



# Daños mecánicos asociados al procesamiento de granos y semillas: una revisión de la literatura

Ana Arévalos <sup>a,\*</sup>, Eduardo Redondo <sup>a</sup>, Andrea Insfrán <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay

\*Corresponding author: anapamelaarevalos@gmail.com

**Abstract**—Damages on agricultural industry products (grains and seeds) are mainly due to improper mechanical handling during harvesting, drying, and storage stages. Factors that lead to modification of grain mechanical properties are the main topic of study in the literature on agricultural processes improvement. Early identification of these factors allows timely decision making on the productive flow that leads to mitigation of significant economic losses. This study aims to provide an overview of these factors and the methods used to measure them. The literature related to most researched grains and seeds, its physical-mechanical properties, and damages that could occur from harvesting to storage, has been considered as an analytical spectrum. A total of 94 references between 1971 and 2018 were revised, of which 51 were about soybeans and 43 about other grains and seeds. As a result of these references examination, based on common analysis dimensions, the similarities among them are stated, and methods mostly used by authors to measure mechanical properties variation are identified.

**Keywords**—Seeds/grains, mechanical damage/mechanical properties, processes improvement.

**Resumen**—Los daños en productos del sector agrícola, específicamente granos y semillas, se deben mayormente a la manipulación mecánica indebida durante las etapas de recolección, secado y almacenamiento. El estudio de factores que propician la modificación de las propiedades mecánicas de los productos constituye un tema altamente abordado en la literatura en lo que refiere a la mejora de procesos agrícolas. La temprana identificación de estos factores permite la oportuna toma de decisiones sobre el flujo productivo a fin de mitigar considerables pérdidas económicas. El objetivo de este trabajo es proporcionar una visión global de estos factores y de los métodos utilizados para medirlos. Como espectro de análisis, se ha considerado la literatura relacionada a granos y semillas mayormente estudiados, sus propiedades físico-mecánicas y tipos de daño que pueden sufrir desde la cosecha hasta su almacenamiento. Fueron revisadas 94 referencias bibliográficas comprendidas entre los años 1971 y 2018, de las cuales 51 corresponden a granos de soja y, 43 a otros granos y semillas. Como resultado de la exploración de estas fuentes y con base en dimensiones de análisis comunes, se exponen las similitudes existentes y se identifican los métodos más utilizados para medir propiedades mecánicas asociadas a la determinación de la calidad de granos y semillas.

**Palabras Claves**—Semillas/granos, daño mecánico/propiedades, mejora de procesos.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios como actividad económica, la agricultura experimenta cuantiosas pérdidas asociadas a la manipulación de granos y semillas (uso de maquinarias) o por factores ligados a condiciones físico-ambientales, desde la etapa de recolección hasta el almacenamiento de los mismos. Dependiendo de la naturaleza del producto recolectado y del grado tecnológico de los procesos por los que pasa el mismo, las pérdidas pueden aumentar de forma a comprometer la productividad de la actividad y la calidad del producto.

En lo que concierne a granos y semillas, si bien es cierto que existen diferencias entre ambos conceptos: los granos son destinados a la industria alimentaria y las semillas empleadas en la siembra y propagación de la especie (Garnero, 2012), de ahora en adelante se hablará indistintamente de “granos” para referirse a ambos productos.

La calidad final de los granos definirá el nivel de productividad alcanzado en el proceso de manipulación de los mismos, por lo que esta característica debe ser medida y definida de forma consensuada a lo largo de las diferentes etapas que componen el flujo productivo. En la literatura se hallan distintos elementos que pueden definir la calidad del producto, sin embargo, en este trabajo se adopta la propuesta de Méndez y Roskopf (2007), para quienes la calidad depende directamente del porcentaje de ruptura en el grano.

La mayoría de los trabajos encontrados referentes a este tema se ha centrado en el análisis de daños a granos específicos de la industria agrícola, o a sub-procesos de manipulación de forma aislada: recolección, secado y almacenamiento. Es por ello que esta revisión descriptiva se diferencia con respecto a otras, por presentar un conglomerado de métodos y técnicas que estudios anteriores utilizan en común, abarcando un gran número de granos de la industria y varias etapas de su procesamiento, enfocando el análisis en el daño mecánico. Al mismo tiempo, se espera facilitar la toma de decisiones en cuanto al diseño de máquinas y la mejora de procesos en esta industria por medio de la determinación de los factores que propician el deterioro de la calidad de los granos con mayores volúmenes productivos.

Este artículo de revisión corresponde a una extensión de Arévalos y Redondo (2018), analizando las propiedades físicas, geométricas y fisiológicas asociadas al daño mecánico en granos de soja a causa de la manipulación de éstos, con la novedad de incluir el análisis de factores asociados al daño mecánico en otros

granos de la industria agrícola, como ser el maíz, el trigo, los frijoles, las lentejas, entre otros granos altamente estudiados cuya identificación se debe a los resultados de esta revisión. Además, teniendo en cuenta que pudieran existir similitudes entre la manipulación poscosecha de los granos de soja y los procesos de obtención de productos derivados de éstos, se optó por complementar esta revisión con la inclusión de productos agrícolas tales como la harina y vainas de soja.

El manuscrito inicia con una breve introducción, seguida por la descripción de la metodología de búsqueda, selección y análisis de la literatura revisada. Posteriormente, se exponen los resultados de la revisión de la literatura, las tendencias de investigación en el ámbito, y se concluye sobre los métodos de medición más utilizados y los factores que afectan la calidad de los distintos granos mencionados anteriormente.

## II. METODOLOGÍA

La presente revisión de la literatura explora referencias bibliográficas obtenidas a partir de las siguientes bases de datos electrónicas: Elsevier Science Direct, Scielo, Springer Link, Researchgate y Google scholar. Se analizaron artículos científicos, capítulos de libros y revistas de distintos países, obtenidos a partir de Palabras Clave relacionadas a productos agrícolas, propiedades mecánicas, daño mecánico y resistencia mecánica de granos de soja, maíz, trigo, granos de girasol, combinando con palabras relacionadas a la industria y etapas de producción como cosecha, procesamiento y almacenamiento. Se utilizaron palabras en Inglés, Español y Portugués, con este último, se obtuvieron estudios realizados mayormente en Brasil.

Los trabajos fueron elegidos con base en una revisión de títulos, resúmenes, conclusiones y contenido completo. Fueron descartados trabajos relacionados a nutrición, forma de siembra, genética y análisis químicos, reduciéndose el número de 170 trabajos previamente seleccionados, a 94 estudios. El periodo total comprendido fue de 48 años (desde el año 1971 hasta el 2018).

Para ahondar en el análisis descriptivo de esta revisión, previamente se elaboró una síntesis de cada trabajo seleccionado, de los cuales además se extrajeron los siguientes datos: autor/es, año de publicación, país de estudio, etapas de producción, y dimensiones analizadas: propiedades, métodos y efectos aplicados por los autores.

### III. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La revisión minuciosa de investigaciones referentes a daños mecánicos de granos en general, permitió una división de los mismos en dos grupos de investigaciones, el primer grupo abarcó trabajos relacionados a granos de soja y el segundo a granos de otras familias.

#### 3.1. Soja

En Arévalos y Redondo (2018) se presentó un análisis de investigaciones relacionadas únicamente a granos de soja, por lo que el vasto compendio de artículos analizados es referenciado como complemento en lo que concierne a estos granos. En esta investigación se ahondó acerca del comportamiento de granos de soja según sus propiedades, a través de las etapas de cosecha, procesamiento, almacenamiento y procesos combinados. Se puede recurrir a dicho artículo ante el interés del lector, a fin de apreciar mejor los trabajos revisados que se presentan brevemente a continuación. No obstante, a continuación se sintetiza los hallazgos globales de dicho trabajo.

