

Industria de la Soja: Una Revisión de las Propiedades relacionadas al Daño Mecánico en granos de Soja

Ana Arevalos y Eduardo Redondo

Laboratorio de Mecánica y Energía

Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Asunción

San Lorenzo, Paraguay

anapamelaarevalos@gmail.com, eredondo@ing.una.py

RESUMEN

La industrialización de la soja abarca diferentes etapas; cosecha, procesamiento, almacenamiento y transporte, a través de las cuales los granos sufren daños mecánicos que se traducen en pérdidas económicas significativas para el productor. Para mejorar los procesos productivos, resulta conveniente identificar las causas de daños y los métodos utilizados en la industria para su medición, a modo de mitigar pérdidas en las etapas de manipulación o uso de maquinarias. El objetivo de este trabajo es brindar al lector un panorama sobre los métodos de análisis de la resistencia mecánica de los granos de soja durante su procesamiento. Se realizó una revisión de la literatura relacionada a métodos y propiedades asociados al daño mecánico en granos de soja desde su cosecha hasta su almacenamiento. Para lo cual, 51 referencias bibliográficas de 1971 a 2018 fueron agrupadas de acuerdo a las etapas mencionadas, y revisadas según dimensiones de análisis propuestas. Finalmente, se concluye sobre similitudes en los trabajos analizados y se identifican tendencias comunes en los métodos aplicados.

Keywords: semillas/granos de soja, daño mecánico/propiedades, mejora de procesos

ABSTRACT

Soybean industrialization involves different stages; harvesting, processing, storage and transportation, through which seeds suffer mechanical damages that result in significant economic losses for producers. Therefore, to improve production processes it is convenient to identify the damage causes and methods used in the industry for its measurement, in order to mitigate losses linked to machinery. The objective of this work is to provide the reader an overview of the methods of mechanical resistance analysis of soybean seeds during processing. A review of the literature related to methods and properties associated to mechanical damage in soybean seeds from harvest to storage was conducted. For this purpose, 51 bibliographic references from 1971 to 2018 were grouped according to the mentioned stages and reviewed according to a set of proposed dimensions of analysis. Finally, it is concluded about similarities found in the analyzed works and identified common trends of research in the applied methods.

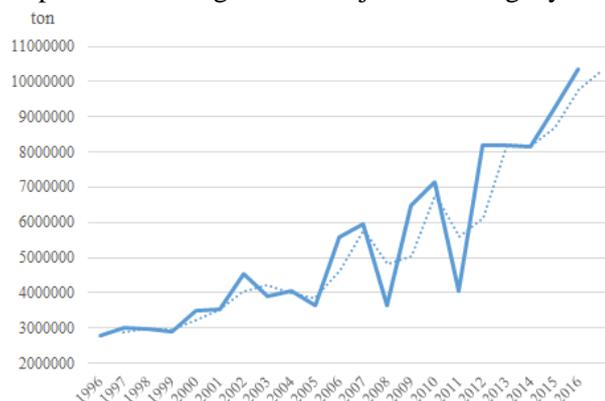
Keywords: Soybean seeds/grains, mechanical damage/properties, processes improvement

1. INTRODUCCIÓN

Paraguay ocupa el quinto lugar a nivel mundial, como uno de los mayores productores de soja. Actualmente posee un rendimiento aproximado de 3.000 kg/ha, similar al de Argentina y Brasil, y muy cercano al de Estados Unidos (Salcedo, 2018). En el 2017, se exportaron 6.128.700 toneladas de granos de soja equivalentes a US\$ 2.132 millones (BCP, 2017), lo que significa un precio aproximado de US\$ 348 por tonelada y con lo cual, la soja se ha convertido en uno de los productos principales de exportación. Por esta razón, buscando ofrecer granos aptos para el comercio o la siembra, se ha dado paso al inicio de la investigación agrícola en el país, aspirando

al mejoramiento de la calidad de las semillas de soja (Tomassone, 2018). En la Figura 1 se aprecia la evolución del nivel productivo de granos de soja en el Paraguay desde el año 1996 al 2016 (CAPECO, 2018).

Figura 1. Evolución de la producción de granos de soja en el Paraguay desde 1996 al 2016.



En la industrialización de la soja, las pérdidas de granos se producen principalmente a causa de daños mecánicos producidos en la cosecha y el procesamiento, existiendo una relación directa entre el daño y el deterioro ocurrido durante el almacenaje. Debido a que el porcentaje de ruptura en el grano es uno de los parámetros usados para medir su calidad, es importante evaluar su evolución en todos los procesos que ocurren (Méndez y Roskopf, 2007). Los daños pueden ser mecánicos, climáticos, por insectos, por enfermedades o por condiciones de almacenamiento (EEA INTA Manfredi, 2004).

Por ejemplo, según Bragachini *et al.* (2013), en el 2012 los niveles de pérdidas en la cosecha de granos de soja en Argentina fueron en promedio 120 kg/ha. Tomando un valor similar para la cosecha en Paraguay, cuya área de siembra en el 2017 fue de 3.388.709 hectáreas (CAPECO, 2018), se tiene un nivel aproximado de pérdidas de 512.441 toneladas, que equivaldrían a cerca de US\$ 178 millo-nes. Si la eficiencia mejorase 10%, en base a los resultados de (CAPECO, 2018), esta mejora representaría aproximadamente US\$ 18 millones de reducción de pérdidas, solamente en la etapa de cosecha.

Este artículo de revisión, se centra en el estudio de las propiedades físicas, geométricas y fisiológicas asociadas al daño mecánico en granos de soja ocasionados por la manipulación de éstos, con el fin de propiciar la toma de decisiones que permitan mejorar los procesos y el diseño de las máquinas en esta industria.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión de la literatura fue orientada a artículos científicos, revistas y capítulos de libros pertenecientes a diferentes países. Estos productos académicos fueron hallados en las siguientes bases de datos electrónicas: Elsevier Science Direct, Springer Link, Researchgate, Scielo y Google scholar, las cuales, fueron elegidas a modo de lograr un enfoque exhaustivo y cubrir disciplinas transversales al ámbito industrial. Las Palabras Claves fueron definidas en base a los términos mayormente utilizados en el ámbito investigativo, incluyendo así palabras relacionadas a la soja, propiedades mecánicas, daño mecánico y resistencia mecánica de los granos de soja, combinadas con palabras ligadas a la industria y las etapas de producción de granos de soja como cosecha, procesamiento y almacenamiento, con variaciones y combinaciones en Inglés, Portugués y Español.

Para identificar casos elegibles, fueron revisados tanto títulos como resúmenes de los artículos, capítulos y tesis hallados. Para situaciones en las que los títulos y resúmenes resultaban

poco claros, se procedió a la revisión del trabajo completo. El periodo total comprendido fue de 48 años (desde el año 1971 hasta el 2018). Los siguientes datos fueron extraídos de cada trabajo seleccionado (artículos o capítulos de libros): autor/es, año de publicación, país de estudio, etapas de producción, y dimensiones analizadas: propiedades, métodos y efectos aplicados por los autores.

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La recolección de estudios se centró específicamente en granos de soja, abarcando las etapas de cosecha, procesamiento y almacenamiento, sin considerar el transporte o distribución de los mismos. Además, se obtuvieron artículos de revisión basados en granos de soja, en los cuales, se analiza la calidad de las semillas de soja (Salinas *et al.*, 2008) y cómo ésta se ve influenciada durante el almacenamiento, debido al daño mecánico sufrido en las etapas de cosecha y procesamiento (Shelar, 2008). Las referencias citadas en estos artículos facilitó en gran medida la búsqueda realizada.

