.61	91.67	236.60	87.26
174.3	8.98	7.12	4.37	20.47	6.54	72.80	79.29	134.27	50.90
292.8	10.29	7.82	4.91	23.02	7.34	71.31	76.00	169.16	67.61
447.9	12.03	9.96	5.50	27.49	8.70	72.34	82.79	237.91	93.66
342.1	10.68	8.78	5.15	24.61	7.85	73.46	82.21	193.37	76.95
387.5	11.44	9.04	5.36	25.84	8.21	71.81	79.02	211.99	80.02
290.0	9.59	8.47	5.34	23.40	7.57	78.93	88.32	180.02	62.63
373.6	10.42	7.82	6.18	24.42	7.96	76.35	75.05	198.85	69.50
365.0	10.56	8.05	5.77	24.38	7.89	74.68	76.23	195.39	72.98
373.1	11.36	8.88	5.20	25.44	8.06	70.99	78.17	204.34	83.60
414.8	12.02	9.74	5.11	26.87	8.43	70.10	81.03	223.05	92.40
410.4	11.40	9.44	5.89	26.73	8.59	75.35	82.81	231.82	85.58
397.9	12.25	9.94	4.84	27.03	8.38	68.44	81.14	220.83	94.26
484.3	11.26	9.97	6.29	27.52	8.90	79.08	88.54	249.12	92.49
345.4	10.77	9.13	5.18	25.08	7.99	74.15	84.77	200.37	77.40
405.4	10.85	9.85	5.99	26.69	8.62	79.43	90.78	233.35	84.25
419.0	11.85	9.59	5.19	26.63	8.39	70.77	80.93	220.95	90.97
265.9	10.11	8.55	4.20	22.86	7.13	70.56	84.57	159.88	68.42
395.7	11.58	8.86	5.16	25.60	8.09	69.86	76.51	205.59	85.99
491.8	12.07	9.69	5.75	27.51	8.76	72.59	80.28	241.15	99.21
327.2	11.09	8.78	5.06	24.93	7.90	71.22	79.17	195.98	76.34
453.1	13.15	9.79	5.24	28.18	8.77	66.69	74.45	241.64	99.50
457.7	12.45	10.50	5.16	28.11	8.77	70.44	84.34	241.63	101.28
472.7	11.56	10.76	5.77	28.09	8.95	77.45	93.08	251.83	98.32
446.0	12.14	9.57	5.74	27.45	8.74	71.97	78.83	239.80	94.62
292.2	10.67	8.52	5.00	24.19	7.69	72.06	79.85	185.72	68.67
309.7	10.17	8.76	4.91	23.84	7.59	74.64	86.14	181.03	71.27
275.3	11.37	8.20	4.37	23.94	7.41	65.20	72.12	172.66	77.28
373.4	11.47	8.92	5.22	25.61	8.11	70.74	77.77	206.80	81.83
427.9	11.50	9.10	6.26	26.86	8.69	75.52	79.13	236.97	82.73
165.8	8.96	6.98	4.12	20.06	6.36	71.02	77.90	127.21	49.65
355.2	11.03	9.61	4.72	25.36	7.94	71.97	87.13	197.99	88.10
370.3	12.29	9.80	4.45	26.54	8.12	66.09	79.74	207.29	101.40
333.1	10.55	9.12	5.26	24.93	7.97	75.54	86.45	199.51	78.33
413.9	12.08	9.34	4.97	26.39	8.25	68.26	77.32	213.63	95.88

**Tabla A8 (continuación)** Propiedades dimensionales de 96 granos de lupino andino a humedad de 39.9% (b.h.)

Masa (mg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Diámetro aritmético (mm)	Diámetro geométrico (mm)	% Esfericidad ( $\phi$ )	Relación de aspecto	Área superficial (mm <sup>2</sup> )	Área proyectada (mm <sup>2</sup> )
266.3	9.08	7.98	5.01	22.07	7.13	78.56	87.89	159.87	60.50
184.1	9.23	7.66	4.80	21.69	6.98	75.57	82.99	152.85	59.36
449.5	11.31	10.53	5.64	27.48	8.76	77.43	93.10	240.95	96.46
256.3	10.37	7.37	4.93	22.67	7.22	69.65	71.07	163.89	63.88
267.2	10.46	7.86	5.21	23.53	7.54	72.07	75.14	178.52	68.98
445.8	11.44	9.39	5.58	26.41	8.43	73.70	82.08	223.34	91.75
460.3	12.1	9.33	5.42	26.85	8.49	70.16	77.11	226.43	99.02
369.1	11.53	9.48	5.05	26.06	8.20	71.15	82.22	211.40	88.44
461.9	12.56	10.18	5.44	28.18	8.86	70.54	81.05	246.63	106.44
521.3	12.57	10.65	6.04	29.26	9.32	74.11	84.73	272.67	104.55
302.9	10.22	8.50	4.78	23.50	7.46	73.00	83.17	174.86	75.23
387.1	10.77	8.55	5.92	25.24	8.17	75.85	79.39	209.65	75.91
437.8	11.80	9.81	5.48	27.09	8.59	72.82	83.14	231.94	96.91
435.1	11.40	9.90	5.40	26.70	8.48	74.37	86.84	225.83	96.17
277.0	10.23	8.03	4.83	23.09	7.35	71.83	78.49	169.63	68.06
234.4	9.39	7.58	4.86	21.83	7.02	74.76	80.72	154.81	57.14
352.3	11.34	8.59	4.84	24.77	7.78	68.63	75.75	190.31	81.24
368.4	11.17	8.50	5.30	24.97	7.95	71.21	76.10	198.75	81.28
355.3	10.38	8.85	5.48	24.71	7.96	76.64	85.26	198.81	79.57
284.9	9.81	8.42	4.50	22.73	7.19	73.29	85.83	162.41	67.59
541.0	12.76	9.96	6.00	28.72	9.14	71.60	78.06	262.21	108.69
247.9	9.11	8.02	4.49	21.62	6.90	75.71	88.04	149.43	61.07
290.0	10.08	8.38	4.45	22.91	7.22	71.60	83.13	163.63	72.42
319.2	9.95	8.67	5.04	23.66	7.58	76.14	87.14	180.30	70.57
301.2	10.48	8.44	4.91	23.83	7.57	72.26	80.53	180.17	70.21
328.2	10.73	8.61	4.96	24.30	7.71	71.85	80.24	186.73	75.01
338.1	11.11	9.20	4.28	24.59	7.59	68.33	82.81	181.04	83.93
382.1	11.01	9.26	4.93	25.20	7.95	72.22	84.11	198.60	89.45
286.2	10.32	7.66	4.68	22.66	7.18	69.56	74.22	161.90	68.22
322.1	10.65	7.99	4.63	23.27	7.33	68.84	75.02	168.84	76.23
410.9	11.23	9.31	5.33	25.87	8.23	73.28	82.90	212.74	90.32
296.4	10.95	8.12	4.26	23.33	7.24	66.08	74.16	164.46	75.09
482.4	11.81	8.93	6.37	27.11	8.76	74.16	75.61	240.98	87.79
379.4	12.41	8.94	5.51	26.86	8.49	68.39	72.04	226.29	95.51
471.8	12.45	10.6	5.11	28.16	8.77	70.44	85.14	241.59	103.33
296.8	10.74	8.12	4.71	23.57	7.43	69.21	75.61	173.60	72.16
415.4	10.92	9.64	5.21	25.77	8.19	74.96	88.28	210.49	89.40
351.8	11.02	8.54	4.87	24.43	7.71	69.96	77.50	186.75	81.42
411.2	11.91	9.48	4.74	26.13	8.12	68.17	79.60	207.09	98.54
367.8	10.98	8.45	4.91	24.34	7.69	70.08	76.96	186.00	81.09
402.8	10.92	9.23	5.79	25.94	8.36	76.53	84.52	219.39	83.34
389.3	10.91	9.71	5.01	25.63	8.10	74.21	89.00	205.94	90.40
495.9	12.94	10.69	4.95	28.58	8.81	68.11	82.61	244.06	111.84
156.3	8.46	7.08	4.13	19.67	6.28	74.20	83.69	123.80	52.13
464.9	12.03	9.51	5.29	26.83	8.46	70.31	79.05	224.78	96.16
484.4	11.60	9.76	5.89	27.25	8.74	75.32	84.14	239.79	94.84
332.0	10.04	8.35	4.77	23.16	7.37	73.38	83.17	170.52	73.30
315.9	11.24	8.37	4.97	24.58	7.76	69.05	74.47	189.26	75.00