Los granos de soja sufren daños mecánicos a causa del uso de máquinas durante la cosecha. Dichos daños fueron evaluados por Philbrook y Oplinger (1989), Compagnon *et al.* (2012), Neto y Troli (2003), Pacheco *et al.* (2015), Cunha y Zandbergen (2007), Paixão *et al.* (2017), Gagare *et al.* (2014), Ning *et al.* (2014), Costa *et al.* (1996), Soza *et al.* (2014), Costa *et al.* (2005), Costa *et al.* (2003), Cunha *et al.* (2009), Delouche (1971), Camolese *et al.* (2015) y Lopes *et al.* (2011), quienes estudiaron a través de diversos métodos, las relaciones entre el daño mecánico y las propiedades del grano. Por otra parte, mediante equipos de ensayo mecánicos, analizaron la resistencia de los granos Sosnowski y Kuzniar (1999), Öztürk *et al.* (2017), Pan y Tangratanavalee (2003), Kuźniar *et al.* (2016), Henry *et al.* (2000), Petru y Masin (2017), Tunde-Akintunde *et al.* (2005), Ribeiro *et al.* (2007), Lončarević *et al.* (2010), Tavakoli *et al.* (2009) y Goli *et al.* (2016).

Para cuantificar y evaluar los daños mecánicos en granos de soja se implementó el test de hipoclorito de sodio en los trabajos de Paixão *et al.* (2017), Costa *et al.* (1996), Cunha *et al.* (2009), Soza *et al.* (2014), Misra *et al.* (1985), Parde *et al.* (2002), Divsalar y Oskouie (2011) y Rollán *et al.* (2001), mientras que en los estudios de Costa *et al.* (1996), Vearasilp *et al.* (2001) y Neves *et al.* (2016) se utilizó el test de tetrazolol. Ambos métodos fueron utilizados en el trabajo presentado por Costa *et al.* (2003) para evaluar los daños causados por máquinas cosechadoras en granos de soja. Para analizar la capacidad de germinación del grano de soja, Minuzzi *et al.* (2007) y Schuch *et al.* (2009)

implementaron el test de envejecimiento acelerado.

Magalhães *et al.* (2009), Holtz y Fialho dos Reis (2013) y Deshpande *et al.* (1993) utilizaron el método de secado en horno para determinar el contenido de humedad de los granos de soja, al igual que Polat *et al.* (2006) y Shirkole *et al.* (2011), quienes midieron la velocidad límite de los granos en una columna de aire.

Los granos son sometidos a esfuerzos durante el procesamiento, lo que puede afectar su calidad en el almacenamiento. En estudios realizados por Narayan *et al.* (1988), De Alencar *et al.* (2006), Šimic *et al.* (2006), Paulsen *et al.* (1981), El - Abady *et al.* (2012) y Krittigamas *et al.* (2001), se analizaron los cambios producidos en granos de soja almacenados por intervalos de tiempo y su relación con las condiciones de almacenamiento y el daño sufrido en los procesos anteriores.

Con el fin de diseñar correctamente estructuras para el almacenamiento de granos, estudiaron el coeficiente de fricción sobre distintas superficies inclinadas Kibar y Öztürk (2010), Işık (2007), Kashaninejad *et al.* (2008), Davies y El-Okene (2009) y Wandkar *et al.* (2012).

##### 3.1.1. Vainas y harinas

Una variante no incluida en Arévalos y Redondo (2018) corresponde a la inclusión del daño producido a las vainas y a un producto derivado de los granos de soja como ser la harina de ésta. En este trabajo se ha incluido esta variante debido a que, para la obtención de estos productos deben ser contemplados los mismos procesos mecánicos involucrados en el tratamiento de los granos (como producto principal).

En Adeyeye *et al.* (2014), se analizó el desgrane de vainas en variedades de soja evaluando la madurez de la planta, la altura y el número de hojas, nodos, vainas y número de vainas desgranadas por planta, así como también la producción de granos, la longitud, el diámetro y el peso de la vaina. Los autores determinaron que el desgrane mostró una significativa correlación negativa con el diámetro de la vaina, lo que sugiere que cuanto más gruesa sea la vaina de la planta de soja, menor será el efecto del desgrane. El análisis también reveló que la altura de la planta, el número de vainas y granos por planta, la longitud y el peso de la vaina, el peso del grano y de su cáscara, tuvieron un insignificante efecto directo sobre el número de vainas desgranadas por planta.

Krisnawati y Adie (2017) y Krisnawati y Adie (2017) estudiaron a las vainas de distintos genotipos de soja. En el primer estudio

analizaron la relación existente entre las características morfológicas y fisiológicas de la vaina con el método de desgrane, indicando que el grado del desgrane varía según los genotipos estudiados. Destacaron además, que el espesor de la pared y el largo de la vaina son dos factores fundamentales asociados a la resistencia al desgrane, mientras mayor sea el espesor, mayor será la resistencia. En el segundo estudio, evaluaron e identificaron la resistencia de las vainas afectadas por caracteres agronómicos y morfológicos, según el método de secado en horno. Determinaron que el porcentaje de desgrane se encuentra negativamente correlacionado con el número de vainas por planta, con el espesor de la vaina y con el ratio entre el peso del grano y el peso de la vaina. Concluyeron que cuanto más grueso es el espesor de la vaina y mayor es el tamaño del grano, resultará en un desgrane más leve.

Azadbakht *et al.* (2012) mencionan en su trabajo, que durante la cosecha de la soja se presentan acciones mecánicas como las fuerzas de impacto y fricción. Estudiaron los efectos de distintos niveles de humedad inicial y las energías de impacto y fricción necesarias en la cosecha de vainas de soja. Señalan que la energía de impacto fue medida con un sistema de impacto pendular, el coeficiente de fricción fue obtenido utilizando un aparato de fricción y además, midieron el porcentaje de desgrane en los métodos de impacto y fricción. Los autores indican que los resultados mostraron que el nivel de humedad y la energía tuvieron significantes efectos en el porcentaje de desgrane de las vainas.

Por otra parte, investigaron las propiedades mecánicas de las harinas de trigo, maíz y soja, Molenda *et al.* (2002), quienes utilizaron un aparato de cizallamiento directo aplicando cargas verticales por medio de aire comprimido. En su estudio mencionan que la harina de maíz mostró mayor compresibilidad que la de soja y sostienen que una probable razón para la diferencia en el comportamiento mecánico de la harina de soja y de maíz fue la diferencia en la distribución de tamaño de las partículas y/o la diferencia en las propiedades químicas del grano entero, que pudo ser un resultado del alto contenido de grasa de la harina de soja.

También analizaron la harina de soja, Grieshop y Fahey (2001), cuyo estudio se basó en el impacto de la composición de la soja y las condiciones de procesamiento que atraviesa, en la calidad nutricional que posee. Resaltaron que las condiciones ambientales bajo las cuales crece la soja, tienen una gran influencia en su composición química y su calidad nutricional.

### 3.2. Otros granos

Numerosos estudios se basaron en otros granos con el objetivo de analizar propiedades y comportamientos bajo esfuerzos, similares a los que se presentan en granos de soja durante las etapas de cosecha, procesamiento y almacenamiento.

#### 3.2.1. Maíz

Para identificar las operaciones que causan mayor daño, Adeso la Ajayi *et al.* (2006), estudiaron el efecto de la cosecha y el procesamiento sobre la calidad de granos de maíz. Durante la cosecha, se sometieron los granos a procesos manuales y mecánicos y, fueron almacenadas en condiciones controladas. Posteriormente, los autores realizaron pruebas de germinación, envejecimiento acelerado y pruebas de frío, resultando que las operaciones que causaron más daño fueron aquellas posteriores al descascarillado de limpieza y clasificación. Afirmaron que la forma del grano influyó en la susceptibilidad al daño mecánico y éste afectó la capacidad de almacenamiento. La pérdida de la cosecha se puede dar por desecación y mayores velocidades de cosecha (Goldsmith *et al.*, 2015).

Dalpasquale (2006) analizó las pérdidas en el secado y el procesamiento de maíz en una unidad de recepción. Evaluó máquinas, equipos, y procedimientos operacionales adoptados por la unidad y determinó los parámetros operacionales de las secadoras y máquinas de limpieza. Los resultados evidenciaron falta de uniformidad de secado y pérdidas de maíz debido al secado excesivo. Además, observó que la limpieza del maíz aumentaba los daños mecánicos y la consecuente rotura del producto, en lugar de sólo limpiarlo. También trabajaron con granos de maíz, Vizcarra *et al.* (2017), quienes determinaron las propiedades: ángulo de reposo, coeficiente de fricción, esfericidad y área superficial, resaltando que las variedades de maíz en estudio mostraron variabilidad en las propiedades físicas.