La revisión minuciosa de los artículos permitió una división de los mismos en tres grupos: investigaciones relacionadas a la cosecha, al procesamiento y, al mantenimiento. En estos grupos se estudian las propiedades de los granos de soja y su relación con el daño mecánico. Para una mejor comprensión de las investigaciones citadas, las siguientes dimensiones de análisis fueron propuestas: propiedades, métodos/técnicas y efectos/resultados.

3.1. Cosecha

Philbrook y Oplinger (1989) presentaron una investigación en la que se evalúa la relación directa entre el daño mecánico producido por las máquinas cosechadoras y los días de retraso de la cosecha, lo que puede llevar a la reducción del vigor y la capacidad de germinación de la semilla de soja, determinadas a partir de tests de germinación y envejecimiento acelerado (Minuzzi *et al.*, 2007).

Las pérdidas en la cosecha mecanizada y manual fueron cuantificadas y evaluadas por Compagnon *et al.* (2012) con un monitor interno IntelliView y, de acuerdo con Gagare *et al.* (2014), basándose en los resultados obtenidos de un análisis de granos de soja con el test de cloruro férrico, la resistencia al daño mecánico de los granos está relacionada con el método de desgrane, ya sea mecanizado o manual.

Con el aumento de la rotación del cilindro trillador de la máquina cosechadora, el daño mecánico crece, dañando más a los granos con menos cantidad de humedad (Neto y Troli, 2003). Es por ello que la determinación de la rotación del cilindro depende de la humedad de los granos, según Pacheco *et al.* (2015), quienes a través del test de tetrazolio, señalaron que el vigor y la viabilidad de la semilla se ven inversamente relacionadas con dicha rotación. Luego de haber inspeccionado microscópicamente los granos recolectados por las máquinas cosechadoras, Ning *et al.* (2014) señalaron que existe una dependencia del daño mecánico con el contenido de humedad y que, cuanto mayor es el porcentaje de daño en el grano, menor capacidad de germinación posee. Neto y Troli (2003) estudiaron los granos cosechados a través de una inspección visual, y trabajaron con el contenido de humedad mediante el método de secado en estufa eléctrica, al igual que en la investigación presentada por Magalhães *et al.* (2009).

El contenido de humedad de los granos fue manejado por Holtz y Fialho dos Reis (2013) también a través del método de secado en estufa. En su trabajo, señalaron que el porcentaje de daño al grano depende de su contenido de humedad, lo que conllevaba a que el vigor y la viabilidad estén relacionados con el momento (hora) de la cosecha.

Cunha y Zandbergen (2007) investigaron el daño a los granos de soja con máquinas cosechadoras combinadas de flujo tangencial, evaluando las pérdidas a través de los métodos de Embrapa (vaso medidor) y de pesaje. Concluyendo que dichas pérdidas no poseen correlación

con la edad, ni con la velocidad de desplazamiento de la cosechadora, a diferencia de Paixão *et al.* (2017), quienes determinaron a través de una técnica muy utilizada, el test de hipoclorito de sodio, que existe una dependencia del daño mecánico con la velocidad de desplazamiento de la máquina de cosecha. Adicionalmente, estos últimos midieron la conductividad eléctrica y el vigor de los granos de soja con el test de conductividad eléctrica. Mencionaron que con el aumento del daño, crecía la conductividad eléctrica y se reducía el vigor de las semillas.

Costa *et al.* (1996) y Soza *et al.* (2014) también estudiaron el daño producido por máquinas cosechadoras. En el primer estudio agregaron además el método de cosecha manual en el análisis y concluyeron que existe una dependencia del daño con el tipo de cosecha y la humedad del grano. El segundo estudio afirmó la relación inversa del daño mecánico con el contenido de humedad y, en ambas investigaciones analizaron los granos dañados con el test de hipoclorito de sodio. Costa *et al.* (1996) implementaron el test de tetrazolio para la evaluación de daños, y para determinar los efectos en la germinación, la viabilidad y el vigor, aplicaron tests de germinación y envejecimiento acelerado, señalando que estas propiedades disminuían con el aumento del daño mecánico.

Costa *et al.* (2003) estudiaron granos de soja colectados por máquinas cosechadoras en distintas regiones, evaluando los daños con el test de tetrazolio y el test de hipoclorito de sodio. Afirmaron la dependencia del daño con la máquina y determinaron la relación inversa del vigor, la viabilidad y la germinación de la semilla con el daño, a través de los tests de germinación y de tetrazolio. Posteriormente, mencionaron que los daños estuvieron asociados al deterioro por humedad y lesiones por insectos, (Costa *et al.*, 2005).

Cunha *et al.* (2009) analizaron los efectos en la resistencia de los granos al daño mecánico con el test de hipoclorito de sodio y determinan que ésta depende del tipo de máquina cosechadora (cilindro convencional, rotor axial y rotor axial doble). Concordaron con los autores mencionados anteriormente, en que la germinación y el vigor de la semilla se ven reducidas con el aumento del daño mecánico.

En un estudio presentado por Sosnowski y Kuzniar (1999), se sometió los granos de soja a esfuerzos de impacto con un brazo de acero giratorio, determinando que la germinación de la semilla, estudiado en un test de lecho de arena, se redujo con el aumento del daño mecánico. Por otro lado, Öztürk *et al.* (2017) analizaron la resistencia a la compresión de los granos con un equipo de ensayo, determinando su contenido de humedad por medio del método de secado en horno.

De igual manera, mediante un equipo de ensayo universal, Kuźniar *et al.* (2016) determinaron la relación inversa del daño mecánico con el contenido de humedad y con el módulo de elasticidad de los granos de soja.

3.2. Procesamiento

La calidad de los granos de soja puede verse afectada a través de las distintas etapas de procesamiento, en las que son sometidos a esfuerzos a causa de la maquinaria utilizada y la manipulación.

En una investigación realizada por Misra *et al.* (1985), se señala que el empleo de una hélice de acero convencional en el manejo de granos genera daños, que fueron analizados con el test de hipoclorito de sodio. Según los autores, a partir del test de germinación, resultó que dependiendo del contenido de humedad, el grano podría variar su capacidad de germinar, presentando una reducción en su germinación con el aumento del daño mecánico. Mencionaron además, que la separación por gravedad y la limpieza con pantalla de aire en el procesamiento de granos, mejoró la calidad de los lotes de soja.

Para analizar la capacidad de germinación de la semilla de soja, implementaron el test de envejecimiento acelerado, Parde *et al.* (2002), Vearasilp *et al.* (2001) y Divsalar y Oskouie (2011).

En el primer estudio, los autores observaron la resistencia de los granos al daño mecánico a través de una maquinaria de procesamiento. Midieron el porcentaje del daño con el test de hipoclorito de sodio e indicaron una dependencia del mismo con el contenido de humedad de los granos. Con el método de secado en horno, variaron la humedad del grano y determinaron la relación inversa de la germinación y el vigor con el daño mecánico. El vigor fue analizado mediante el test de germinación, al igual que en el segundo estudio, donde evaluaron la germinación y utilizaron el test de hipoclorito de sodio para cuantificar los daños, concluyendo que existe una relación directa del daño mecánico con las dimensiones del grano de soja. A través del test de conductividad eléctrica, evaluaron el vigor, la viabilidad y la conductividad eléctrica de la semilla, destacando que el aumento del daño disminuyó los porcentajes de vigor y viabilidad. Este test fue utilizado en el tercer estudio, junto con el test de tetrazolio, por medio del cual los autores determinaron que no hubo variación en la germinación, viabilidad y vigor de la semilla. Con el método de acetato de indoxilo e inspecciones visuales, mencionaron que se presenta una dependencia del daño mecánico con el tamaño del grano.