**Tabla A9** Propiedades dimensionales de 96 granos de lupino andino a humedad de 50.7% (b.h.)

Masa (mg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Diámetro aritmético (mm)	Diámetro geométrico (mm)	% Esfericidad ( $\phi$ )	Relación de aspecto	Área superficial (mm <sup>2</sup> )	Área proyectada (mm <sup>2</sup> )
398.6	11.98	10.27	4.98	27.23	8.49	70.90	85.73	226.63	92.70
349.6	10.49	8.61	5.93	25.03	8.12	77.42	82.08	207.19	72.29
534.3	14.13	10.78	5.53	30.44	9.44	66.84	76.29	280.20	119.36
345.2	11.70	8.90	4.95	25.55	8.02	68.53	76.07	201.96	84.19
610.9	13.47	11.16	6.82	31.45	10.08	74.86	82.85	319.42	115.75
358.6	11.52	10.07	4.75	26.34	8.20	71.17	87.41	211.15	89.20
623.2	14.43	11.35	6.09	31.87	9.99	69.24	78.66	313.62	128.98
487.6	12.47	10.27	6.25	28.99	9.28	74.46	82.36	270.83	96.89
535.7	13.10	10.50	5.72	29.32	9.23	70.47	80.15	267.74	109.73
385.9	11.45	9.65	4.91	26.01	8.16	71.23	84.28	208.97	88.56
477.8	12.83	10.27	5.41	28.51	8.93	69.63	80.05	250.70	107.85
464.6	11.73	9.90	6.22	27.85	8.97	76.49	84.40	252.91	96.76
408.7	11.95	9.80	5.72	27.47	8.75	73.22	82.01	240.52	91.94
402.2	11.28	9.24	5.68	26.20	8.40	74.44	81.91	221.50	88.04
423.0	12.57	9.67	5.61	27.85	8.80	70.02	76.93	243.39	96.42
340.4	10.51	9.01	5.53	25.05	8.06	76.69	85.73	204.10	75.25
349.0	10.68	8.94	5.48	25.10	8.06	75.45	83.71	203.99	78.24
477.4	12.72	10.33	5.64	28.69	9.05	71.14	81.21	257.27	102.91
471.3	11.57	10.49	5.85	27.91	8.92	77.11	90.67	250.03	98.47
584.7	13.77	11.64	5.67	31.08	9.69	70.34	84.53	294.76	125.63
325.0	10.33	8.01	5.75	24.09	7.81	75.57	77.54	191.46	70.26
412.4	12.47	8.87	5.38	26.72	8.41	67.45	71.13	222.26	91.62
410.4	11.64	9.67	5.07	26.38	8.29	71.26	83.08	216.14	96.01
414.1	12.82	8.97	5.02	26.81	8.33	64.95	69.97	217.81	98.17
516.8	14.88	10.49	5.26	30.63	9.36	62.93	70.50	275.46	126.69
538.8	13.49	10.22	5.91	29.62	9.34	69.24	75.76	274.06	118.47
514.8	13.84	10.35	5.55	29.74	9.26	66.94	74.78	269.61	120.71
459.0	13.10	10.49	4.78	28.37	8.69	66.36	80.08	237.39	118.05
491.5	13.16	10.21	5.72	29.09	9.16	69.60	77.58	263.59	109.22
611.8	14.45	11.32	5.35	31.12	9.57	66.19	78.34	287.43	125.68
604.5	13.72	10.99	6.07	30.78	9.71	70.77	80.10	296.15	125.68
480.3	12.80	10.47	5.38	28.65	8.97	70.05	81.80	252.61	111.43
440.3	11.93	10.70	5.50	28.13	8.89	74.50	89.69	248.17	103.19
450.9	12.62	10.28	5.72	28.62	9.05	71.74	81.46	257.50	103.51
468.9	12.08	9.56	6.05	27.69	8.87	73.46	79.14	247.36	100.51
519.9	13.44	11.24	5.38	30.06	9.33	69.44	83.63	273.60	84.20
354.0	10.47	9.71	5.27	25.45	8.12	77.57	92.74	207.24	84.20
323.3	11.58	8.88	4.71	25.17	7.85	67.82	76.68	193.75	87.14
450.4	12.19	10.65	5.27	28.11	8.81	72.29	87.37	243.93	104.11
458.2	11.74	9.74	6.50	27.98	9.06	77.16	82.96	257.78	95.94
512.9	13.19	10.15	5.82	29.16	9.20	69.76	76.95	266.01	113.16
373.9	11.76	9.77	4.85	26.38	8.23	69.97	83.08	212.74	92.98
480.4	12.29	10.07	5.78	28.14	8.94	72.77	81.94	251.28	102.69
440.3	11.79	9.44	6.01	27.24	8.75	74.18	80.07	240.28	92.50
458.7	12.27	9.73	5.81	27.81	8.85	72.14	79.30	246.17	101.94
282.9	9.86	8.20	4.98	23.04	7.38	74.89	83.16	171.30	65.56
374.1	10.85	8.92	6.12	25.89	8.40	77.40	82.21	221.57	76.83
384.4	11.61	9.54	4.95	26.10	8.18	70.50	82.17	210.45	91.28