El efecto de la humedad sobre las propiedades físicas de granos de maíz fue estudiado por Ordóñez *et al.* (2012) y Seifi y Alimardani (2012). Los primeros indican en su estudio, que el contenido de humedad tuvo un efecto significativo sobre: las dimensiones, el peso, el ángulo de reposo y la densidad, pero la porosidad y la esfericidad no se vieron significativamente afectadas. De acuerdo con los autores, el secado ocurrió en el período de velocidad decreciente, siendo el tiempo de secado y la temperatura las variables significativas sobre la humedad del grano. Los segundos, utilizando técnicas estándar señalan que con el aumento del contenido de humedad, las dimensiones, la porosidad, el coeficiente de fricción sobre distintas superficies, el ángulo de

reposo, el volumen y el área aumentaron, mientras que la esfericidad y la densidad disminuyeron. Además, determinaron las propiedades en términos de fuerza y energía de ruptura, resultando que ésta última incrementó con el aumento del contenido de humedad, a diferencia de la fuerza de ruptura, que disminuyó para la compresión.

### 3.2.2. Trigo

En el artículo de Špokas *et al.* (2008) se describe el impacto de la tasa de alimentación de cereales al aparato de desgranado. Según los autores, el aumento en la tasa de alimentación disminuye el daño a los granos y, las pérdidas de desgranado fueron minimizadas con el incremento de la velocidad del cilindro desgranador de barras.

En un estudio realizado por Molenda *et al.* (1998), utilizaron un aparato de corte directo modificado para ejercer una presión normal a granos de trigo y analizar sus propiedades. Mencionan que el ángulo de fricción interna de los granos disminuyó con el aumento de la presión normal ejercida. De igual manera, Molenda *et al.* (2002) y Molenda *et al.* (2000) analizaron en el primer estudio, los coeficientes de fricción del trigo entre granos, y entre granos en contacto con un metal, mientras que en el segundo estudio, estimaron el coeficiente de fricción sobre superficies de metal utilizando un método de prueba de mesa inclinable. Se usaron procedimientos de consolidación y métodos de deposición de grano, señalando que éstos influyen distintamente sobre los coeficientes de fricción. Indican además, que el coeficiente de fricción del trigo en la superficie aumentó con un incremento en la velocidad de deslizamiento y disminuyó con un aumento en la presión normal.

Shahbazi *et al.* (2012) evaluaron la susceptibilidad a la ruptura para distintos niveles de humedad y energía de impacto a granos de trigo y triticale (cruzamiento de trigo y centeno). Por medio de un dispositivo de evaluación de daños por impacto, concluyeron que el triticale es más susceptible a la ruptura, tanto a causa de la humedad como de las energías de impacto. Mencionan que la ruptura en el trigo disminuyó para cierto rango de humedad.

Zhang y Kushwaha (1993) estudiaron el efecto de la humedad relativa y la temperatura en la fricción grano-metal de los granos trigo, canola y lenteja. Señalaron que el coeficiente de fricción incrementó con un aumento en la humedad relativa para los granos con bajo tenor de humedad, a una temperatura ambiente baja. Por otro lado, para granos con un alto tenor de humedad, el coeficiente de fricción disminuyó a

medida que la humedad relativa aumentó, a temperaturas ambientes elevadas.

### 3.2.3. Frijoles

En un estudio presentado, Khazaei (2009) menciona que los frijoles son más susceptibles a la rotura ante impactos durante la cosecha y el procesamiento. El autor estudió el efecto de la velocidad de impacto y el contenido de humedad de frijoles tipo riñón mediante un dispositivo de evaluación de daño por impacto. Resalta que la cosecha inadecuada puede conducir a pérdidas de vigor.

El daño mecánico debido al impacto durante la cosecha, manipulación y otros procesos afecta la calidad de los granos, lo que conlleva a problemas de almacenaje y a la reducción de propiedades fisiológicas, según Shahbazi *et al.* (2011), quienes utilizaron un aparato de prueba de impacto, en condiciones controladas, y determinaron los efectos del contenido de humedad y la energía de impacto en granos de frijoles pintos.

Lysiak y Laskowski (2004) evaluaron la influencia de la humedad en el carácter de las curvas de carga-deformación y los requisitos energéticos específicos durante la molienda de granos de faba. Con base en las curvas de carga-deformación, determinaron los valores característicos de las cargas, deformaciones y energías de deformación durante la trituración. Utilizaron la máquina de prueba universal Zwick Z020 y un pequeño molino de martillos de laboratorio y, concluyeron que el aumento de la humedad del grano causó mayor deformabilidad en relación con las cargas aplicadas. Se observó la relación directa del requerimiento de energía para la molienda con el contenido de humedad de los granos.

Rojas y Aristizábal (2011) estudiaron propiedades físicas de la vitabosa (frijol terciopelo) con distintos contenidos de humedad. Las dimensiones, el área y el ángulo de reposo, incrementaron significativamente cuando el contenido de humedad aumentó, mientras que la esfericidad no varió significativamente. Además, evaluaron el coeficiente de fricción estático sobre distintas superficies, incrementando cada uno de ellos significativamente con el aumento del contenido de humedad.

### 3.2.4. Girasol

En una investigación realizada por Jafari (2011), se estudiaron algunas propiedades físicas y mecánicas de granos de girasol. Los parámetros medidos por el autor fueron dimensiones lineales, masa de mil granos, volumen, densidad, porosidad, ángulo de reposo y coeficiente de fricción utilizando métodos estándar. Gupta y Das (2000) midieron la

resistencia a la fractura de granos de girasol en términos de fuerza de compresión media, deformación y energía absorbida hasta la ruptura. A distintos niveles de humedad, cargaron las muestras en orientaciones vertical y horizontal e indicaron que la fuerza requerida para la ruptura disminuyó a medida que el contenido de humedad aumentó.

### 3.2.5. Lentejas

Shahbazi *et al.* (2017) evaluaron la susceptibilidad a la rotura de lentejas afectadas por distintos niveles de energía de impacto y contenidos de humedad. Concluyeron que el porcentaje de ruptura aumentó con el incremento de la energía del impacto y, al aumentar el contenido de humedad, el porcentaje de rotura disminuyó. En el estudio realizado por Khatun *et al.* (2009), la etapa de cosecha tuvo un efecto significativo en algunos parámetros estudiados en granos de lenteja cosechadas. Los granos fueron almacenados en una olla de barro hasta el estudio de laboratorio, en el que analizaron los efectos de la etapa cosecha en la calidad de dichos granos.

### 3.2.6. Jatrofa (*Jatropha curcas*)

Kabutey *et al.* (2011) estudiaron el comportamiento de granos de *Jatropha curcas* bajo cargas de compresión con diferentes niveles de humedad, a través de un dispositivo de ensayo de compresión. Demostraron que el contenido de humedad de los granos de *Jatropha* influye en la curva característica de deformación-fuerza, energía de deformación, deformación máxima y energía por unidad de volumen.

En el artículo presentado por Bentacur *et al.* (2014), investigaron algunas características físicas y mecánicas de los granos de *Jatropha curcas*. Como resultado obtuvieron datos como: la fuerza, la energía y la deformación requeridas para la fractura, dimensiones promedio de los granos, humedad del grano, contenido de aceite, poder calorífico de la cáscara, entre otras.

### 3.2.7. Otros granos

Para el diseño adecuado de las maquinarias de cosecha y procesamiento deben proporcionarse curvas de fuerza y deformación de los materiales agrícolas, según Tavakoli *et al.* (2009), Saiedirad *et al.* (2008), Zareiforoush *et al.* (2012) y Gorji *et al.* (2010), cuyos artículos se diferencian solamente por el tipo de grano estudiado. Analizaron de igual manera, la resistencia a la fractura del grano de cebada, el grano de comino, el grano de arroz y el grano de trigo, respectivamente, en términos de la fuerza de ruptura del grano y la energía. Los granos se cargaron cuasi-estáticamente en orientaciones vertical y horizontal con cuatro niveles de contenido de humedad. Señalan que la fuerza

requerida para iniciar la ruptura del grano disminuyó, y la energía absorbida en la ruptura del grano aumentó, con el aumento en el contenido de humedad, demostrando que los granos son más flexibles en la orientación horizontal. De acuerdo con Gorji *et al.* (2010), la fuerza de ruptura requiere menos energía bajo carga vertical que la carga horizontal y, menciona que la energía absorbida por los granos disminuyó con el aumento de la carga por unidad de tiempo.