Los autores, Polat *et al.* (2006) y Shirkole *et al.* (2011) emplearon el método de secado en horno, para alcanzar el nivel de humedad deseado en el grano de soja y midieron la velocidad límite de los granos en una columna de aire, determinando una relación directa de ésta con el daño mecánico. En la primera investigación midieron con un calibrador digital las dimensiones del grano y, el coeficiente de fricción por medio de un equipo de ensayo de fricción, señalando que estas propiedades presentan relación directa con la humedad del grano. Calcularon además, la densidad del grano de soja con el método de desplazamiento de líquido utilizando agua, a diferencia de la segunda investigación, donde calcularon la densidad con el método de masa por hectolitro, resaltando en ambos estudios que ésta disminuyó con el aumento de la humedad. Estos últimos autores, evaluaron el coeficiente de fricción con ayuda de un cilindro de plástico sobre un plano inclinado, midieron el ángulo de reposo y también establecieron una relación directa de estas propiedades con el contenido de humedad del grano de soja.

De la misma manera, Davies y El-Okene (2009), con una muestra de granos de soja en una caja sobre un plano inclinado, indicaron que se presenta una relación directa del coeficiente de fricción, el ángulo de reposo y las dimensiones del grano con el contenido de humedad. Controlaron a través del método de secado en horno, el nivel de humedad de los granos y calcularon la densidad con el método de desplazamiento de líquido con agua, teniendo ésta última, una relación inversa con la humedad.

Analizando con un equipo de ensayo de compresión el comportamiento de los granos cuando su contenido de humedad varía, Pan y Tangatanavalee (2003) determinaron que existe una relación inversa del módulo de elasticidad y de compresión con el contenido de humedad del grano de soja.

3.3. Almacenamiento

Las características físico-químicas de los granos de soja se ven afectadas según el periodo de almacenaje, de acuerdo con Narayan *et al.* (1988). A través de un estudio realizado con granos almacenados en intervalos de tiempo, demostraron que la densidad, el contenido de humedad y el peso de los granos disminuyen con el paso del tiempo, mientras que la dureza se incrementa. Observaron que los granos de soja adoptan un color marrón y la infestación con insectos se acentúa.

Con el objetivo de evaluar los cambios producidos en la calidad de los granos de soja, almacenados por intervalos de tiempo bajo condiciones establecidas, De Alencar *et al.* (2006) utilizaron el método de secado en horno para determinar el nivel de humedad de los granos y el test de conductividad eléctrica para medir el vigor y la capacidad de germinación.

Del mismo modo, en la investigación realizada por Šimic *et al.* (2006), se analiza los cambios producidos en granos de soja almacenados y se menciona que, la duración del tiempo y las condiciones del almacenamiento pueden afectar al vigor y al contenido de aceite del grano. Los autores determinaron el nivel del vigor a través de una prueba de frío.

A fin de diseñar estructuras para el almacenamiento de granos de soja, Kibar y Öztürk (2010) estudiaron ciertas propiedades asociadas al contenido de humedad del grano. Determinando el nivel de humedad con el método de secado en horno, observaron su relación directa con las dimensiones del grano y el coeficiente de fricción, calculados respectivamente, por medio de un compás y un dinamómetro digitales. De acuerdo con los autores, el ángulo de fricción interna, medido con el método de corte directo, fue creciendo con el aumento de la humedad del grano, mientras que la densidad, calculada con el método de desplazamiento de líquido utilizando tolueno, disminuyó.

3.4. Procesos combinados

El empleo de maquinaria en la cosecha y en el procesamiento de granos de soja conlleva a alteraciones en la calidad de los mismos que, dependiendo de las condiciones de almacenamiento, podrían generar pérdidas significativas de granos. Evaluando granos de soja cosechados mecánicamente, Delouche (1971) señaló que el porcentaje de daño mecánico depende del contenido de humedad del grano y de la rotación del cilindro trillador de la máquina cosechadora. Camolese *et al.* (2015) inspeccionaron visualmente los granos y observaron que aquellos con menor nivel de humedad sufrieron más daño mecánico.

Por otra parte, con el test de tetrazolio, Lopes *et al.* (2010) analizaron los granos cosechados manual y mecánicamente, señalando que el daño mecánico depende del tipo de cosecha, al igual que la germinación y el vigor de la semilla. Rollán *et al.* (2001) analizaron los daños en granos de soja con el test de hipoclorito de sodio y, con la implementación del test de germinación, determinaron la dependencia de la germinación con el daño mecánico y el contenido de humedad.

El empleo de los tests de tetrazolio y germinación congelada en granos cosechados y almacenados por intervalos de tiempo, permitieron a Paulsen *et al.* (1981) establecer una relación inversa de la capacidad de germinación de la semilla con el daño recibido durante la cosecha mecanizada. Los autores observaron una relación directa de la resistencia con el contenido de humedad e inversa con la velocidad del cilindro trillador, a través de un test de ruptura y evaluando los daños con el test de tetrazolio. Señalan que el nivel de humedad de los granos fue regulado mediante el secado en contenedores.

Krittigamas *et al.* (2001) y El - Abady *et al.* (2012) determinaron que la germinación y el vigor de las semillas de soja se reducen con el paso del tiempo en el almacenamiento. Estos últimos autores evaluaron la calidad de los granos almacenados por intervalos de tiempo calculando el vigor, la viabilidad y la germinación. Indicaron que el porcentaje de daño que puede sufrir el grano en la cosecha posee una dependencia con el espesor de su cáscara. La capacidad de germinación y el vigor de los granos de soja, fueron también analizados por Schuch *et al.* (2009).

Deshpande *et al.* (1993) determinaron el nivel de humedad de los granos de soja con el método de secado en horno. Utilizaron un micrómetro para obtener las dimensiones del grano y, por medio del método de desplazamiento de líquido, la densidad. Señalaron que las dimensiones crecieron con el aumento de la humedad, mientras que la densidad disminuyó. También utilizaron el método de secado en estufa para medir la humedad del grano Ribeiro *et al.* (2007) y Neves *et al.* (2016). Los primeros estudiaron la resistencia a la compresión del grano de soja a través de un equipo de ensayo universal y, determinaron que ésta se encuentra inversamente relacionada con el contenido de humedad, al igual que el módulo de elasticidad del grano. Los autores del segundo

estudio, determinaron que el vigor y la viabilidad de la semilla son dependientes de las etapas de procesamiento.

Bajo compresión, algunas propiedades de los granos de soja se ven afectadas según su contenido de humedad. Con el objetivo de optimizar los procesos y diseños de la maquinaria utilizada en el procesamiento de semillas, Petru y Masin (2017) analizaron el comportamiento mecánico de las mismas según esfuerzos de compresión, fricción o ruptura. Tavakoli *et al.* (2009) utilizaron una máquina de ensayos de tensión y compresión y observaron que la resistencia mecánica disminuye con el aumento del nivel de humedad, siendo éste último determinado a partir del método de secado en horno. Por otra parte, señalaron que el coeficiente de fricción y el ángulo de reposo están relacionadas directamente con el contenido de humedad, a diferencia de la densidad. En el estudio presentado por Goli *et al.* (2016), los granos fueron sometidos a esfuerzos de impacto en un equipo de ensayo, y posteriormente inspeccionados visualmente. Indicaron que existe una relación inversa de la resistencia a la compresión, con la velocidad y número de impactos.

La dureza del grano de soja es dependiente de su contenido de humedad, de acuerdo a Lončarević *et al.* (2010), quienes comprimieron los granos con un equipo de ensayo y señalaron que el módulo de elasticidad disminuye a medida que la humedad es mayor. Obtuvieron los valores del volumen y la densidad por el método de desplazamiento de líquido, mencionando que la humedad y la densidad están inversamente relacionadas entre sí, a diferencia del coeficiente de fricción, que fue medido a través de un test de plano inclinado, presentando una relación directa con el nivel de humedad del grano.