**Tabla A10 (continuación)** Propiedades dimensionales de 96 granos de lupino andino a humedad de 50.7% (b.h.)

Masa (mg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Diámetro aritmético (mm)	Diámetro geométrico (mm)	% Esfericidad ( $\phi$ )	Relación de aspecto	Área superficial (mm <sup>2</sup> )	Área proyectada (mm <sup>2</sup> )
474.8	11.92	9.88	5.84	27.64	8.83	74.05	82.89	244.78	98.03
393.0	11.38	9.12	5.12	25.62	8.10	71.17	80.14	206.10	88.23
484.5	12.63	9.11	6.21	27.95	8.94	70.78	72.13	251.09	99.39
304.0	10.84	8.65	4.71	24.20	7.62	70.25	79.80	182.19	77.79
222.2	9.82	7.15	5.08	22.05	7.09	72.22	72.81	158.00	57.19
234.2	10.35	8.41	3.73	22.49	6.87	66.41	81.26	148.40	71.11
348.5	10.81	8.75	5.04	24.60	7.81	72.27	80.94	191.72	83.19
299.5	11.49	9.19	4.21	24.89	7.63	66.42	79.98	182.99	89.97
303.9	11.01	8.15	4.97	24.13	7.64	69.39	74.02	183.38	71.68
516.3	12.57	11.26	5.40	29.23	9.14	72.74	89.58	262.62	115.57
421.0	10.87	9.51	6.04	26.42	8.55	78.63	87.49	229.50	86.71
554.7	12.87	10.23	6.22	29.32	9.36	72.69	79.49	274.99	116.46
560.6	13.31	11.28	5.89	30.48	9.60	72.11	84.75	289.44	129.56
473.7	13.02	10.10	5.33	28.45	8.88	68.22	77.57	247.89	109.84
567.5	13.88	11.70	6.05	31.63	9.94	71.62	84.29	310.48	125.07
492.9	13.12	11.11	5.45	29.68	9.26	70.59	84.68	269.47	120.50
444.2	12.32	9.51	5.84	27.67	8.81	71.52	77.19	243.94	99.83
444.3	12.10	9.85	5.52	27.47	8.70	71.88	81.40	237.64	103.56
465.0	13.04	9.65	5.33	28.02	8.75	67.13	74.00	240.72	112.15
604.5	13.17	11.24	6.25	30.66	9.74	73.99	85.35	298.29	129.15
422.4	12.64	10.30	4.94	27.88	8.63	68.29	81.49	234.08	109.52
470.2	12.72	10.00	5.31	28.03	8.77	68.98	78.62	241.85	110.33
383.5	11.70	9.87	5.11	26.68	8.39	71.69	84.36	221.02	91.98
316.0	11.17	8.68	5.00	24.85	7.86	70.33	77.71	193.87	78.14
415.8	11.56	9.52	5.19	26.27	8.30	71.77	82.35	216.27	94.61
282.6	10.36	8.13	5.02	23.51	7.51	72.45	78.47	176.98	73.00
596.9	14.32	10.99	6.35	31.66	10.00	69.82	76.75	314.02	128.85
435.5	12.38	9.96	5.67	28.01	8.88	71.69	80.45	247.47	99.90
434.6	11.48	10.15	5.60	27.23	8.67	75.55	88.41	236.35	102.21
319.6	10.74	8.43	4.81	23.98	7.58	70.58	78.49	180.50	79.18
269.8	10.11	8.52	4.34	22.97	7.20	71.25	84.27	163.03	70.98
234.7	9.15	7.38	4.50	21.03	6.72	73.48	80.66	142.00	57.74
263.3	9.22	7.78	5.23	22.23	7.21	78.22	84.38	163.41	60.23
232.7	9.29	7.70	5.00	21.99	7.10	76.41	82.88	158.30	55.80
569.3	13.56	11.65	6.09	31.30	9.87	72.80	85.91	306.16	124.48
373.0	11.42	9.12	5.92	26.46	8.51	74.53	79.86	227.58	81.76
374.4	11.78	9.21	5.29	26.28	8.31	70.55	78.18	216.97	88.94
564.5	14.61	10.96	6.07	31.64	9.91	67.80	75.02	308.26	126.23
427.0	11.99	9.31	5.63	26.93	8.57	71.44	77.65	230.50	96.71
501.4	12.31	10.69	5.79	28.79	9.13	74.20	86.84	262.08	112.00
585.3	13.80	10.79	6.11	30.70	9.69	70.22	78.19	294.97	126.42
509.7	12.92	10.08	6.01	29.01	9.22	71.33	78.02	266.82	109.42
415.1	12.46	9.22	5.42	27.10	8.54	68.53	74.00	229.08	95.66
400.1	11.76	10.27	4.87	26.90	8.38	71.25	87.33	220.54	97.34
331.0	11.10	8.50	4.75	24.35	7.65	68.94	76.58	183.98	80.16
397.5	11.51	9.47	5.95	26.93	8.66	75.20	82.28	235.38	85.33
381.4	11.94	9.38	5.03	26.35	8.26	69.17	78.56	214.29	88.69
562.7	13.88	11.01	5.71	30.60	9.56	68.85	79.32	286.87	123.53

**Tabla A11** Propiedades dimensionales de 96 granos de lupino andino a humedad de 59.8% (b.h.)

Masa (mg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Diámetro aritmético (mm)	Diámetro geométrico (mm)	% Esfericidad ( $\phi$ )	Relación de aspecto	Área superficial (mm <sup>2</sup> )	Área proyectada (mm <sup>2</sup> )
797.9	15.31	13.23	6.28	34.82	10.84	70.77	86.41	368.82	171.43
671.1	14.37	11.90	6.29	32.56	10.25	71.30	82.81	329.80	145.30
598.4	15.10	11.07	5.52	31.69	9.74	64.47	73.31	297.75	141.66
560.3	14.22	11.55	5.34	31.11	9.57	67.31	81.22	287.85	131.10
655.7	15.01	11.87	5.87	32.75	10.15	67.63	79.08	323.69	145.77
851.2	15.50	13.27	6.39	35.16	10.95	70.67	85.61	376.95	173.60
463.4	13.14	9.74	5.68	28.56	8.99	68.43	74.12	253.99	109.62
525.0	13.86	11.26	5.46	30.58	9.48	68.40	81.24	282.37	131.75
488.6	13.07	10.17	5.88	29.12	9.21	70.48	77.81	266.56	113.34
492.6	12.59	10.92	5.72	29.23	9.23	73.31	86.74	267.66	114.73
466.2	14.03	10.12	4.65	28.80	8.71	62.06	72.13	238.20	125.88
565.2	14.25	11.23	5.75	31.23	9.73	68.26	78.81	297.21	129.87
493.3	12.62	11.20	5.65	29.47	9.28	73.52	88.75	270.42	114.54
556.9	13.65	10.45	6.13	30.23	9.56	70.05	76.56	287.27	121.93
841.1	16.68	13.18	6.54	36.40	11.29	67.67	79.02	400.20	190.80
445.5	12.38	9.85	5.81	28.04	8.91	72.01	79.56	249.67	106.66
528.0	13.16	10.75	6.32	30.23	9.63	73.20	81.69	291.57	126.01
393.7	12.68	9.88	4.91	27.47	8.50	67.07	77.92	227.22	103.64
563.2	14.11	10.84	6.36	31.31	9.91	70.22	76.82	308.43	124.81
544.2	14.65	11.14	5.14	30.93	9.43	64.38	76.04	279.43	136.82
553.9	15.10	12.17	5.34	32.61	9.94	65.81	80.60	310.23	139.66
530.3	13.50	10.67	5.80	29.97	9.42	69.77	79.04	278.68	122.39
419.0	12.36	10.17	5.76	28.29	8.98	72.65	82.28	253.31	104.91
496.3	12.12	10.13	6.29	28.54	9.17	75.70	83.58	264.44	106.18
590.8	14.86	11.74	4.36	30.96	9.13	61.43	79.00	261.78	158.54
534.4	13.46	10.00	5.54	29.00	9.07	67.37	74.29	258.34	128.81
534.6	14.00	11.31	5.80	31.11	9.72	69.43	80.79	296.82	129.04
718.9	14.38	12.86	6.82	34.06	10.80	75.13	89.43	366.72	148.56
626.4	15.12	11.90	5.86	32.88	10.18	67.32	78.70	325.45	144.15
453.6	12.24	10.69	5.76	28.69	9.10	74.35	87.34	260.18	104.09
488.7	13.17	10.29	5.68	29.14	9.16	69.59	78.13	263.87	116.54
325.7	11.48	8.80	4.59	24.87	7.74	67.42	76.66	188.21	88.06
472.6	12.92	9.68	5.96	28.56	9.07	70.18	74.92	258.27	111.48
844.2	16.25	13.45	6.52	36.22	11.25	69.25	82.77	397.83	177.64
374.2	12.38	9.29	4.99	26.66	8.31	67.13	75.04	216.96	97.38
530.6	13.69	11.32	6.00	31.01	9.76	71.30	82.69	299.28	122.58
474.3	12.41	10.04	5.43	27.88	8.78	70.74	80.90	242.11	115.46
429.5	13.07	10.36	5.40	28.83	9.01	68.93	79.27	254.98	105.21
276.6	11.07	9.33	4.13	24.53	7.53	68.00	84.28	178.02	83.09
542.2	13.50	10.69	5.92	30.11	9.49	70.29	79.19	282.86	125.12
738.9	15.40	12.23	5.60	33.23	10.18	66.10	79.42	325.52	172.03
510.6	14.16	10.31	5.48	29.95	9.28	65.56	72.81	270.74	126.08
402.9	12.64	10.31	5.30	28.25	8.84	69.93	81.57	245.47	103.98
633.4	14.80	11.00	6.30	32.10	10.08	68.14	74.32	319.51	138.62
541.2	12.76	11.73	6.14	30.63	9.72	76.19	91.93	296.96	122.74
578.8	13.64	11.25	5.42	30.31	9.40	68.95	82.48	277.84	142.10
584.6	13.86	12.65	6.12	32.63	10.24	73.86	91.27	329.27	133.76
574.5	13.63	11.41	5.77	30.81	9.65	70.77	83.71	292.27	129.46