El desgranado es la función más importante de la máquina cosechadora de granos y, las pérdidas y daños en los granos, están relacionados con la teoría y tecnología del desgranado (Fu *et al.*, 2018).

En la investigación realizada por Bagheri y Dehpour (2011), se determinó la resistencia mecánica de variedades de granos de arroz integral. Según los autores, los resultados mostraron que la fuerza de ruptura del grano de arroz marrón disminuye al aumentar el contenido de humedad y la velocidad de carga. Indican además, que la ruptura del arroz a niveles más bajos de humedad fue en forma de falla repentina con menos deformación, mientras que a niveles más altos de contenido de humedad la ruptura del grano fue en forma de aplastamiento gradual con mayor deformación.

Khazaei y Mann (2005) estudiaron granos de garbanzo bajo compresión uniaxial, y los efectos del contenido de humedad y el número de cargas en el comportamiento de la propiedad reológica básica (relajación de la fuerza). Utilizando el modelo de Maxwell concluyeron que a medida que la carga aumenta, el grano se vuelve más elástico.

Con el objetivo de analizar la posibilidad de desarrollar un criterio para seleccionar soja verde o judía mungo, Sirisomboon *et al.* (2007), investigaron y propusieron aplicar estas propiedades para la clasificación de soja verde: dimensiones, peso, área, densidad y dureza del grano.

Azadbakht *et al.* (2013) estudiaron los efectos de la humedad en granos de canola, junto con el impacto y la energía de fricción necesarios para la trilla de sus vainas. Construyeron un dispositivo de impacto basado en un mecanismo de péndulo y experimentaron con distintos niveles de humedad y de energía para dos métodos; de impacto y de fricción. Usando un dispositivo de fricción, los coeficientes de fricción para los contenidos de humedad fueron medidos y, concluyeron que el contenido de humedad y la energía tienen un efecto significativo en el porcentaje de trilla.

Murthy y Bhattacharya (1998) determinaron las propiedades de compresión física y uniaxial

del grano de pimienta negra a diferentes contenidos de humedad. Propiedades como las dimensiones, redondez, esfericidad, densidad, ángulo de reposo, fluidez y diferentes parámetros de compresión uniaxial: fuerza de falla, deformación y energía por falla, y módulo de elasticidad fueron determinadas. Señalan que un aumento en el contenido de humedad incrementó el ángulo de reposo pero disminuyó la fluidez y el módulo de elasticidad.

Bay *et al.* (1996) midieron las fuerzas y esfuerzos de compresión para tres variedades de granos enteros de chauchas, tanto para granos completos como para sus cotiledones, dentro de un rango de contenido de agua definido. Según los autores, bajo altos contenidos de humedad, los granos se comportaron plásticamente, mientras que las fuerzas de compresión necesarias para la ruptura aumentaron con el incremento del contenido de humedad. Mencionan que en los ensayos con cotiledones ocurrió lo contrario.

En la investigación presentada por Braga *et al.* (1999), evaluaron la carga de ruptura necesaria para el quiebre de cáscaras de nueces de macadamia para el desarrollo de nuevas metodologías o técnicas, con el fin de reducir el período de secado y así mejorar el proceso de extracción del núcleo. Investigaron los requisitos en términos de fuerza, deformación y energía para la ruptura inicial de la cáscara bajo compresión en función de la humedad, el tamaño de la nuez y la posición de carga de compresión. Demostraron que existe una posición de compresión para la cual la fuerza, la deformación y los valores de energía son mínimos, independientemente del tamaño de la nuez y la humedad de la cáscara.

Pérez *et al.* (2008) analizaron el efecto del deterioro por envejecimiento natural en granos de tomate de cáscara, almacenándolos por intervalos de tiempo bajo condiciones de humedad establecidas. Señalan que se produjo una reducción en la viabilidad, la germinación y el peso, a diferencia de la conductividad eléctrica, que aumentó con el paso del tiempo en el almacenaje.

Por otra parte, Ünal *et al.* (2013) analizaron propiedades físicas y de germinación del grano de calabaza amarga en un rango de humedad. Señalaron que las propiedades geométricas, la masa, la densidad, la porosidad, la velocidad límite y el coeficiente de fricción aumentaron con el incremento en el contenido de humedad, mientras que la densidad y la fuerza de ruptura disminuyeron. Determinaron el coeficiente de fricción entre los granos y distintas superficies, dentro del rango de humedad.

Los granos de arveja fueron evaluadas por Shahbazi (2017), quien analizó en su estudio, la

susceptibilidad a la ruptura de dichos granos y, determinó cómo ésta se ve influenciada por la humedad y la energía de impacto, por medio de un dispositivo de evaluación de daños por impacto. Concluyó que la energía de impacto, el contenido de humedad y los efectos de interacción de estas dos variables influyeron significativamente en la ruptura de los granos de arveja.

#### IV. RESULTADOS

La búsqueda de las referencias en Arévalos y Redondo (2018) fue favorecida por artículos de revisión acerca de la calidad de los granos (Salinas *et al.*, 2008) y su relación con el daño mecánico en el almacenamiento (Shelar, 2008), ocasionado en las etapas por las que atraviesa previamente: cosecha y procesamiento.

De forma complementaria, en el presente trabajo fueron revisados artículos referidos a las vainas y la harina de soja, donde se estudia su comportamiento mecánico, al igual que en trabajos de investigación basados en otros granos de características similares a la soja, que aportan significativamente al análisis en el área.

Debido a que corresponde a un objeto de estudio bastante recurrente, es posible indicar que la tendencia de investigación sobre los granos de soja, en lo que concierne a las etapas de procesamiento involucradas, es la siguiente: el 37% de los trabajos analiza la etapa de cosecha, el 16% analiza el procesamiento, 8% la etapa de almacenamiento y el resto de los trabajos, representado por un 39%, analiza la combinación de estas tres etapas en los siguientes porcentajes: cosecha y procesamiento (11%), cosecha y almacenamiento (8%), procesamiento y almacenamiento (10%), cosecha, procesamiento y almacenamiento (10%).

Además, fueron identificados los métodos más utilizados para analizar o medir las variaciones de las propiedades en los granos de soja, según su frecuencia de aplicación en los estudios. El 41% de los trabajos implementó el secado en horno o estufa, 35% estudió el uso de las cosechadoras, 33% utilizó el test de germinación, 18% el test de conductividad eléctrica, 18% el método de desplazamiento de líquido, 12% el test de envejecimiento acelerado y un 12% el test de tetrazolio.

De igual manera, los métodos más utilizados para el análisis de los efectos relacionados al daño mecánico en granos de soja fueron hipoclorito de sodio (22%) e inspecciones visuales (12%).

Debido al menor número de investigaciones que se centran en los demás granos (en relación a aquellos trabajos sobre granos de soja), no se

considera de interés realizar un análisis de tendencia sobre métodos utilizados para los demás granos. No obstante, en la Tabla 1 se presenta una síntesis de los estudios revisados según los granos analizados y el año de publicación. En el 59% de los trabajos revisados se encontró información relacionada a la soja, mientras que en un 9% de los estudios se habla

del trigo, 7% del maíz, 4% de frijoles, 3% del arroz y, el restante 18% se adentra en el análisis de otros granos, de entre las cuales se mencionan a los de girasol, tomate, calabaza, cebada, pimienta, canola, lenteja, garbanzo, macadamia, comino, arveja, judía, chaucha y jatrofa.