Henry *et al.* (2000) analizaron la resistencia de los granos de soja a la compresión utilizando una máquina de ensayos y, determinaron una relación inversa de la resistencia y el módulo de elasticidad con el contenido de humedad. Tunde-Akintunde *et al.* (2005) comprimieron los granos con un equipo tensiómetro y resaltaron la dependencia del daño con el contenido de humedad. Establecieron además, una relación directa de la velocidad límite de los granos, en un túnel de viento, con el contenido de humedad y, colocaron una muestra de granos de soja dentro de una caja sobre un plano inclinado para calcular el coeficiente de fricción y el ángulo de reposo. Estas últimas propiedades se encontraban en relación inversa con el contenido de humedad. Según Kashaninejad *et al.* (2008) y Wandkar *et al.* (2012), el coeficiente de fricción y el ángulo de reposo sobre distintas superficies, crecen con el aumento del contenido de humedad. En ambas investigaciones, estas propiedades fueron cuantificadas con una muestra de granos sobre un plano inclinado.

El autor Işık (2007) mencionó que las dimensiones y el coeficiente de fricción sobre distintas superficies aumentaron a medida que la humedad era mayor, señalando que estas propiedades fueron obtenidas con el uso de un compás digital y un tubo cilíndrico en plano inclinado. Además, el autor determinó con el método estándar de peso de prueba la densidad del grano, observando que ésta se encuentra inversamente relacionada con la humedad, que fue medida con un higrómetro. Por el contrario, la velocidad límite del grano de soja presentó una relación directa con la humedad y, fue obtenida en una columna de aire.

4. DISCUSIONES

El agrupamiento de los artículos según las etapas: cosecha, procesamiento y almacenamiento permitió la elaboración de las siguientes tablas, que reflejan la tendencia de investigación del tema estudiado, de acuerdo con las dimensiones de análisis propuestas: propiedades, Tabla 1; métodos/técnicas, Tabla 2; efectos/resultados, Tabla 3.

Tabla 1. Estudios realizados sobre granos de soja según propiedades

#	Autor/es	Propiedades		
		Físicas	Geométricas	Fisiológicas
1	Delouche (1971)	Resistencia al daño mecánico		
2	Paulsen <i>et al.</i> (1981)	Resistencia al daño mecánico, humedad		Germinación
3	Misra <i>et al.</i> (1985)	Resistencia al daño mecánico		Germinación
4	Narayan <i>et al.</i> (1988)	Densidad, contenido de humedad, resistencia al daño mecánico-dureza		
5	Philbrook y Oplinger (1989)	Resistencia al daño mecánico		
6	Deshpande <i>et al.</i> (1993)	Humedad, densidad	Dimensiones	
7	Costa <i>et al.</i> (1996)	Resistencia al daño mecánico, humedad		Germinación, vigor, viabilidad
8	Sosnowski y Kuzniar (1999)	Resistencia a la compresión-impacto		Germinación
9	Henry <i>et al.</i> (2000)	Resistencia al daño mecánico-compresión, módulo de elasticidad		
10	Vearasilp <i>et al.</i> (2001)	Resistencia al daño mecánico, conductividad eléctrica		Germinación, vigor, viabilidad
11	Rollán <i>et al.</i> (2001)	Resistencia al daño mecánico		Germinación
12	Krittigamas <i>et al.</i> (2001)	Resistencia al daño mecánico, conductividad eléctrica		Germinación, vigor, viabilidad
13	Parde <i>et al.</i> (2002)	Resistencia al daño mecánico, contenido de humedad		Germinación, vigor
14	Pinheiro Neto y Troli (2003)	Resistencia al daño mecánico, humedad		
15	Costa <i>et al.</i> (2003)	Resistencia al daño mecánico		Germinación, vigor, viabilidad
16	Pan y Tangratanavalee (2003)	Módulo de elasticidad, resistencia al daño mecánico-compresión		
17	Costa <i>et al.</i> (2005)	Resistencia al daño mecánico, humedad		Germinación, vigor, viabilidad
18	Tunde-Akintunde <i>et al.</i> (2005)	Resistencia al daño mecánico-compresión, humedad, velocidad límite, coeficiente de fricción, ángulo de reposo, volumen	Dimensiones	
19	Polat <i>et al.</i> (2006)	Humedad, densidad, velocidad límite, coeficiente de fricción	Dimensiones	
20	Šimic <i>et al.</i> (2006)			Vigor
21	De Alencar <i>et al.</i> (2006)	Humedad, conductividad eléctrica		Germinación, vigor
22	Minuzzi <i>et al.</i> (2007)			Germinación, vigor
23	Cunha y Zandbergen (2007)	Resistencia al daño mecánico		
24	Ribeiro <i>et al.</i> (2007)	Resistencia al daño mecánico-compresión, humedad, módulo de elasticidad		
25	Işik (2007)	Humedad, densidad, coeficiente de fricción, velocidad límite	Dimensiones	
26	Kashaninejad <i>et al.</i> (2008)	Humedad, coeficiente de fricción, ángulo de reposo, volumen	Dimensiones	
27	Cunha <i>et al.</i> (2009)	Resistencia al daño mecánico		Germinación, vigor
28	Magalhães <i>et al.</i> (2009)	Resistencia al daño mecánico, humedad		
29	Davies y El-Okene (2009)	Humedad, densidad, ángulo de reposo, coeficiente de fricción	Dimensiones	
30	Tavakoli <i>et al.</i> (2009)	Resistencia al daño mecánico-compresión, humedad, densidad, coeficiente de fricción, ángulo de reposo	Dimensiones	
31	Schuch <i>et al.</i> (2009)			Germinación, vigor
32	Kibar y Öztürk (2010)	Coficiente de fricción, humedad, ángulo de fricción interna, densidad	Dimensiones	
33	Lončarević <i>et al.</i> (2010)	Resistencia al daño mecánico-dureza, densidad, volumen, coeficiente de fricción, módulo de elasticidad		
34	Divsalar y Oskouie (2011)	Resistencia al daño mecánico, conductividad eléctrica, humedad		Germinación, vigor, viabilidad
35	Shirkole <i>et al.</i> (2011)	Humedad, ángulo de reposo, densidad, coeficiente de fricción, velocidad límite		
36	Lopes <i>et al.</i> (2011)	Resistencia al daño mecánico, humedad, conductividad eléctrica		Germinación, vigor
37	Compagnon <i>et al.</i> (2012)	Resistencia al daño mecánico, humedad		
38	El - Abady <i>et al.</i> (2012)	Resistencia al daño mecánico, humedad, conductividad eléctrica		Germinación, vigor, viabilidad
39	Wandkar <i>et al.</i> (2012)	Humedad, ángulo de reposo, coeficiente de fricción, densidad	Dimensiones	
40	Holtz y Fialho dos Reis (2013)	Resistencia al daño mecánico, humedad, conductividad eléctrica		Vigor, viabilidad
41	Gagare <i>et al.</i> (2014)	Resistencia al daño mecánico		
42	Ning <i>et al.</i> (2014)	Resistencia al daño mecánico		Germinación
43	Soza <i>et al.</i> (2014)	Resistencia al daño mecánico, humedad		