**Tabla A12 (continuación)** Propiedades dimensionales de 96 granos de lupino andino a humedad de 59.8% (b.h.)

Masa (mg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Diámetro aritmético (mm)	Diámetro geométrico (mm)	% Esfericidad ( $\phi$ )	Relación de aspecto	Área superficial (mm <sup>2</sup> )	Área proyectada (mm <sup>2</sup> )
413.9	12.10	9.15	4.98	26.23	8.20	67.77	75.62	211.24	102.71
545.5	13.93	10.66	5.88	30.47	9.56	68.61	76.53	286.99	127.98
556.1	14.34	11.88	5.60	31.82	9.84	68.65	82.85	304.45	138.58
510.0	13.86	11.01	5.75	30.62	9.57	69.07	79.44	287.94	126.07
480.7	13.96	10.59	5.13	29.68	9.12	65.33	75.86	261.27	128.48
589.8	14.91	11.33	5.56	31.80	9.79	65.68	75.99	301.30	142.04
572.0	13.36	11.08	6.42	30.86	9.83	73.59	82.93	303.67	124.91
585.8	14.57	11.24	5.56	31.37	9.69	66.52	77.14	295.13	139.43
545.2	14.03	11.43	5.34	30.80	9.50	67.68	81.47	283.30	135.79
453.0	13.17	10.40	5.29	28.86	8.98	68.20	78.97	253.43	116.00
602.2	15.45	11.86	5.20	32.51	9.84	63.69	76.76	304.20	162.34
575.1	15.01	11.17	5.69	31.87	9.84	65.58	74.42	304.45	145.29
492.7	12.39	10.11	5.95	28.45	9.07	73.18	81.60	258.25	117.07
491.7	12.92	10.68	5.37	28.97	9.05	70.04	82.66	257.25	123.37
446.2	12.66	10.05	5.88	28.59	9.08	71.71	79.38	258.90	105.77
579.0	13.93	11.48	5.84	31.25	9.77	70.17	82.41	300.16	138.42
445.2	12.90	10.69	5.32	28.91	9.02	69.91	82.87	255.55	117.09
458.4	13.13	10.09	5.89	29.11	9.21	70.12	76.85	266.28	108.49
468.0	12.19	10.95	5.79	28.93	9.18	75.28	89.83	264.57	110.49
366.8	11.97	8.90	5.53	26.40	8.38	70.03	74.35	220.78	100.60
570.8	14.00	10.91	5.99	30.90	9.71	69.34	77.93	296.08	135.43
545.8	14.75	10.88	5.15	30.78	9.38	63.62	73.76	276.67	138.97
525.5	13.54	10.84	5.32	29.70	9.21	68.01	80.06	266.39	131.04
541.2	14.05	11.67	5.54	31.26	9.68	68.93	83.06	294.66	134.27
601.0	14.31	10.83	5.87	31.01	9.69	67.71	75.68	294.95	134.29
496.0	13.75	10.93	5.05	29.73	9.12	66.34	79.49	261.39	124.53
403.6	12.55	9.86	5.54	27.95	8.82	70.26	78.57	244.25	102.83
330.3	12.19	9.18	4.49	25.86	7.95	65.22	75.31	198.55	98.16
364.2	11.80	9.16	5.20	26.16	8.25	69.94	77.63	213.96	95.67
611.6	14.55	12.35	5.98	32.88	10.24	70.40	84.88	329.59	146.86
636.8	14.56	10.78	6.56	31.90	10.10	69.35	74.04	320.34	137.99
546.5	14.11	10.88	6.13	31.12	9.80	69.45	77.11	301.69	131.59
462.9	13.02	10.50	5.51	29.03	9.10	69.88	80.65	260.09	113.84
529.4	13.56	12.15	5.70	31.41	9.79	72.22	89.60	301.27	130.62
544.9	14.20	11.47	5.87	31.54	9.85	69.38	80.77	304.89	127.32
519.2	12.99	9.90	5.76	28.65	9.05	69.65	76.21	257.19	119.10
445.5	12.55	10.02	5.16	27.73	8.66	68.98	79.84	235.46	119.39
753.0	15.08	11.50	6.35	32.93	10.33	68.48	76.26	335.02	156.82
548.5	13.84	11.00	6.02	30.86	9.71	70.18	79.48	296.41	127.70
345.7	11.72	9.80	4.39	25.91	7.96	67.91	83.62	199.02	101.38
434.2	12.52	10.58	5.61	28.71	9.06	72.35	84.50	257.74	108.14
355.9	11.94	8.69	4.91	25.54	7.99	66.89	72.78	200.40	94.61
625.0	13.23	11.16	6.93	31.32	10.08	76.17	84.35	319.00	122.73
767.1	15.11	12.83	6.39	34.33	10.74	71.08	84.91	362.36	164.59
673.4	15.19	11.63	5.61	32.43	9.97	65.64	76.56	312.28	160.84
393.2	11.61	9.99	5.33	26.93	8.52	73.37	86.05	227.98	97.13
519.1	12.67	10.92	6.03	29.62	9.41	74.30	86.19	278.42	115.75
380.4	12.08	10.31	5.39	27.78	8.76	72.48	85.35	240.86	96.94