TABLA I  
TRABAJOS SEGÚN GRANOS ESTUDIADOS

#	Trabajo	Grano	#	Trabajo	Grano
1	Delouche (1971)	Soja	48	Khazaei (2009)	Frijol
2	Paulsen <i>et al.</i> (1981)	Soja	49	Magalhães <i>et al.</i> (2009)	Soja
3	Misra <i>et al.</i> (1985)	Soja	50	Schuch <i>et al.</i> (2009)	Soja
4	Narayan <i>et al.</i> (1988)	Soja	51	Tavakoli <i>et al.</i> (2009)	Soja
5	Philbrook y Oplinger (1989)	Soja	52	Tavakoli <i>et al.</i> (2009)	Cebada
6	Deshpande <i>et al.</i> (1993)	Soja	53	Gorji <i>et al.</i> (2010)	Trigo
7	Zhang y Kushwaha (1993)	Trigo	54	Kibar y Öztürk (2010)	Soja
8	Bay <i>et al.</i> (1996)	Chaucha	55	Lončarević <i>et al.</i> (2010)	Soja
9	Costa <i>et al.</i> (1996)	Soja	56	Bagheri y Dehpour (2011)	Arroz
10	Molenda <i>et al.</i> (1998)	Trigo	57	Divsalar y Oskouie (2011)	Soja
11	Murthy y Bhattacharya (1998)	Pimienta	58	Jafari (2011)	Girasol
12	Braga <i>et al.</i> (1999)	Macadamia	59	Kabutey <i>et al.</i> (2011)	Jatrofa
13	Sosnowski y Kuzniar (1999)	Soja	60	Lopes <i>et al.</i> (2011)	Soja
14	Gupta y Das (2000)	Girasol	61	Rojas y Aristizábal (2011)	Frijol
15	Henry <i>et al.</i> (2000)	Soja	62	Shahbazi <i>et al.</i> (2011)	Frijol
16	Molenda <i>et al.</i> (2000)	Trigo	63	Shirkole <i>et al.</i> (2011)	Soja
17	Grieshop y Fahey (2001)	Soja	64	Azadbakht <i>et al.</i> (2012)	Soja
18	Krittigamas <i>et al.</i> (2001)	Soja	65	Compagnon <i>et al.</i> (2012)	Soja
19	Rollán <i>et al.</i> (2001)	Soja	66	El - Abady <i>et al.</i> (2012)	Soja
20	Vearasilp <i>et al.</i> (2001)	Soja	67	Ordóñez <i>et al.</i> (2012)	Maíz
21	Molenda <i>et al.</i> (2002a)	Trigo	68	Seifi y Alimardani (2012)	Maíz
22	Molenda <i>et al.</i> (2002b)	Trigo, Maiz, Soja	69	Shahbazi <i>et al.</i> (2012)	Trigo
23	Parde <i>et al.</i> (2002)	Soja	70	Wandkar <i>et al.</i> (2012)	Soja
24	Costa <i>et al.</i> (2003)	Soja	71	Zareiforush <i>et al.</i> (2012)	Arroz
25	Pan y Tangratanavalee (2003)	Soja	72	Azadbakht <i>et al.</i> (2013)	Canola
26	Neto y Troli (2003)	Soja	73	Holtz y Fialho dos Reis (2013)	Soja
27	Lysiak y Laskowski (2004)	Frijol	74	Ünal <i>et al.</i> (2013)	Calabaza
28	Costa <i>et al.</i> (2005)	Soja	75	Adeyeye <i>et al.</i> (2014)	Soja
29	Khazaei y Mann (2005)	Garbanzo	76	Bentacur <i>et al.</i> (2014)	Jatrofa
30	Tunde-Akintunde <i>et al.</i> (2005)	Soja	77	Gagare <i>et al.</i> (2014)	Soja
31	Adeso la Ajayi <i>et al.</i> (2006)	Maíz	78	Ning <i>et al.</i> (2014)	Soja
32	Dalpasquale (2006)	Maíz	79	Soza <i>et al.</i> (2014)	Soja
33	De Alencar <i>et al.</i> (2006)	Soja	80	Camolese <i>et al.</i> (2015)	Soja
34	Polat <i>et al.</i> (2006)	Soja	81	Goldsmith <i>et al.</i> (2015)	Maíz, Soja
35	Šimic <i>et al.</i> (2006)	Soja	82	Pacheco <i>et al.</i> (2015)	Soja
36	Cunha y Zandbergen (2007)	Soja	83	Goli <i>et al.</i> (2016)	Soja
37	Işik (2007)	Soja	84	Kuźniar <i>et al.</i> (2016)	Soja
38	Minuzzi <i>et al.</i> (2007)	Soja	85	Neves <i>et al.</i> (2016)	Soja
39	Ribeiro <i>et al.</i> (2007)	Soja	86	Krisnawati y Adie (2017)	Soja
40	Sirisomboon <i>et al.</i> (2007)	Judía Mungo	87	Krisnawati y Adie (2017)	Soja
41	Kashaninejad <i>et al.</i> (2008)	Soja	88	Öztürk <i>et al.</i> (2017)	Soja

42	Pérez <i>et al.</i> (2008)	Tomate	89	Paixão <i>et al.</i> (2017)	Soja
43	Saiedirad <i>et al.</i> (2008)	Comino	90	Petru y Masin (2017)	Soja
44	Špokas <i>et al.</i> (2008)	Trigo, Cebada	91	Shahbazi <i>et al.</i> (2017)	Lenteja
45	Cunha <i>et al.</i> (2009)	Soja	92	Shahbazi (2017)	Arveja
46	Davies y El-Okene (2009)	Soja	93	Vizcarra <i>et al.</i> (2017)	Maíz
47	Khathun <i>et al.</i> (2009)	Lenteja	94	Fu <i>et al.</i> (2018)	Arroz, Trigo

Salvo tres artículos que no pudieron ser ubicados geográficamente con exactitud, la distribución de trabajos publicados según países se observa en la Figura 1. Los cinco países con mayor número de publicaciones son: Brasil (22%), Irán (20%), Estados Unidos (9%), India (7%) y Turquía (5%).

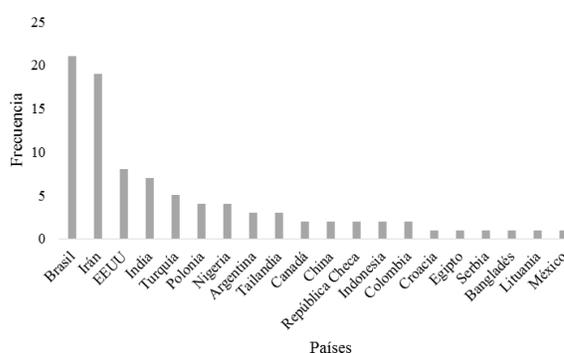


Fig. 1. Análisis de daño mecánico en granos según países.

En orden cronológico, teniendo en cuenta el número de publicaciones relacionadas a las propiedades mecánicas de granos y sus modificaciones ante esfuerzos en las etapas por las que atraviesa en la industrialización, se obtuvo el gráfico a continuación (ver Figura 2) que refleja la tendencia en el área.

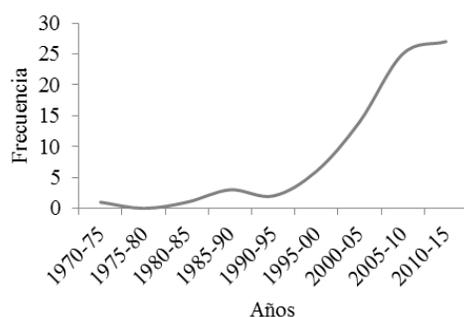


Fig. 2. Número de publicaciones por año acerca del tema.

#### 4.1. Factores que influyen en el daño mecánico en granos

En su mayoría, los autores coinciden en que el deterioro de la calidad de los granos se debe al daño mecánico, causado por la manipulación mecanizada principalmente durante la cosecha y el procesamiento. En estas etapas se generan esfuerzos que pueden repercutir negativamente en el almacenamiento y, es por ello que las

condiciones en que se almacenan los granos se establecen con el objetivo de obtener productos de buena calidad para la industria o la siembra. Sin embargo, existen factores identificados en este trabajo, que influyen en el porcentaje de daño mecánico en los granos, como ser el nivel de humedad de éstos, su tamaño y la velocidad de cosecha. Cuanta más humedad contiene el grano, sufre mayor deformación, se requiere más energía de ruptura y al mismo tiempo, menor fuerza de compresión, resaltando la importancia de determinar el porcentaje de humedad de los granos para evitar pérdidas en cada etapa que atraviesan. Por otro lado, cuanto más grande es el grano, menor es el efecto del daño que sufre, mientras que, en cuanto a la soja, se determinó en estudios que cuanto más gruesa es la vaina, menor es el efecto del desgrane en ella. Así también, una cosecha inadecuada y a muy alta velocidad, puede ocasionar mayores pérdidas y afectar negativamente las propiedades fisiológicas de los granos.