44	Pacheco <i>et al.</i> (2015)	Resistencia al daño mecánico, humedad	Germinación, vigor, viabilidad
45	Camolese <i>et al.</i> (2015)	Resistencia al daño mecánico, humedad	
46	Kuźniar <i>et al.</i> (2016)	Resistencia al daño mecánico, humedad, módulo de elasticidad	
47	Goli <i>et al.</i> (2016)	Resistencia a la compresión-impacto, humedad	Germinación
48	Neves <i>et al.</i> (2016)	Conductividad eléctrica, resistencia al daño mecánico, humedad	Germinación, vigor, viabilidad
49	Paixão <i>et al.</i> (2017)	Resistencia al daño mecánico, humedad, temperatura, conductividad eléctrica	Vigor
50	Öztürk <i>et al.</i> (2017)	Resistencia al daño mecánico-compresión, humedad	
51	Petru y Masin (2017)	Resistencia al daño mecánico	

Tabla 2. Estudios realizados sobre granos de soja según métodos y técnicas de medición

#	Autor/es	Métodos y técnicas de medición	
		De propiedades	De efectos
1	Delouche (1971)	Máquina cosechadora	
2	Paulsen <i>et al.</i> (1981)	Tests de tetrazolio, germinación congelada, de ruptura Stein, máquina cosechadora, almacenamiento en intervalos de tiempo, secado en contenedores	Test de tetrazolio
3	Misra <i>et al.</i> (1985)	Hélice de acero convencional, test de germinación	Test de hipoclorito de sodio
4	Narayan <i>et al.</i> (1988)	Almacenamiento en intervalos de tiempo	
5	Philbrook y Oplinger (1989)	Máquina cosechadora	
6	Deshpande <i>et al.</i> (1993)	Micrómetro, métodos de secado en horno y de desplazamiento de líquido	
7	Costa <i>et al.</i> (1996)	Máquina cosechadora y cosecha manual, higrómetro: Dole 400, tests de tetrazolio, de envejecimiento acelerado y de germinación	Test de hipoclorito de sodio, test de tetrazolio
8	Sosnowski y Kuzniar (1999)	Test en un lecho de arena	Equipo de Brazo de acero giratorio
9	Henry <i>et al.</i> (2000)	Máquina de ensayos: Instron	
10	Vearasilp <i>et al.</i> (2001)	Test de envejecimiento acelerado, de tetrazolio y de conductividad eléctrica	Inspección visual, método de acetato de indoxilo
11	Rollán <i>et al.</i> (2001)	Test de germinación	Test de hipoclorito de sodio
12	Krittigamas <i>et al.</i> (2001)	Almacenamiento en intervalos de tiempo, tests de germinación, tetrazolio, envejecimiento acelerado, conductividad eléctrica	
13	Parde <i>et al.</i> (2002)	Tests de envejecimiento acelerado, germinación, método de secado en horno, maquinaria de procesamiento de granos	Test de hipoclorito de sodio
14	Pinheiro Neto y Troli (2003)	Método de secado en estufa, máquina cosechadora	Inspección visual
15	Costa <i>et al.</i> (2003)	Test de germinación, test de tetrazolio	Test de tetrazolio, test de hipoclorito de sodio
16	Pan y Tangratanavalee (2003)	Equipo de ensayo de compresión	
17	Costa <i>et al.</i> (2005)	Test de tetrazolio, higrómetro, máquina cosechadora, test de germinación	Test de hipoclorito de sodio, test de tetrazolio
18	Tunde-Akintunde <i>et al.</i> (2005)	Equipo tensiómetro: Avery, método de desplazamiento de líquido, higrómetro, micrómetro, túnel de viento, caja sobre plano inclinado	
19	Polat <i>et al.</i> (2006)	Método de secado en horno, calibrador digital, método de desplazamiento de líquido-agua, columna de aire, equipo de ensayo de fricción	
20	Šimic <i>et al.</i> (2006)	Prueba de frío	
21	De Alencar <i>et al.</i> (2006)	Método de secado en estufa y test de conductividad eléctrica	
22	Minuzzi <i>et al.</i> (2007)	Tests de germinación y envejecimiento acelerado	
23	Cunha y Zandbergen (2007)	Máquina cosechadora combinada de flujo tangencial	Método de Embrapa y método de pesaje
24	Ribeiro <i>et al.</i> (2007)	Equipo de ensayo universal: TA Hdi Texture Analyser, método de secado en estufa	
25	Işik (2007)	Higrómetro, método estándar de peso de prueba, compás digital, tubo cilíndrico sobre plano inclinado, columna cilíndrica de aire	
26	Kashaninejad <i>et al.</i> (2008)	Método de desplazamiento de líquido y secado en horno, calibrador digital, caja sobre plano inclinado	
27	Cunha <i>et al.</i> (2009)	Test de germinación	Test de hipoclorito de sodio
28	Magalhães <i>et al.</i> (2009)	Máquina cosechadora de flujo transversal, método de secado en estufa	Inspección visual
29	Davies y El-Okene (2009)	Método de secado en horno, micrómetro, cilindro abierto, caja sobre plano inclinado, micrómetro, método de desplazamiento de líquido-agua	
30	Tavakoli <i>et al.</i> (2009)	Equipo de ensayo de tensión y compresión, método de secado en horno, calibrador digital, método de desplazamiento de líquido-tolueno, medidor de ángulo de reposo	
31	Schuch <i>et al.</i> (2009)	Tests de envejecimiento acelerado y germinación	
32	Kibar y Öztürk (2010)	Dinamómetro digital, compás digital, métodos de corte directo, de secado en horno y de desplazamiento de líquido-tolueno	
33	Lončarević <i>et al.</i> (2010)	Equipo de ensayo de compresión: TMS - PRO, método de desplazamiento de líquido, test de plano inclinado	
34	Divsalar y Oskouie (2011)	Tests de conductividad eléctrica, germinación y envejecimiento acelerado, higrómetro	Test de hipoclorito de sodio
35	Shirkole <i>et al.</i> (2011)	Método de secado en horno, secado por sol, método de masa por hectolitro, aparato medidor de ángulo reposo, cilindro de plástico en plano inclinado, columna de aire	

36	Lopes <i>et al.</i> (2011)	Cosecha manual y máquina cosechadora, método de secado en estufa, tests de conductividad eléctrica, de germinación, de envejecimiento acelerado y de tetrazolio	Test de tetrazolio
37	Compagnon <i>et al.</i> (2012)	Máquina cosechadora, higrómetro: Dicker-John modelo multigrano	Monitor interno Intelliview
38	El - Abady <i>et al.</i> (2012)	Almacenamiento en intervalos de tiempo, métodos de cosecha manual y mecanizada, tests de germinación, envejecimiento acelerado, método de secado en horno, medidor de conductividad eléctrica: CMD 830 WPA	
39	Wandkar <i>et al.</i> (2012)	Método de secado en horno, calibrador Vernier, cilindro abierto sobre plano inclinado, caja sobre plano inclinado, método de desplazamiento de líquido-tolueno	
40	Holtz y Fialho dos Reis (2013)	Máquina cosechadora, higrómetro: Motonko, método de secado en estufa, test de tetrazolio, test de conductividad eléctrica	
41	Gagare <i>et al.</i> (2014)	Máquina cosechadora y desgranado manual	Test de cloruro férrico
42	Ning <i>et al.</i> (2014)	Test de germinación, máquina cosechadora	Inspección visual microscópica
43	Soza <i>et al.</i> (2014)	Máquina cosechadora, higrómetro	Test de hipoclorito de sodio
44	Pacheco <i>et al.</i> (2015)	Máquina cosechadora, higrómetro, tests de germinación y tetrazolio	
45	Camolese <i>et al.</i> (2015)	Máquina cosechadora, higrómetro: Agrologic modelo AL-101	Inspección visual
46	Kuźniar <i>et al.</i> (2016)	Equipo de ensayo universal: Zwick, método de secado en horno	
47	Goli <i>et al.</i> (2016)	Test de germinación, método de secado en horno, equipo de ensayo de impacto	Inspección visual
48	Neves <i>et al.</i> (2016)	Tests de tetrazolio, germinación, envejecimiento acelerado, medidor de conductividad eléctrica, método de secado en horno	Test de hipoclorito de sodio
49	Paixão <i>et al.</i> (2017)	Máquina cosechadora, higrómetro: G600, test y medidor de conductividad eléctrica	Test de hipoclorito de sodio
50	Öztürk <i>et al.</i> (2017)	Equipo de ensayo: Lloyd LRX plus, método de secado en horno	
51	Petru y Masin (2017)		