**Tabla A13** Masa de 976 granos de lupino andino a humedad de 11.1% (b.h.)

Masa (mg)										
277.4	252.1	171.0	216.5	251.3	164.7	205.7	210.6	239.9	191.7	156.6
273.1	265.3	390.9	143.3	241.5	359.9	224.8	257.4	246.0	260.1	304.6
361.6	234.8	266.7	235.9	234.8	229.4	239.2	331.4	213.0	361.4	144.0
273.6	305.2	228.0	213.1	247.6	254.1	320.9	349.0	206.7	211.7	261.6
218.4	203.6	221.6	397.6	263.3	335.7	226.9	222.3	257.9	318.4	178.6
296.7	288.3	267.4	353.0	167.7	226.1	307.8	277.3	211.6	396.8	311.2
206.5	271.2	185.3	300.4	161.0	187.8	333.8	255.2	165.6	183.2	352.8
243.1	225.2	185.7	228.6	209.4	323.5	376.4	143.0	189.7	424.4	252.6
294.5	255.3	271.0	297.3	259.8	215.6	169.2	280.3	197.9	182.3	387.4
229.2	221.9	299.4	227.6	228.5	172.2	179.1	282.6	103.3	336.6	224.5
309.0	289.0	192.6	167.0	231.3	154.9	214.8	309.1	272.2	107.2	262.0
297.2	419.6	364.7	325.2	189.0	116.4	195.4	181.3	224.9	155.8	235.4
220.4	290.3	310.2	327.7	173.3	278.4	269.0	235.8	214.4	269.2	343.8
182.0	288.8	287.5	275.0	269.6	339.9	290.1	186.2	285.9	290.8	183.0
296.1	281.3	199.3	213.6	325.7	367.0	205.3	179.4	308.0	331.5	258.1
210.6	304.2	278.6	221.5	247.9	295.9	238.3	205.9	231.9	361.6	209.9
366.2	238.6	222.1	289.4	176.1	304.3	367.2	167.1	284.2	182.2	300.5
239.4	246.5	165.7	242.3	159.4	204.8	375.6	174.5	241.4	232.5	224.6
202.2	252.2	211.7	309.9	202.1	326.6	253.0	302.4	377.6	247.6	220.2
284.3	407.4	302.0	162.0	229.8	283.4	289.7	233.5	203.3	230.0	273.4
228.2	254.0	218.4	320.1	273.6	258.7	281.1	250.3	254.4	217.3	293.4
278.0	235.4	275.3	272.8	216.5	223.4	261.1	263.1	278.4	256.2	163.8
263.3	273.2	328.4	212.4	297.1	227.6	353.2	213.7	229.8	384.7	313.7
303.3	382.2	257.6	212.0	228.4	245.2	290.7	305.7	277.0	196.6	239.4
198.6	216.6	151.9	221.0	183.6	260.2	264.5	165.6	218.8	276.4	239.7
244.0	193.7	278.3	324.4	257.1	161.9	299.0	321.6	243.9	339.0	247.7
191.5	236.4	199.9	218.8	286.7	248.3	280.8	257.1	172.3	228.9	182.8
215.5	226.0	330.8	289.8	206.5	330.6	237.5	150.1	323.0	206.1	396.2
237.2	454.3	239.9	264.9	324.5	180.0	221.3	344.2	194.8	226.6	247.9
335.0	331.6	313.7	407.4	237.2	193.8	232.1	283.8	229.3	179.6	265.2
255.4	169.6	312.5	202.4	319.8	108.6	279.9	187.9	245.6	286.3	289.1
238.0	314.5	333.4	295.1	375.2	316.0	260.7	277.0	220.7	293.7	217.7
268.7	219.5	174.1	283.8	394.6	281.3	231.9	227.0	172.0	243.6	236.6
244.6	275.6	227.2	261.9	231.7	329.1	244.3	114.8	210.3	216.9	358.5
266.4	171.9	158.4	276.2	251.3	253.0	264.0	383.8	267.7	157.0	312.6
202.7	344.7	331.4	231.2	336.1	269.3	221.1	364.2	210.7	431.5	185.0
195.6	274.0	253.0	170.6	223.3	243.3	280.7	193.6	273.4	155.9	302.2
299.8	229.8	167.9	274.0	203.6	355.6	333.6	292.9	213.7	184.2	233.2
249.7	194.1	272.5	218.7	379.0	298.4	254.0	251.1	173.5	254.3	177.3
224.3	147.7	217.0	266.1	252.2	306.1	241.6	311.6	140.4	247.9	313.4
225.5	302.0	289.3	297.7	172.6	265.3	302.4	245.4	190.2	254.6	262.3
259.4	226.6	339.2	227.1	250.8	314.1	216.5	252.9	284.7	328.5	225.3
282.2	295.6	194.4	266.6	244.3	314.6	241.6	293.8	304.7	354.7	401.3
260.4	247.5	164.2	195.8	185.4	265.1	261.3	174.2	266.0	359.7	208.1
320.2	302.0	216.9	220.7	157.1	146.9	179.8	190.3	326.4	269.0	264.1
242.8	226.3	270.0	206.7	238.0	201.2	276.0	309.8	217.4	306.5	276.0

**Tabla A14 (continuación)** Masa de 976 granos de lupino andino a humedad de 11.1% (b.h.)

Masa (mg)										
136.2	220.7	171.7	236.9	215.9	302.6	233.4	256.9	328.4	269.5	196.0
191.5	230.4	279.3	276.0	184.2	256.3	226.4	274.1	217.6	191.9	169.2
155.4	221.2	242.3	208.9	270.7	230.6	295.5	342.5	340.5	247.4	218.0
253.2	196.6	324.7	168.8	281.5	271.4	288.5	232.8	162.1	305.7	284.3
280.5	264.6	272.7	259.4	279.2	223.3	222.9	357.9	164.4	206.9	276.2
273.6	213.1	396.4	319.1	285.9	251.9	247.0	230.9	321.2	234.8	196.8
250.2	239.0	327.7	213.6	165.6	373.3	205.8	206.8	197.3	169.2	219.4
187.5	267.6	305.0	228.2	298.9	313.2	287.4	261.2	249.1	147.8	259.7
267.0	187.1	228.3	234.0	268.0	219.4	339.7	249.7	219.8	207.1	328.1
187.6	233.7	255.6	155.3	239.0	289.5	316.3	320.9	250.7	200.6	244.7
263.3	229.9	342.3	191.7	232.4	231.5	285.4	403.4	159.3	175.4	296.9
201.8	242.3	334.3	247.3	225.4	157.2	295.8	264.2	151.9	211.6	208.6
299.6	178.6	176.6	259.1	328.0	153.0	263.7	304.3	366.2	328.1	250.9
314.3	273.1	260.6	255.1	299.6	140.4	236.3	237.0	173.4	222.3	199.6
204.1	220.8	330.5	246.6	335.2	270.7	156.0	235.6	257.3	352.0	175.3
139.4	229.4	310.1	250.4	288.4	264.6	145.3	448.8	249.7	287.3	301.7
241.2	353.6	319.3	177.2	257.5	297.7	145.3	214.1	279.7	309.3	250.3
283.8	313.7	239.0	365.3	180.1	292.0	279.8	242.0	178.0	354.7	180.8
233.4	306.2	289.4	229.3	162.2	264.5	174.2	203.6	258.2	266.0	226.2
286.4	255.2	254.0	277.3	191.2	239.2	326.8	208.0	340.1	217.3	223.3
283.6	186.5	209.0	248.4	258.4	235.2	303.4	243.2	192.6	124.3	252.6
171.5	207.0	289.3	207.4	243.9	324.4	325.5	199.1	311.7	180.8	195.4
242.0	295.2	243.2	351.8	222.1	263.0	257.6	272.7	173.6	257.2	332.0
188.1	226.4	251.0	181.5	273.0	212.7	271.6	247.6	254.3	228.8	243.3
290.1	231.7	220.9	243.5	268.5	264.6	226.4	158.9	236.0	243.9	261.4
247.9	253.9	278.4	264.6	311.2	150.3	284.9	176.3	345.3	166.0	200.7
285.7	257.1	304.6	246.7	295.7	252.5	284.6	304.8	284.1	275.6	280.6
290.2	227.6	242.8	235.0	249.8	194.0	263.6	311.6	348.9	226.4	285.9
247.2	232.1	207.0	196.5	277.3	267.6	157.7	282.1	130.9	371.4	331.2
190.6	262.1	294.8	211.3	202.0	371.2	290.4	223.6	180.1	313.3	280.6
190.6	295.3	265.7	210.7	312.0	256.6	238.7	292.4	278.4	236.8	233.9
193.9	251.3	296.3	279.7	281.1	434.7	360.0	290.9	240.2	219.3	181.3
260.3	251.0	373.1	229.5	282.0	401.3	229.3	277.2	230.7	192.3	371.6
240.6	244.3	162.3	305.1	244.3	291.1	265.9	216.6	245.4	357.9	228.7
250.4	178.6	227.4	224.2	189.1	315.2	312.4	239.2	305.1	300.7	207.5
189.3	232.2	200.4	310.0	239.0	226.7	293.7	249.1	249.1	187.1	261.0
222.6	205.9	294.4	291.3	366.1	159.5	264.9	362.7	241.8	234.2	290.1
235.0	223.2	329.4	229.9	178.0	355.4	258.7	316.8	329.7	250.0	402.2
226.2	289.0	307.6	305.3	212.4	275.4	222.2	345.5	404.8	185.3	356.9
229.3	430.6	278.9	267.7	246.0	310.3	240.2	326.5	337.3	366.8	280.1
266.9	240.3	238.8	226.4	226.7	240.4	321.7	285.1	307.7	315.6	
318.4	262.7	227.5	254.6	394.2	248.7	226.4	320.4	241.2	212.3	
299.9	316.7	206.6	171.5	149.7	374.2	324.5	122.0	266.0	192.3	