Se resalta que los factores hallados en la bibliografía se encuentran en relación con los parámetros fijados en las máquinas utilizadas, a excepción de algunos que dependen del tipo de cultivo al que pertenece el grano.

## V. CONCLUSIÓN

Con este trabajo se ha logrado expandir el análisis realizado en Arévalos y Redondo (2018), abarcando propiedades relacionadas al daño mecánico en otros granos agroindustriales, además de la soja. De esta manera, se ofrece una extensa exploración de los factores y métodos de medición asociados al tipo de daño que sufren dichos granos y en el cual se centra esta revisión: el mecánico, causado principalmente por maquinarias durante el procesamiento, generando la posibilidad de contar con herramientas para la toma de decisiones en el diseño de máquinas y la mejora de procesos.

Con base en el análisis de 94 trabajos de investigación donde se estudió el comportamiento mecánico de granos provenientes de la industria agrícola, se obtuvo una síntesis de los métodos más utilizados por los autores para examinar los granos ante factores que puedan modificar sus propiedades y alterar negativamente su calidad.

Se puede indicar que la mayor cantidad de estudios hallados en los idiomas definidos para la búsqueda bibliográfica fueron desarrollados en inglés, seguido por el portugués ya que, en cuanto a granos de soja, Brasil ocupa los primeros lugares como productor y exportador mundial. Debido a esto, mayormente, la investigación acerca del daño mecánico en la etapa de cosecha de los granos de soja se centra en Brasil, mientras que el comportamiento mecánico de otros granos es estudiado con mayor frecuencia en Irán.

En la literatura, como objeto de estudio se toma a granos de soja, trigo, maíz, girasol, frijol, arroz, cebada, lenteja, jatrofa, chaucha, pimienta, macadamia, garbanzo, judía, tomate, comino, calabaza, arveja y canola, los cuales fueron identificados en esta revisión. No obstante, se recomienda extender la búsqueda e incluir productos derivados de éstos, como se ha propuesto anteriormente en este trabajo con la soja, debido a que los primeros comparten gran parte del proceso productivo con los segundos y pueden existir investigaciones sobre la mejora productiva o análisis del daño mecánico en estos derivados que pudieran aportar datos interesantes a esta investigación.

Con la identificación de factores que influyen en el daño mecánico de granos, es posible profundizar en el manejo de los mismos para el análisis de cada proceso y la determinación de los parámetros óptimos para un buen control de la maquinaria.

Además, se demostró gráficamente que el interés por abordar el estudio de las propiedades mecánicas en los granos va en aumento, por lo que, se propone también continuar con el trabajo de investigación tomando como enfoque los métodos más utilizados para analizar las propiedades mecánicas de la soja (método de secado en horno, uso de cosechadoras, tests de germinación, test de hipoclorito de sodio) para su aplicación en el estudio de todo tipo de grano producto de la industria agrícola.

## REFERENCIAS

- [1]. Adesø la Ajayi, S., Rühl, G., & Greef, J. M. (2006). Impact of mechanical damage to hybrid maize seed from harvesting and conditioning. *Seed Technology*, 7-21.
- [2]. Adeyeye, A. S., Togun, A. O., Akanbi, W. B., Adepoju, I. O., & Ibirinde, D. O. (2014). Pod shattering of different soybean varieties, *Glycine max* (L) Merrill, as affected by some growth and yield parameters. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 2(1), 10-15.
- [3]. Arevalos, A. & Redondo, E. (2018). Soybean Industry: A Review of Properties related to Mechanical Damage in Soybean seeds. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Pretoria, South Africa*, 912-923.
- [4]. Azadbakht, M., Esmacilzadeh, E., & Shahabi, A. H. (2013). Investigation the mechanical behavior of canola pods versus effect of impact and friction forces. *Journal of Agricultural Technology*, 9(5), 1035-1044.
- [5]. Azadbakht, M., Khoshtaghaza, M. H., Gobadian, B., & Minaei, S. (2012). Mechanical properties of soybean pod as a function of moisture content and energy. *Journal of Agricultural Technology*, 8(4), 1217-1228.
- [6]. Bagheri, I., & Dehpour, M. B. (2011). Effect of Moisture Content and Loading Rate on Mechanical Strength of Brown Rice Varieties. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, 5(11), 680-686.
- [7]. Bay, A. P., Bourne, M. C., & Taylor, A. G. (1996). Effect of moisture content on compressive strength of whole snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds and separated cotyledons. *International journal of food science & technology*, 31(4), 327-331.
- [8]. Bentacur, J. C., Hernández, C. M., & París Londoño, L. S. (2014). Propiedades físicas y mecánicas de granos de *Jatropha curcas* cultivadas en Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería*, (73), 187-199.
- [9]. Braga, G. C., Couto, S. M., Hara, T., & Neto, J. T. A. (1999). Mechanical behaviour of macadamia nut under compression loading. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72(3), 239-245.
- [10]. Camolese, H. S., Baio, F. H. R., & Alves, C. Z. (2015). Perdas quantitativas e qualitativas de colhedoras com trilha radial e axial em função da umidade do

- grão/Quantitative and qualitative losses from harvesters with radial and axial threshing systems depending on grain moisture. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 9(1), 21-29.
- [11]. Compagnon, A. M., da Silva, R. P., Cassia, M. T., Graat, D., & Voltarelli, M. A. (2012). Comparison between methods of evaluation of soybean mechanized harvesting losses. *Scientia Agropecuaria*, 3(3), 215-223.
- [12]. Costa, N. P. D., Mesquita, C. D. M., Maurina, A. C., França Neto, J. B., Krzyzanowski, F. C., Oliveira, M. C. N., & Henning, A. A. (2005). Profile of the physical, physiological and chemical aspects of soybean seeds produced in six regions of Brazil. *Revista Brasileira de Sementes*, 27(2), 172-181.
- [13]. Costa, N. P. D., Mesquita, C. D. M., Maurina, A. C., Neto, F., de Barros, J., Krzyzanowski, F. C., & Henning, A. A. (2003). Physical, physiological and sanitary quality of soybean seed produced in Brazil. *Revista Brasileira de Sementes*, 25(1), 128-132.
- [14]. Costa, N. P., De Oliveira, M. C. N., & Henning, A. A. (1996). Efeito da colheita mecanica sobre a qualidade da semente de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, 18(2), 232-237.
- [15]. Cunha, J. P. A. R., & Zandbergen, H. P. (2007). Perdas na colheita mecanizada da soja na região do Triangulo Mineiro e Alto Paranaíba. *Bioscience Journal*, 23(4).
- [16]. Cunha, J. P. A. R., Piva, G., & de Oliveira, C. A. A. (2009). Effect of the threshing system and harvester speed on the quality of soybean seeds. *Bioscience Journal*, 25(4), 37-42.
- [17]. Dalpasquale, V. A. (2006). Post-harvesting corn losses indexes in a storage unit: A case study. In *International Working Conference on Stored-Product Protection*, 9, 64-70.
- [18]. Davies, R. M., & El-Okene, A. M. (2009). Moisture-dependent physical properties of soybeans. *Int. Agrophysics*, 23(3), 299-303.
- [19]. De Alencar, E. R., Faroni, L. R. D. A., de Lacerda Filho, A. F., Ferreira, L. G., & Meneghetti, M. R. (2006). Influence of different storage conditions on soybean grain quality. In *Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection, Campinas, Brazil*, 30-37.
- [20]. Delouche, J. C. (1971). Harvesting, Handling, and Storage of Soybean Seed. In *Meeting of the Southern Seedsmen's Association, Dallas, USA*, 17-22.
- [21]. Deshpande, S. D., Bal, S., & Ojha, T. P. (1993). Physical properties of soybean. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 56(2), 89-98.
- [22]. Divsalar, M. & Oskouie, B. (2011). Study the effect of mechanical damage at processing on soybean seed germination and vigor. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 6(7), 60-64.
- [23]. El-Abady, M. I., El-Emam, A. A. M., Seadh, S. E., & Yousof, F. I. (2012). Soybean seed quality as affected by cultivar, threshing methods and storage periods. *Research Journal of Seed Science*, 5(4), 115-125.
- [24]. Fu, J., Chen, Z., Han, L., & Ren, L. (2018). Review of grain threshing theory and technology. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(3), 12-20.
- [25]. Gagare, K. C., Bharud, R. W., Shelar, V. R., & Karjule, A. P. (2014). Detection of mechanical damage to soybean seed surface using ferric chloride test. *Agricultural Science Digest*, 34(4), 289-292.
- [26]. Garnero, S. (2012). Calidad intrínseca de los granos en la poscosecha. Recuperado de [http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/calidad\\_intrinseca\\_granos.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/calidad_intrinseca_granos.pdf)
- [27]. Goldsmith, P. D., Martins, A. G., & de Moura, A. D. (2015). The economics of post-harvest loss: a case study of the new large soybean-maize producers in tropical Brazil. *Food Security*, 7(4), 875-888.
- [28]. Goli, A., Khazaei, J., Taheri, M., Khojamli, A., & Sedaghat, A. Effect of Mechanical Damage on Soybean Germination (2016). *International Academic Journal of Science and Engineering*, 3(10), 48-58.
- [29]. Gorji, A., Rajabipour, A., & Tavakoli, H. (2010). Fracture resistance of wheat grain as a function of moisture content, loading rate and grain orientation. *Australian Journal of Crop Science*, 4(6), 448.
- [30]. Grieshop, C. M., & Fahey, G. C. (2001). Comparison of quality characteristics of soybeans from Brazil, China, and the United States. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(5), 2669-2673.
- [31]. Gupta, R. K., & Das, S. K. (2000). Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading. *Journal of Food Engineering*, 46(1), 1-8.
- [32]. Henry, Z. A., Su, B., & Zhang, H. (2000). Resistance of soya beans to compression. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(2), 175-181.
- [33]. Holtz, V., & Reis, E. F. D. (2013). Losses in mechanized harvesting soybean: A quantitative and qualitative analysis. *Revista Ceres*, 60(3), 347-353.
- [34]. Isik, E. (2007). Some engineering properties of soybean grains. *American Journal of Food Technology*, 2(3), 115-125.
- [35]. Jafari, S., Khazaei, J., Arabhosseini, A., Massah, J., & Khoshtaghaza, M. H. (2011). Study on mechanical properties of sunflower seeds. *Food science and Technology*, 14(1), 06.
- [36]. Kabutey, A., Herák, D., & Sedláček, A. (2011). Behaviour of different moisture contents of *Jatropha curcas* L. seeds under compression loading. *Research in Agricultural Engineering*, 57(2), 72-77.
- [37]. Kashaninejad, M., Ahmadi, M., Daraei, A., & Chabra, D. (2008). Handling and frictional characteristics of soybean as a function of moisture content and variety. *Powder Technology*, 188(1), 1-8.
- [38]. Khatun, A., Kabir, G., & Bhuiyan, M. A. H. (2009). Effect of harvesting stages on the seed quality of lentil (*Lens culinaris* L.) during storage. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 34(4), 565-576.
- [39]. Khazaei, J. (2009). Influence of impact velocity and moisture content on mechanical damages of white kidney beans under loadings. *Cercetari agronomice in Moldova (Romania)*, 1(137), 5-18.
- [40]. Khazaei, J., & Mann, D. D. (2005). Effects of moisture content and number of loadings on force relaxation