Tabla 3. Estudios realizados sobre granos de soja según efectos o resultados

#	Autor/es	Efectos estudiados o resultados obtenidos
1	Delouche (1971)	<i>Dependencia del daño mecánico con la rotación del cilindro trillador y con la humedad, dependencia de las condiciones de almacenamiento con la humedad</i>
2	Paulsen <i>et al.</i> (1981)	<i>Relación inversa de la germinación con el daño mecánico, relación directa de la resistencia al daño mecánico con la humedad e inversa con la velocidad del cilindro</i>
3	Misra <i>et al.</i> (1985)	<i>Relación inversa de la germinación con el daño mecánico y dependencia del contenido de humedad</i>
4	Narayan <i>et al.</i> (1988)	<i>Relación inversa de la densidad y la humedad con el periodo de almacenamiento, relación directa de la dureza con el periodo de almacenamiento</i>
5	Philbrook y Oplinger (1989)	<i>Relación directa del daño mecánico con los días de retraso de cosecha</i>
6	Deshpande <i>et al.</i> (1993)	<i>Relación directa de las dimensiones y el volumen con la humedad, relación inversa de la densidad con la humedad</i>
7	Costa <i>et al.</i> (1996)	<i>Dependencia del daño mecánico con el tipo de cosecha y con la humedad, relación inversa de la germinación, vigor y viabilidad con el daño mecánico</i>
8	Sosnowski y Kuzniar (1999)	<i>Relación inversa de la germinación con el daño mecánico</i>
9	Henry <i>et al.</i> (2000)	<i>Relación inversa de la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad con el contenido de humedad</i>
10	Vearasilp <i>et al.</i> (2001)	<i>Dependencia del daño mecánico con el tamaño del grano, no hubo variación de germinación, vigor y viabilidad</i>
11	Rollán <i>et al.</i> (2001)	<i>Dependencia de la germinación con el daño mecánico y el contenido de humedad</i>
12	Krittigamas <i>et al.</i> (2001)	<i>Relación inversa de la germinación y el vigor con el tiempo de almacenamiento</i>
13	Parde <i>et al.</i> (2002)	<i>Relación inversa de la germinación y el vigor con el daño mecánico, dependencia del daño mecánico con el contenido de humedad</i>
14	Pinheiro Neto y Troli (2003)	<i>Relación inversa de la humedad con el daño mecánico, relación directa del daño mecánico con la velocidad de rotación del cilindro trillador</i>
15	Costa <i>et al.</i> (2003)	<i>Relación inversa del vigor, viabilidad y germinación con el daño mecánico, dependencia del daño mecánico con la máquina cosechadora</i>
16	Pan y Tangatanavalee (2003)	<i>Relación inversa del módulo de elasticidad y la compresión con el contenido de humedad</i>
17	Costa <i>et al.</i> (2005)	<i>Relación inversa de la germinación, vigor y viabilidad con el daño mecánico</i>
18	Tunde-Akintunde <i>et al.</i> (2005)	<i>Dependencia del daño mecánico con la humedad, relación directa de las dimensiones y la velocidad límite con la humedad, relación inversa del coeficiente de fricción y el ángulo de reposo con la humedad</i>
19	Polat <i>et al.</i> (2006)	<i>Relación directa de las dimensiones, la velocidad límite y el coeficiente de fricción con el contenido de humedad, relación inversa de la densidad con el contenido de humedad</i>
20	Šimic <i>et al.</i> (2006)	<i>Dependencia del vigor y del contenido de aceite con las condiciones de almacenamiento</i>
21	De Alencar <i>et al.</i> (2006)	<i>Medición resultante del contenido de humedad, de la conductividad eléctrica, la germinación y el vigor</i>
22	Minuzzi <i>et al.</i> (2007)	<i>Relación inversa de la germinación y el vigor con el tiempo de retraso de cosecha</i>
23	Cunha y Zandbergen (2007)	<i>No existe relación de las pérdidas de granos con la edad ni con la velocidad de desplazamiento de la cosechadora</i>
24	Ribeiro <i>et al.</i> (2007)	<i>Relación inversa de la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad con el contenido de humedad</i>
25	Işik (2007)	<i>Relación directa de las dimensiones, el coeficiente de fricción y la velocidad límite con la humedad, relación inversa de la densidad con la humedad</i>
26	Kashaninejad <i>et al.</i> (2008)	<i>Relación directa de: volumen, dimensiones, coeficiente de fricción y ángulo de reposo con la humedad</i>
27	Cunha <i>et al.</i> (2009)	<i>Dependencia del daño mecánico con el tipo de cosechadora, relación inversa de la germinación y el vigor con el daño mecánico</i>
28	Magalhães <i>et al.</i> (2009)	<i>Medición resultante de la resistencia al daño mecánico y del contenido de humedad</i>
29	Davies y El-Okene (2009)	<i>Relación directa de las dimensiones, ángulo de reposo y coeficiente de fricción con el contenido de humedad, relación inversa de la densidad con el contenido de humedad</i>

30	Tavakoli <i>et al.</i> (2009)	<i>Relación inversa de la resistencia a la compresión y la densidad con el contenido de humedad, relación directa de las dimensiones, el coeficiente de fricción y el ángulo de reposo con el contenido de humedad</i>
31	Schuch <i>et al.</i> (2009)	<i>Medición resultante del vigor y la germinación</i>
32	Kibar y Öztürk (2010)	<i>Relación directa del coeficiente de fricción, de las dimensiones y del ángulo de fricción interna con el contenido de humedad, relación inversa de la densidad con el contenido de humedad</i>
33	Lončarević <i>et al.</i> (2010)	<i>Dependencia de la dureza con la humedad, relación directa del volumen y el coeficiente de fricción con la humedad, relación inversa de la densidad y el módulo de elasticidad con la humedad</i>
34	Divsalar y Oskouie (2011)	<i>Relación inversa del vigor y la viabilidad con el daño mecánico, y directa del daño mecánico con las dimensiones</i>
35	Shirkole <i>et al.</i> (2011)	<i>Relación directa del ángulo de reposo, del coeficiente de fricción y la velocidad límite con el contenido de humedad, relación inversa de la densidad con el contenido de humedad</i>
36	Lopes <i>et al.</i> (2011)	<i>Dependencia del daño mecánico, la germinación y el vigor con el tipo de cosecha</i>
37	Compagnon <i>et al.</i> (2012)	<i>Medición resultante de la resistencia al daño mecánico y del contenido de humedad</i>
38	El - Abady <i>et al.</i> (2012)	<i>Dependencia del daño mecánico con el espesor de la cáscara del grano, relación inversa de la germinación, el vigor y la viabilidad con el período de almacenamiento</i>
39	Wandkar <i>et al.</i> (2012)	<i>Relación directa de las dimensiones, el ángulo de reposo y el coeficiente de fricción con la humedad, relación inversa de la densidad con la humedad</i>
40	Holtz y Fialho (2013)	<i>Dependencia del vigor y la viabilidad con el momento (hora) de la cosecha y del daño mecánico con la humedad</i>
41	Gagare <i>et al.</i> (2014)	<i>Dependencia del daño mecánico con el método de desgrane</i>
42	Ning <i>et al.</i> (2014)	<i>Relación inversa de la germinación con el daño mecánico, y directa con el contenido de humedad</i>
43	Soza <i>et al.</i> (2014)	<i>Relación inversa del daño mecánico con el contenido de humedad</i>
44	Pacheco <i>et al.</i> (2015)	<i>Dependencia de la rotación del cilindro con el contenido de humedad, medición resultante de la humedad, relación inversa del vigor y viabilidad con la rotación del cilindro</i>
45	Camolese <i>et al.</i> (2015)	<i>Relación inversa del daño mecánico con el contenido de humedad</i>
46	Kuźniar <i>et al.</i> (2016)	<i>Relación inversa de la resistencia al daño mecánico y el módulo de elasticidad con el contenido de humedad</i>
47	Goli <i>et al.</i> (2016)	<i>Relación inversa de la germinación con el daño mecánico, e inversa de la resistencia a la compresión con el número y velocidad de impacto</i>
48	Neves <i>et al.</i> (2016)	<i>Dependencia del vigor y la viabilidad con las etapas de procesamiento</i>
49	Paixão <i>et al.</i> (2017)	<i>Dependencia de la resistencia al daño mecánico con la velocidad de la cosechadora, relación inversa del vigor con la conductividad eléctrica, relación directa de la conductividad eléctrica con el daño mecánico</i>
50	Öztürk <i>et al.</i> (2017)	<i>Medición resultante de la resistencia al daño mecánico</i>
51	Petru y Masin (2017)	<i>Evaluación resultante del comportamiento mecánico de semillas</i>