**Tabla A15** Tasa de redondez de granos de lupino andino a diferentes humedades (b.h.)

<b>11.1%</b>	<b>19.6%</b>	<b>29.8%</b>	<b>39.9%</b>	<b>50.7%</b>	<b>59.8%</b>
87.14	82.68	92.98	79.58	82.24	93.12
81.11	90.90	90.92	84.40	83.65	89.59
78.56	89.91	83.13	79.80	76.12	79.11
86.27	78.40	88.45	70.07	78.31	82.55
73.86	84.47	82.98	84.08	81.23	82.38
73.13	90.53	83.16	81.32	85.59	92.00
76.62	89.15	86.89	80.95	78.87	80.84
77.73	78.66	75.50	87.01	79.33	87.33
74.97	83.40	80.68	83.49	81.41	84.48
74.59	87.88	85.39	78.79	86.01	92.16
72.61	79.04	82.93	91.04	83.43	81.42
77.78	81.74	93.66	75.58	89.54	81.43
71.19	82.04	88.87	86.13	81.98	91.57
80.89	79.44	85.44	87.31	88.10	83.32
69.42	91.25	86.97	91.15	77.70	87.32
86.70	81.53	85.28	80.37	86.74	88.61
79.33	81.44	84.69	81.30	87.34	92.64
78.69	80.68	86.14	82.40	80.99	82.08
74.34	74.93	83.43	85.89	93.66	79.82
78.03	85.67	89.42	77.85	84.36	81.17
66.99	78.68	93.04	86.70	83.84	77.99
79.11	75.70	86.25	81.50	75.02	85.51
91.01	76.90	87.22	83.33	90.23	87.43
80.39	84.69	80.51	82.48	76.05	92.03
74.30	88.26	85.44	81.43	72.86	91.42
71.69	92.69	86.91	83.85	82.89	90.53
73.36	76.05	88.89	79.98	80.24	83.83
67.73	82.08	85.41	92.89	87.59	91.48
71.02	95.69	71.71	78.75	80.30	80.29
83.34	86.87	86.35	84.97	76.64	88.46
76.86	85.35	89.64	91.13	85.01	85.55
74.44	77.67	75.11	82.48	86.60	85.08
79.80	86.15	85.77	85.24	92.32	85.04
69.53	89.44	94.21	81.65	82.75	85.66
71.80	83.68	88.84	86.70	87.70	80.90
78.08	85.48	89.62	79.04	59.35	83.28
85.19	76.01	85.67	73.27	97.80	88.73
77.02	85.01	78.36	83.19	82.74	95.46
82.62	96.42	75.71	93.68	89.21	78.42
84.60	84.62	85.35	81.74	88.63	86.34
81.02	64.95	83.67	76.80	82.82	87.41
85.11	84.86	88.44	87.73	85.60	92.36
78.37	88.82	89.86	76.11	86.56	80.06
78.92	85.81	79.57	79.20	79.21	82.87
71.80	81.84	80.52	79.65	81.64	80.58
80.78	80.65	75.93	92.20	84.73	95.99
73.89	80.64	87.19	85.48	86.21	97.25
76.75	86.97	81.73	89.61	85.86	88.66
72.88	85.90	85.91	83.66	83.10	89.33
75.85	88.42	89.67	93.44	86.23	83.98
78.50	81.84	83.93	88.72	87.85	85.81
84.70	81.97	84.18	96.02	86.74	83.56

**Tabla A16 (continuación)** Porcentaje de tasa de redondez de granos de lupino andino a diferentes humedades (b.h.)

<b>11.1%</b>	<b>19.6%</b>	<b>29.8%</b>	<b>39.9%</b>	<b>50.7%</b>	<b>59.8%</b>
78.59	89.53	88.24	75.63	79.34	83.94
79.56	84.72	79.68	80.27	84.29	81.36
77.27	85.64	93.82	89.26	75.51	89.10
80.83	91.50	94.89	86.11	84.52	83.63
72.36	83.71	74.83	84.70	90.65	87.83
74.03	85.92	87.26	85.91	86.77	85.16
76.57	89.64	81.59	84.25	75.29	86.59
79.97	87.23	84.78	91.71	93.13	82.11
78.16	81.92	81.27	83.33	93.44	97.10
81.61	79.20	86.39	88.62	89.52	94.10
82.37	81.27	86.95	94.22	93.12	84.03
76.39	92.58	81.48	82.81	82.50	90.83
81.82	80.07	87.29	82.52	82.66	89.59
69.66	88.43	91.25	80.44	89.13	80.13
70.18	77.55	92.49	82.95	83.75	94.68
72.74	84.11	81.01	94.03	90.07	89.40
81.40	80.09	88.08	89.43	83.98	87.98
69.59	71.01	96.06	85.00	94.81	81.33
76.44	82.47	91.51	93.70	87.28	91.01
73.20	76.41	90.57	90.75	86.82	86.61
81.85	84.53	77.85	90.76	85.56	83.50
89.36	77.50	89.31	81.39	79.74	83.86
74.73	85.97	81.27	82.96	90.15	83.13
78.78	96.87	87.43	86.58	86.60	84.11
80.18	91.51	76.90	93.96	80.01	87.48
75.37	92.71	79.19	81.55	83.00	88.33
76.04	94.27	90.84	85.57	98.75	82.88
88.97	84.39	85.96	91.19	87.41	84.16
78.94	82.37	92.71	79.74	88.43	85.51
82.47	82.58	91.19	80.15	87.82	90.45
93.22	82.35	83.86	78.97	90.21	80.40
81.98	87.96	92.79	84.88	82.33	89.87
80.88	82.41	90.55	79.66	86.20	96.52
81.27	81.34	90.39	95.46	79.82	87.80
83.60	81.14	84.45	85.36	81.61	84.89
75.51	76.02	82.82	88.45	75.30	93.97
85.28	83.41	93.32	85.64	85.65	87.84
68.75	88.08	84.23	88.98	94.11	84.50
72.69	76.29	79.72	96.70	84.52	89.28
85.06	84.66	82.69	85.04	83.46	91.79
81.26	84.95	90.00	92.74	78.45	88.76
74.12	87.87	77.84	84.61	89.62	91.75
87.88	83.89	87.55	89.74	82.84	91.81
81.57	86.11	76.28	92.59	82.01	84.58