- behaviour of chickpea kernels. *International Agrophysics*, 19(4), 305.
- [41]. Kibar, H., Öztürk, T., & Esen, E. (2010). The effect of moisture content on physical and mechanical. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(3), 741-749.
- [42]. Krisnawati, A., & Adie, M. M. (2017). Identification of Soybean Genotypes for Pod Shattering Resistance Associated with Agronomical and Morphological Characters. *Biosaintifika: Journal of Biology & Biology Education*, 9(2), 193-200.
- [43]. Krisnawati, A., & Adie, M. M. (2017). Variability on morphological characters associated with pod shattering resistance in soybean. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 18(1).
- [44]. Krittigamas, N., Vearasilp, S., Thanapornpoonpong, S., Suriyong, S., Pa-oblek, S., Pawelzik, E., & Becker, M. (2001). Investigation of post-harvest soybean seed storability after passing the different steps of processing. In *Deutscher Tropentag 2001 Conference on International Agricultural Research for Development, Bonn, Germany*, 9-11.
- [45]. Kuźniar, P., Szpunar-Krok, E., Findura, P., Buczek, J., & Bobrecka-Jamro, D. (2016). Physical and chemical properties of soybean seeds determine their susceptibility to mechanical damage. *Zemdirbyste-Agriculture*, 103(2), 183-192.
- [46]. Lončarević, V., Babić, M., Balešević-Tubić, S., Dilvesi, K., Kostić, M., & Štatkić, S. (2010). Dependent of moisture content soybean seed on physical properties. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 14(3), 163-167.
- [47]. Lopes, M. D. M., Dedemo Prado, M. O., Sader, R., & Barbosa, R. M. (2011). Mechanical and Fisiological effects on the harvesting and processing of Soybean seeds. *Bioscience Journal*, 27(2), 230-238.
- [48]. Lysiak, G., & Laskowski, J. (2004). Investigation of mechanical properties of faba bean for grinding behavior prediction. *Acta Agrophysica*, 4(3), 753-762.
- [49]. Magalhaes, S. C., Oliveira, B. C., Toledo, A., Tabile, R. A., & Silva, R. P. (2009). Quantitative losses in the soybean mechanized harvesting in different operational conditions of two harvesters. *Bioscience Journal*, 25(5), 43-48.
- [50]. Méndez, J., and Roskopf, R. (2007). ¿Dónde se produce el mayor % de grano partido? en el proceso de cosecha o en su manejo posterior, Proyecto PRECOP - INTA OLIVEROS. Recuperado de: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/donde-produce-mayor-grano-t26949.htm>.
- [51]. Minuzzi, A., Mora, F., Sedrez Rangel, M. A., De Lucca e Braccini, A. & Scapim, C. A. (2007). Características fisiológicas, contenido de aceite y proteína en genotipos de soya, evaluadas en diferentes sitios y épocas de cosecha, Brasil. *Agricultura Técnica*, 67(4), 353-361.
- [52]. Misra, M., Gaul, A., & Kayode, O. (1985). Soybean seed quality during conditioning. *Transactions of the ASAE*, 28(2), 576-579.
- [53]. Molenda, M., Horabik, J., & Ross, I. J. (1998). Stress and deformation of wheat in direct shear test. *International agrophysics*, 12, 115-118.
- [54]. Molenda, M., Horabik, J., Ross, I. J., & Montross, M. D. (2002). Friction of wheat: grain-on-grain and on corrugated steel. *Transactions of the ASAE*, 45(2), 415.
- [55]. Molenda, M., Montross, M. D., Horabik, J., & Ross, I. J. (2002). Mechanical properties of corn and soybean meal. *Transactions of the ASAE*, 45(6), 1929.
- [56]. Molenda, M., Thompson, S. A., & Ross, I. J. (2000). PH—Postharvest Technology: Friction of Wheat on Corrugated and Smooth Galvanized Steel Surfaces. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(2), 209-219.
- [57]. Murthy, C. T., & Bhattacharya, S. (1998). Moisture dependant physical and uniaxial compression properties of black pepper. *Journal of Food Engineering*, 37(2), 193-205.
- [58]. Narayan, R., Chauhan, G. S., & Verma, N. S. (1988). Changes in the quality of soybean during storage. Part 1—Effect of storage on some physico-chemical properties of soybean. *Food Chemistry*, 27(1), 13-23.
- [59]. Neto, R. P., & Troli, W. (2003). Perdas na colheita mecanizada da soja (Glycine Max (L.) Merrill), no município de Maringá, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 25(2), 393-398.
- [60]. Neves, J. M., Oliveira, J. A., Silva, H. P. D., Reis, R. D. G., Zuchi, J., & Vieira, A. R. (2016). Quality of soybean seeds with high mechanical damage index after processing and storage. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(11), 1025-1030.
- [61]. Ning, X., Yang, D., Gong, Y., Han, C., & Liu, D. (2014). Seeds of soybean with internal mechanical damage feature and influence to its germination. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 7(2), 59-63.
- [62]. Ordóñez, M. R., Gely, M. C., & Pagano, A. M. (2012). Estudio de las propiedades físicas y de la cinética de secado de granos de maíz colorado duro. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(3), 153-171.
- [63]. Öztürk, F., Pekitkan, F. G., Esgici, R., & Elicin, A. K.. (2017). Some mechanical properties of Soybean (Glycine Max) stems and seeds. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 60, 352-355.
- [64]. Pacheco, F., Nóbrega, L., Lima, G., Santorum, M., Boller, W., & Formighieri, L. (2015). Physiological quality of Soybean seeds under mechanical injuries caused by combines. *Revista Caatinga*, 28(4), 190-201.
- [65]. Paixão, C. S., Chrispin, C. P., Silva, R. P. D., Girio, L. A., & Voltarelli, M. A. (2017). Physical and physiological quality of soybean seeds at three speeds of the harvester. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(3), 214-218.
- [66]. Pan, Z., & Tangratanavalee, W. (2003). Characteristics of soybeans as affected by soaking conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 36(1), 143-151.
- [67]. Parde, S. R., Kausal, R. T., Jayas, D. S., & White, N. D. (2002). Mechanical damage to soybean seed during processing. *Journal of Stored Products Research*, 38(4), 385-394.
- [68]. Paulsen, M. R., Nave, W. R., Mounts, T. L., & Gray, L. E. (1981). Storability of harvest-damaged soybeans. *Transactions of the ASAE*, 24(6), 1583-1589.