5. CONCLUSIONES

El estudio en esta área se ve abordado mayormente en Brasil, donde la resistencia de los granos al daño mecánico ocasionado principalmente en la etapa de cosecha es analizada. Ver Figura 2. Además, analizando las etapas más estudiadas, se concluye que el 37% de los trabajos se centran en la cosecha, 16% en el procesamiento, 8% en el almacenamiento y el 39% restante, en la combinación de estas etapas.

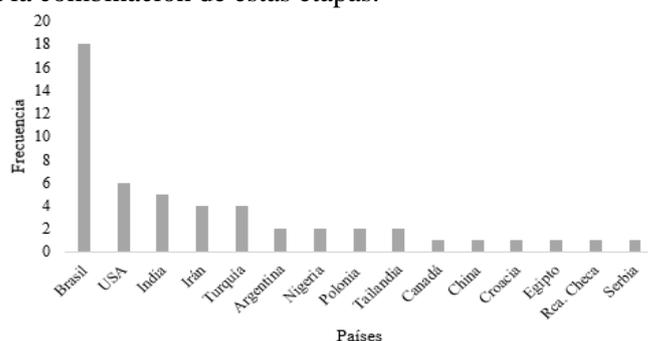


Figura 2. Estudios presentados por país.

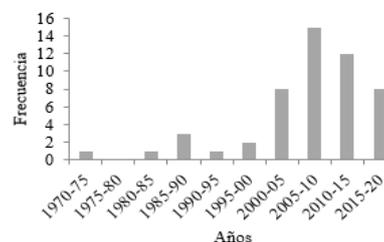


Figura 3. Estudios presentados por año

A nivel cronológico, en la Figura 3 se aprecia que el interés científico en temas relacionados a las propiedades de los granos de soja tiende a aumentar. En la última década, las técnicas más utilizadas para analizar los efectos del daño mecánico en granos de soja son el test de hipoclorito de sodio y las inspecciones visuales. Mientras que, para el análisis de las propiedades asociadas al daño mecánico, predominan el método de secado en horno, para determinar el contenido de humedad de los granos; el test de germinación, para evaluar la capacidad de germinación de las semillas; el uso de distintos modelos de máquinas cosechadoras, para estudiar los daños mecánicos en la cosecha; el test de conductividad eléctrica, para determinar la conductividad eléctrica; el método de desplazamiento de líquido, para determinar la densidad y el volumen; el test de envejecimiento acelerado, para evaluar el vigor y la viabilidad

de las semillas; y el test de tetrazolio, para analizar la germinación, el vigor, la viabilidad y los daños en los granos de soja.

El deterioro de los granos de soja se ve influenciado en gran medida por el daño mecánico generado en las etapas de cosecha y procesamiento (Salinas, 2008), lo que conlleva a una disminución de la calidad de las semillas en el almacenamiento, coincidiendo con Shelar (2008). Con la revisión realizada, se pueden identificar los métodos más aplicados para el estudio del daño mecánico en granos de soja y la relación con sus propiedades, a fin de diseñar ensayos que permitan estudiar el comportamiento mecánico de los granos. El estudio en esta área ofrece la posibilidad de lograr mejoras en el diseño de las máquinas utilizadas en las etapas de cosecha y procesamiento, reduciendo las pérdidas de granos de soja en la industria.

REFERENCIAS

- BCP, Banco Central del Paraguay, Reporte de Comercio Exterior, Available: <https://www.bcp.gov.py/informe-de-comercio-exterior-mensual-i466>, December, 2017.
- Bragachini, M., Peiretti, J., Sanchez, F., Ustarroz, F., Giordano, J., and Bragachini, M., Cosecha de Soja con valor agregado en origen, *Curso Internacional de Agricultura de Precisión*, Manfredi, Argentina, July 17-19, 2013.
- Camolese, H. S., Baio, F. H. R., and Alves, C. Z., Perdas quantitativas e qualitativas de colhedoras com trilha radial e axial em função da umidade do grão, *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, vol. 9, no. 1, pp. 21-29, 2015.
- CAPECO, Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas, Área de siembra, producción y rendimiento, Available: <http://capeco.org.py/area-de-siembra-produccion-y-rendimiento/>, 2018.
- Compagnon, A., Pereira da Silva, R., Tufaile Cassia, M., Graat, D., and Aparecido Voltarelli, M., Comparison between methods of evaluation of soybean mechanized harvesting losses, *Scientia Agropecuaria*, vol. 3, no. 3, pp. 215-223, 2012.
- Costa, N. P. D., De Oliveira, M. C. N., and Henning, A. A. Efeito da colheita mecanica sobre a qualidade da semente de Soja, *Revista Brasileira De Sementes*, vol. 18, no. 2, pp. 232-237, 1996.
- Costa, N. P. D., Mesquita, C. D. M., Maurina, A. C., França Neto, J. B., Krzyzanowski, F. C., Oliveira, M. C. N., and Henning, A. A., Profile of the physical, physiological and chemical aspects of soybean seeds produced in six regions of Brazil, *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 27, no. 2, pp. 172-181, 2005.
- Costa, N. P. D., Mesquita, C. D. M., Maurina, A. C., Neto, F., de Barros, J., Krzyzanowski, F. C., and Henning, A. A., Physical, physiological and sanitary quality of soybean seed produced in Brazil, *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 25, no. 1, pp. 128-132, 2003.
- Cunha, J. P. A. R., and Zandbergen, H. P., Perdas na colheita mecanizada da soja na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Brasil, *Bioscience Journal*, vol. 23, no. 4, pp. 61-66, 2007.
- Cunha, J. P. A. R., Piva, G., and Oliveira, C. A. A., Effect of the threshing system and harvester speed on the quality of soybean seeds, *Bioscience Journal*, vol. 25, no. 4, pp. 37-42, 2009.
- Davies, R. M., and El-Okene, A. M., Moisture-dependent physical properties of soybeans, *Int. Agrophysics*, vol. 23, no. 3, pp. 299-303, 2009.
- De Alencar, E. R., Faroni, L. R. D. A., de Lacerda Filho, A. F., Ferreira, L. G., and Meneghetti, M. R., Influence of different storage conditions on soybean grain quality, *Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection*, pp. 30-37, Campinas, Brazil, 2006.
- Delouche, J. C., Harvesting, Handling, and Storage of Soybean Seed, *Meeting of the Southern Seedsmen's Association*, pp. 17-22, Dallas, USA, 1971.
- Deshpande, S. D., Bal, S., and Ojha, T. P., Physical properties of soybean, *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 56, no. 2, pp. 89-98, 1993.