**Tabla A17** Masa de 30 granos, volumen y densidad real de lupino andino determinados a diferentes humedades (b.h.)

<b>Humedad (%)</b>	<b>Masa de 30 granos (g)</b>				<b>Volumen (ml)</b>				<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>			
<b>11.1</b>	7.89	7.26	7.81	7.69	7.0	6.4	6.8	6.6	1127.50	1134.83	1148.07	1164.92
	6.93	7.28	8.02	7.62	6.0	6.2	7.0	6.6	1154.28	1174.61	1145.24	1155.08
	7.05	8.11			6.2	7.2			1137.37	1126.74		
<b>19.6</b>	8.42	7.50	8.00	8.87	7.4	6.6	6.8	7.6	1137.45	1136.48	1175.85	1166.97
	8.87	8.93	8.52	8.03	7.6	7.8	7.4	7.0	1167.47	1144.87	1151.57	1147.83
	8.20	8.37			7.2	7.2			1139.57	1162.01		
<b>29.8</b>	8.77	9.21	9.15	9.57	7.8	8.2	8.0	8.4	1124.28	1123.65	1144.08	1139.50
	9.08	9.34	9.84	10.47	8.0	8.2	8.8	9.6	1134.43	1138.95	1117.85	1090.52
	8.53	10.32			7.6	9.4			1122.68	1097.38		
<b>39.9</b>	10.52	10.92	9.78	9.12	10.2	10.6	9.6	9.2	1031.47	1029.81	1019.01	990.89
	10.82	10.13	10.25	10.38	10.4	10.0	9.8	10.0	1040.28	1013.42	1045.61	1037.50
	10.18	10.82			10.0	10.4			1017.61	1040.51		
<b>50.7</b>	12.98	12.77	12.74	14.04	12.8	12.8	12.6	14.4	1013.77	997.37	1010.87	975.00
	11.75	12.92			12.2	12.6			963.02	1025.02		
<b>59.8</b>	15.97	14.92	15.80	16.02	14.8	14.0	14.8	15.0	1079.33	1065.87	1067.50	1067.96
	16.13	15.61	16.16	16.03	15.0	14.4	15.0	15.0	1075.05	1083.98	1077.27	1068.61
	15.72	17.56			14.6	16.4			1077.05	1070.95		

**Tabla A18** Masa de granos de lupino andino en un cubo con volumen de  $10^{-3} \text{ m}^3$  y densidad aparente a diferentes humedades (b.h.)

Humedad (%)	Masa (g)				Densidad aparente ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )			
<b>11.1</b>	756.69	753.92	767.01	752.19	756.69	753.92	767.01	752.19
	755.95	748.71	757.98	757.17	755.95	748.71	757.98	757.17
	756.81	746.45			756.81	746.45		
<b>19.6</b>	448.55	444.88	453.70	441.70	448.55	444.88	453.70	441.70
	449.98	449.71	445.10	454.17	449.98	449.71	445.10	454.17
	455.00	445.56			455.00	445.56		
<b>29.8</b>	682.90	676.82	670.95	666.44	682.9	676.82	670.95	666.44
	680.77	680.18	685.15	674.11	680.77	680.18	685.15	674.11
	675.19	683.19			675.19	683.19		
<b>39.9</b>	587.66	589.61	586.15	599.08	587.66	589.61	586.15	599.08
	607.94	593.64	588.42	606.34	607.94	593.64	588.42	606.34
	599.64	608.97			599.64	608.97		
<b>50.7</b>	608.40	615.30	614.74	613.03	608.40	615.30	614.74	613.03
	610.97	601.29	617.33	608.48	610.97	601.29	617.33	608.48
	595.70	624.55			595.70	624.55		
<b>59.8</b>	637.14	652.79	649.75	634.02	637.14	652.79	649.75	634.02
	640.34	643.03	653.20	642.92	640.34	643.03	653.20	642.92
	641.85	651.79			641.85	651.79		

**Tabla A19** Porosidad de los granos de lupino a diferentes humedades (b.h.)

Humedad (%)	Densidad aparente ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Densidad real ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Porosidad (%)
11.1	755.29	1146.86	34.14
19.6	448.84	1153.01	35.12
29.8	677.57	1123.33	39.68
39.9	596.75	1026.61	41.87
50.7	610.98	997.51	38.75
59.8	644.68	1073.36	39.94

**Tabla A20** Masa de granos de lupino, fuerza marcada por el dinamómetro y coeficiente de fricción a diferentes humedades (b.h.)

Humedad (%)	Melamine			Acero inoxidable			Latón galvanizado		
	Masa (g)	Fuerza (N)	Coefficiente de fricción ( $\mu$ )	Masa (g)	Fuerza (N)	Coefficiente de fricción ( $\mu$ )	Masa (g)	Fuerza (N)	Coefficiente de fricción ( $\mu$ )
<b>11.1</b>	467.35	0.9	0.15	450.39	1.4	0.27	437.91	1.4	0.26
	453.23	0.8	0.14	446.68	1.3	0.25	448.52	1.4	0.25
	468.51	0.8	0.13	448.60	1.3	0.25	436.37	1.4	0.26
	465.72	0.9	0.15	440.17	1.3	0.26	462.70	1.5	0.26
	456.29	0.9	0.16	443.11	1.2	0.23	448.16	1.5	0.27
<b>19.6</b>	448.55	1.8	0.36	449.98	2.2	0.45	454.17	1.7	0.31
	444.88	1.9	0.39	440.21	2.1	0.44	455.00	1.5	0.27
	453.70	1.9	0.38	449.71	2.3	0.48	445.56	1.4	0.25
	444.70	2.0	0.41	445.10	2.2	0.46	440.41	1.4	0.25
	441.31	1.9	0.39	447.20	2.1	0.43	456.15	1.4	0.25
<b>29.8</b>	410.71	2.1	0.47	421.40	2.4	0.53	415.00	1.7	0.34
	402.86	1.9	0.43	404.37	2.4	0.56	413.91	1.6	0.32
	407.08	2.1	0.48	411.23	2.3	0.52	413.00	1.8	0.37
	396.30	2.0	0.46	412.27	2.3	0.52	409.82	1.8	0.37
	412.48	2.1	0.47	422.81	2.5	0.56	415.96	1.7	0.34
<b>39.9</b>	357.62	2.3	0.60	358.99	2.6	0.68	367.14	2.6	0.64
	350.60	2.2	0.58	352.95	2.6	0.69	363.03	2.8	0.70
	363.11	2.2	0.56	358.59	2.7	0.71	360.12	2.7	0.68
	354.24	2.4	0.63	358.59	2.6	0.68	362.51	2.6	0.65
	362.60	2.2	0.56	358.41	2.6	0.68	367.35	2.7	0.67
<b>50.7</b>	359.08	2.7	0.71	355.71	3.0	0.8	373.67	2.9	0.71
	359.97	2.9	0.77	377.32	3.3	0.84	359.25	2.8	0.71
	363.07	2.8	0.73	361.67	3.2	0.85	363.62	2.7	0.67
	356.21	2.7	0.72	367.12	3.1	0.81	367.80	2.8	0.69
	360.08	2.8	0.74	370.98	3.2	0.83	362.92	2.8	0.70
<b>59.8</b>	396.08	3.0	0.72	387.52	3.0	0.74	396.07	2.9	0.67
	381.94	2.7	0.67	383.96	2.9	0.72	381.08	2.9	0.70
	378.21	2.8	0.70	384.34	2.9	0.72	372.52	2.8	0.68
	376.88	2.9	0.73	371.37	2.8	0.71	378.06	2.8	0.67
	379.96	2.7	0.67	379.81	2.8	0.70	395.31	3.0	0.70

**Tabla A21** Masa de 500 granos de lupino andino a diferentes humedades (b.h.) para la determinación de la masa de 1000 granos

Humedad (%)	Masa (g)	Promedio y desviación	Coefficiente de variación
<b>11.1</b>	25.21	25.42 ± 0.22	0.74
	25.57		
	25.49		
<b>19.6</b>	27.21	27.54 ± 0.33	1.05
	27.69		
	27.73		
<b>29.8</b>	31.09	31.21 ± 0.20	0.53
	31.40		
	31.14		
<b>39.9</b>	33.95	34.53 ± 1.04	2.67
	34.04		
	35.59		
<b>50.7</b>	42.76	42.67 ± 0.51	1.05
	42.19		
	43.07		
<b>59.8</b>	53.65	53.38 ± 0.84	1.40
	53.96		
	52.54		