- [69]. Pérez-Camacho, I., Ayala-Garay, Ó. J., González-Hernández, V. A., Carrillo-Salazar, J. A., Peña-Lomeli, A., & García-de los Santos, G. (2008). Indicadores morfológicos y fisiológicos del deterioro de semillas de tomate de cáscara. *Agrociencia*, 42(8), 891-901.
- [70]. Petrů, M., & Mašín, I. (2017). Application of Mechanics to Plant Seeds as a Granular or Particulate Material. In *Advances in Seed Biology. InTech*, 319-338.
- [71]. Philbrook, B. D., & Oplinger, E. S. (1989). Soybean field losses as influenced by harvest delays. *Agronomy Journal*, 81(2), 251-258.
- [72]. Polat, R., Atay, U., & Saglam, C. (2006). Some physical and aerodynamic properties of soybean. *Journal of Agronomy*, 5(1), 74-78.
- [73]. Ribeiro, D. M., Corrêa, P. C., Furtado, B. F., Goneli, A. L., & Resende, O. (2007). Soybean mechanical properties in function of moisture content. *Engenharia Agrícola*, 27(2), 493-500.
- [74]. Rojas, Á. F., & Aristizábal, I. D. (2011). Efecto del Contenido de Humedad sobre Propiedades Físicas de la Semilla de Vitabosa (*Mucuna deeringiana*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 64(1), 5961-5971.
- [75]. Rollan, M. C., Lori, G. A., Sisterna, M. N., & Barreyro, R. A. (2001). Effect of different damage factors on soybean seed quality. *Acta Agronomica Hungarica*, 49(2), 133-139.
- [76]. Saiedirad, M. H., Tabatabaeefar, A., Borghei, A., Mirsalehi, M., Badii, F., & Varnamkhasti, M. G. (2008). Effects of moisture content, seed size, loading rate and seed orientation on force and energy required for fracturing cumin seed (*Cuminum cyminum* Linn.) under quasi-static loading. *Journal of Food Engineering*, 86(4), 565-572.
- [77]. Salinas, A., Gallo, C., & Rosbaco, I. (2008). Semillas de soja de calidad: Un objetivo por alcanzar. *Revista Científica Agropecuaria*, 12(2), 85-99.
- [78]. Schuch, L. O. B., Kolchinski, E. M., & Finatto, J. A. (2009). Seed physiological quality and individual plants performance in soybean. *Revista Brasileira de Sementes*, 31(1), 144-149.
- [79]. Seifi, M. R., & Alimardani, R. (2010). The moisture content effect on some physical and mechanical properties of corn (Sc 704). *Journal of Agricultural Science*, 2(4), 125.
- [80]. Shahbazi, F. (2017). Crushing Susceptibility of Vetch Seeds Under Impact Loading. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 50(4), 5-16.
- [81]. Shahbazi, F., Dowlatshah, A., & Valizadeh, S. (2012). Breakage susceptibility of wheat and triticale seeds related to moisture content and impact energy. *Cercetari agronomice in Moldova*, 45(3), 5-13.
- [82]. Shahbazi, F., Saffar, A., & Analooei, M. (2011). Mechanical damage to pinto beans as affected by moisture content and impact energy. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 13(2).
- [83]. Shahbazi, F., Valizade, S., & Dowlatshah, A. (2017). Mechanical damage to green and red lentil seeds. *Food science & nutrition*, 5(4), 943-947.
- [84]. Shelar, V. R. (2008). Role of mechanical damage in deterioration of soybean seed quality during storage-a review. *Agricultural Reviews*, 29(3), 177-184.
- [85]. Shirkole, S. S., Kenghe, R. N., & Nimkar, P. M. (2011). Moisture dependent physical properties of soybean. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 3(5), 3807-3815.
- [86]. Šimić, B., Sudarić, A., Liović, I., Kalinović, I., Rozman, V., & Čosić, J. (2006). Influence of storage conditions on seed quality of maize, soybean, and sunflower. In *9th International Working Conference on Stored Product Protection, Campinas, Brazil*, 59-63.
- [87]. Sirisomboon, P., Pornchaloempong, P., & Romphophak, T. (2007). Physical properties of green soybean: Criteria for sorting. *Journal of food engineering*, 79(1), 18-22.
- [88]. Sonawski, S., & Kuzniar, P. (1999). Effect of dynamic loading on the quality of soybean. Department of Agricultural Product. *International Agro Physics*, 13(1), 125-133.
- [89]. Soza, E. L., Quirós, P. J., & Raggio J.B. (2014). Valoración del daño mecánico no visible que diferentes sistemas de trilla provocan al grano de Soja, ante variación del contenido de humedad. *Revista de la Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias*, 5(9 & 10), 61-73.
- [90]. Špokas, L., Steponavičius, D., & Petkevičius, S. (2008). Impact of technological parameters of threshing apparatus on grain damage. *Agron. Res*, 6, 367-76.
- [91]. Tavakoli, H., Mohtasebi, S. S., Rajabipour, A., & Tavakoli, M. (2009). Effects of moisture content, loading rate, and grain orientation on fracture resistance of barley grain. *Research in Agricultural Engineering*, 55(3), 85-93.
- [92]. Tavakoli, H., Rajabipour, A., & Mohtasebi, S. S. (2009). Moisture-dependent some engineering properties of soybean grains. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 11.
- [93]. Tunde-Akintunde, T. Y., Olajide, J. O., & Akintunde, B. O. (2005). Mass-volume-area related and mechanical properties of soybean as a function of moisture and variety. *International journal of food properties*, 8(3), 449-456.
- [94]. Ünal, H., Alpsoy, H. C., & Ayhan, A. (2013). Effect of the moisture content on the physical properties of bitter gourd seed. *International Agrophysics*, 27(4), 455-461.
- [95]. Vearasilp, S., Somchai, P., Nattasak, K., Sanguansak, T., Sangtiwa, S., & Elke, P. (2001). Assessment of post harvest soybean seed quality loss. In *Conference on International Agricultural Research for Development, Institute for Agricultural Chemistry, Georg-August University, Göttingen, Germany*.
- [96]. Vizcarra, T. A., Huallpartupa, D. J. R., Buleje, E. A. V., & Ramos, R. P. (2017). Caracterización física de semillas de maíz (*Zea mays*) sembrado en Andahuaylas Perú. *Ciencia & Desarrollo*, 18.
- [97]. Wandkar, S. V., Ukey, P. D., & Pawar, D. A. (2012). Determination of physical properties of soybean at different moisture levels. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(2), 138-142.
- [98]. Zareiforoush, H., Komarizadeh, M. H., Alizadeh, M. R., Tavakoli, H., & Masoumi, M. (2012). Effects of Moisture Content, Loading Rate, and Grain Orientation on Fracture Resistance of Paddy (*Oryza Sativa* L.)

- Grain. *International journal of food properties*, 15(1), 89-98.
- [99]. Zhang, J., & Kushwaha, R. L. (1993). Effect of relative humidity and temperature on grain-metal friction. *Canadian Agricultural Engineering*, 35(1), 41-44.