**Tabla A22** Ángulos de reposo del lupino andino a diferente contenido de humedad en b.h.

Humedad (%)	Ángulo de reposo (°)		
<b>11.08</b>	21.6	22.1	20.9
<b>19.57</b>	22.4	21.6	29.0
<b>29.75</b>	24.0	25.5	26.7
<b>39.94</b>	38.8	29.5	33.2
<b>50.74</b>	37.1	36.8	37.4
<b>59.83</b>	45.3	42.8	39.8



**Tabla A23** Cantidad de granos distribuidos en la clasificación Sneed & Folk a diferentes humedades (b.h.)

Humedad	11%	20%	30%	40%	50%	60%
<b>Clasificación Sneed &amp; Folk</b>	Cantidad de granos					
Esférico	3	0	0	0	0	0
Esférico aplanado	10	10	11	10	5	1
Esferoide oblato	56	34	29	11	16	1
Esferoide prolato	1	3	0	0	0	0
Disco	6	11	20	34	27	40
Elipsoide aplanado	20	39	36	41	48	53
Alargado	0	0	0	0	0	0
Muy aplanado	0	0	0	0	0	0
Muy elíptico	0	0	0	0	0	0
Muy alargado	0	0	0	0	0	0

**Tabla A24** Resumen estadístico del análisis de varianza (ANOVA) de un factor para la variable masa, con uso del software estadístico Statgraphics centurión XII

RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Humedad 11.1%	96	23866.40	248.61	2283.86
Humedad 19.6%	96	27295.90	284.33	3417.35
Humedad 29.8%	96	31133.80	324.31	4727.47
Humedad 39.9%	96	35545.90	370.27	6906.52
Humedad 50.7%	96	41660.90	433.97	9493.62
Humedad 59.8%	96	50931.20	530.53	12798.14

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor P	Valor crítico para F
Entre grupos	5173906.6	5	1034781.31	156.68	0.00	3.05
Dentro de los grupos	3764560.4	570	6604.49			
Total	8938467.0	575				

Hipótesis

$H_0$  = Las medias son iguales con 99.90% de confiabilidad

$H_a$  = En al menos un grupo, la media es distinta, con 99.90% de confiabilidad

**Tabla A25** Resumen estadístico del análisis de varianza (ANOVA) de un factor para la variable largo, con uso del software estadístico Statgraphics centurión XII

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Humedad 11.1%	96	928.22	9.67	0.69
Humedad 19.6%	96	980.85	10.22	0.68
Humedad 29.8%	96	1017.14	10.60	0.85
Humedad 39.9%	96	1066.28	11.11	0.91
Humedad 50.7%	96	1163.12	12.12	1.58
Humedad 59.8%	96	1304.60	13.59	1.30

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor P</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	982.25	5	196.45	195.96	0.00	3.05
Dentro de los grupos	571.43	570	1.00			
Total	1553.68	575				

Hipótesis

$H_0$  = Las medias son iguales con 99.90% de confiabilidad

$H_a$  = En al menos un grupo, la media es distinta, con 99.90% de confiabilidad

**Tabla A26** Resumen estadístico del análisis de varianza (ANOVA) de un factor para la variable ancho, con uso del software estadístico Statgraphics centurión XII

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Humedad 11.1%	96	743.62	7.75	0.45
Humedad 19.6%	96	781.52	8.14	0.69
Humedad 29.8%	96	822.27	8.57	0.64
Humedad 39.9%	96	867.33	9.03	0.82
Humedad 50.7%	96	938.41	9.78	1.02
Humedad 59.8%	96	1044.87	10.88	1.02

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor P</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	638.18	5	127.64	165.02	0.00	3.05
Dentro de los grupos	440.88	570	0.77			
Total	1079.050749	575				

**Tabla A27** Resumen estadístico del análisis de varianza (ANOVA) de un factor para la variable espesor, con uso del software estadístico Statgraphics centurión XII

RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Humedad 11.1%	96	503.19	5.24	0.22		
Humedad 19.6%	96	488.89	5.09	0.33		
Humedad 29.8%	96	498.42	5.19	0.24		
Humedad 39.9%	96	496.59	5.17	0.29		
Humedad 50.7%	96	525.64	5.48	0.29		
Humedad 59.8%	96	543.52	5.66	0.28		

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor P</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	22.62	5	4.52	16.49	0.00	3.05
Dentro de los grupos	156.43	570	0.27			
Total	179.05	575				

Hipótesis

H<sub>0</sub> = Las medias son iguales con 99.90% de confiabilidad

H<sub>a</sub> = En al menos un grupo, la media es distinta, con 99.90% de confiabilidad

**Tabla A28** Resumen estadístico del análisis de varianza (ANOVA) de un factor para la relación de aspecto, con uso del software estadístico Statgraphics centurión XII

RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Humedad 11.1%	96	7705.36	80.26	23.98		
Humedad 19.6%	96	7658.33	79.77	40.31		
Humedad 29.8%	96	7769.58	80.93	21.51		
Humedad 39.9%	96	7814.41	81.40	26.14		
Humedad 50.7%	96	7757.03	80.80	19.93		
Humedad 59.8%	96	7694.63	80.15	20.04		

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor P</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	170.36	5	34.07	1.35	0.24	3.05
Dentro de los grupos	14431.45	570	25.32			
Total	14601.81	575				

**Tabla A29** Resumen estadístico del análisis de varianza (ANOVA) de un factor para la esfericidad, con uso del software estadístico Statgraphics centurión XII

RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Humedad 11.1%	96	7278.78	75.82	14.95		
Humedad 19.6%	96	7055.57	73.50	16.28		
Humedad 29.8%	96	7055.89	73.50	12.68		
Humedad 39.9%	96	6946.95	72.36	11.23		
Humedad 50.7%	96	6865.95	71.52	10.04		
Humedad 59.8%	96	6660.84	69.38	9.12		

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor P</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2256.87	5	451.3742554	36.45	0.00	3.05
Dentro de los grupos	7058.68	570	12.38365047			
Total	9315.55	575				

Hipótesis

H<sub>0</sub> = Las medias son iguales con 99.90% de confiabilidad

H<sub>a</sub> = En al menos un grupo, la media es distinta, con 99.90% de confiabilidad

**Tabla A30** Resumen estadístico del análisis de varianza (ANOVA) de un factor para el área superficial, con uso del software estadístico Statgraphics centurión XII

RESUMEN						
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
Humedad 11.1%	96	16189.56	168.64	508.83		
Humedad 19.6%	96	17014.42	177.23	618.69		
Humedad 29.8%	96	18291.79	190.54	719.49		
Humedad 39.9%	96	19550.22	203.65	1044.78		
Humedad 50.7%	96	22706.24	236.52	1660.09		
Humedad 59.8%	96	26887	280.07	1816.26		

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor P</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	846248.19	5	169249.64	159.47	0.00	3.05
Dentro de los grupos	604973.32	570	1061.36			
Total	1451221.504	575				

**Tabla A31** Resumen estadístico del análisis de varianza (ANOVA) de un factor para el área proyectada, con uso del software estadístico Statgraphics centurión XII

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Humedad 11.1%	96	5528.55	57.59	88.76
Humedad 19.6%	96	6638.69	69.15	119.90
Humedad 29.8%	96	7277.78	75.81	163.15
Humedad 39.9%	96	7942.92	82.74	186.64
Humedad 50.7%	96	9405.01	97.97	345.29
Humedad 59.8%	96	12136.37	126.42	434.69

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor P</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	285685.00	5	57137.00	256.14	0.00	3.05
Dentro de los grupos	127151.04	570	223.07			
Total	412836.04	575				

Hipótesis

$H_0$  = Las medias son iguales con 99.90% de confiabilidad

$H_a$  = En al menos un grupo, la media es distinta, con 99.90% de confiabilidad