- Divsalar, M., and Oskouie, B., Study the effect of mechanical damage at processing on soybean seed germination and vigor, *Journal of Agricultural and Biological Science*, vol. 6, no.7, pp. 60-64, 2011.
- EEA INTA Manfredi, Control de la Calidad en la Producción de Semilla de Soja, Available: <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/calidad/ControlCalidadProduccionDeSemillaDeSoja.asp>, 2004.
- El-Abady, M. I., El-Emam, A. A. M., Seadh, S. E., and Yousof, F. I., Soybean seed quality as affected by cultivar, threshing methods and storage periods, *Research Journal of Seed Science*, vol. 5, no. 4, pp. 115-125, 2012.
- Gagare, K., Bharud, R., Shelar, V., and Karjule, A., Detection of mechanical damage to soybean seed surface using ferric chloride test, *Agricultural Science Digest - A Research Journal*, vol. 34, no. 4, pp. 289-292, 2014.
- Goli, A., Khazaei, J., Taheri, M., Khojamli, A., and Sedaghat, A. Effect of Mechanical Damage on Soybean Germination, *International Academic Journal of Science and Engineering*, vol. 3, no. 10, pp. 48-58, 2016.
- Henry, Z. A., Su, B., and Zhang, H., Resistance of soya beans to compression, *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 76, no. 2, pp. 175-181, 2000.
- Holtz, V., and Reis, E. F. D., Losses in mechanized harvesting soybean: A quantitative and qualitative analysis, *Revista Ceres*, vol. 60, no. 3, pp. 347-353, 2013.
- Isik, E., Some engineering properties of soybean grains, *American Journal of Food Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 115-125, 2007.
- Kashaninejad, M., Ahmadi, M., Daraei, A., and Chabra, D., Handling and frictional characteristics of soybean as a function of moisture content and variety, *Powder Technology*, vol. 188, no. 1, pp. 1-8, 2008.
- Kibar, H., Öztürk, T., and Esen, E., The effect of moisture content on physical and mechanical, *Spanish Journal of Agricultural Research*, vol. 8, no. 3, pp. 741-749, 2010.
- Krittigamas, N., Vearasilp, S., Thanapornpoonpong, S., Suriyong, S., Pa-oblek, S., Pawelzik, E., and Becker, M., Investigation of post-harvest soybean seed storability after passing the different steps of processing, *Conference on International Agricultural Research for Development*, pp. 9-11, Bonn, Germany, October, 2001.
- Kuźniar, P., Szpunar-Krok, E., Findura, P., Buczek, J., and Bobrecka-Jamro, D., Physical and chemical properties of soybean seeds determine their susceptibility to mechanical damage, *Zemdirbyste-Agriculture*, vol. 103, no. 2, pp. 183-192, 2016.
- Lončarević, V., Babić, M., Balešević-Tubić, S., Đilvesi, K., Kostić, M., and Štatkić, S., Dependent of moisture content soybean seed on physical properties, *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, vol. 14, no. 3, pp. 163-167, 2010.
- Lopes, M. D. M., Dedemo Prado, M. O., Sader, R., and Barbosa, R. M., Mechanical and Fisiological effects on the harvesting and processing of Soybean seeds, *Bioscience Journal*, vol. 27, no. 2, pp. 230-238, 2011.
- Magalhaes, S. C., Oliveira, B. C., Toledo, A., Tabile, R. A., and Silva, R. P. Quantitative losses in the soybean mechanized harvesting in different operational conditions of two harvesters, *Bioscience Journal*, vol. 25, no. 5, pp. 43-48, 2009.
- Méndez, J., and Roskopf, R., ¿Dónde se produce el mayor % de grano partido? en el proceso de cosecha o en su manejo posterior, Proyecto PRECOP - INTA OLIVEROS, Available: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/donde-produce-mayor-grano-t26949.htm>, February 16, 2007.
- Minuzzi, A., Mora, F., Sedrez, M. A., De Lucca e Braccini, A., and Scapim, C. A., Características fisiológicas, contenido de aceite y proteína en genotipos de Soya, evaluadas en diferentes sitios y épocas de cosecha, Brasil, *Agricultura Técnica*, vol. 67, no. 4, pp. 353-361, 2007.
- Misra, M., Gaul, A., and Kayode, O., Soybean seed quality during conditioning, *Transactions of the ASAE*, vol. 28, no. 2, pp. 576-579, 1985.
- Narayan, R., Chauhan, G. S., and Verma, N. S., Changes in the quality of soybean during storage. Part 1 - Effect of storage on some physico-chemical properties of soybean, *Food Chemistry*, vol. 27, no. 1, pp. 13-23, 1988.

- Neto, R., and Troli, W., Perdas na colheita mecanizada da soja (*Glycine Max (L.) Merrill*), no município de Maringá, Estado do Paraná, *Acta Scientiarum. Agronomy*, vol. 25, no. 2, pp. 393-398, 2003.
- Neves, J. M., Oliveira, J. A., Silva, H. P. D., Reis, R. D. G., Zuchi, J., and Vieira, A. R., Quality of soybean seeds with high mechanical damage index after processing and storage, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 20, no. 11, pp. 1025-1030, 2016.
- Ning, X., Yang, D., Gong, Y., Han, C., and Liu, D., Seeds of soybean with internal mechanical damage feature and influence to its germination, *Engineering In Agriculture, Environment And Food*, vol. 7, no. 2, pp. 59-63, 2014.
- Öztürk, F., Pekitkan, F. G., Esgici, R., and Elicin, A. K., Some mechanical properties of Soybean (*Glycine Max*) stems and seeds, *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, vol. 60, pp. 352-355, 2017.
- Pacheco, F., Nóbrega, L., Lima, G., Santorum, M., Boller, W., and Formighieri, L., Physiological quality of Soybean seeds under mechanical injuries caused by combines, *Revista Caatinga*, vol. 28, no. 4, pp. 190-201, 2015.
- Paixão, C. S., Chrispin, C. P., Silva, R. P. D., Girio, L. A., and Voltarelli, M. A., Physical and physiological quality of soybean seeds at three speeds of the harvester, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 21, no. 3, pp. 214-218, 2017.
- Pan, Z., and Tangatanavalee, W., Characteristics of soybeans as affected by soaking conditions, *LWT-Food Science and Technology*, vol. 36, no. 1, pp. 143-151, 2003.
- Parde, S. R., Kausal, R. T., Jayas, D. S., and White, N. D., Mechanical damage to soybean seed during processing, *Journal of Stored Products Research*, vol. 38, no. 4, pp. 385-394, 2002.
- Paulsen, M. R., Nave, W. R., Mounts, T. L., and Gray, L. E., Storability of harvest-damaged soybeans, *Transactions of the ASAE*, vol. 24, no. 6, pp. 1583-1589, 1981.
- Petrů, M., & Mašín, I., Application of Mechanics to Plant Seeds as a Granular or Particulate Material, *Advances in Seed Biology*, InTech, pp. 319-338, 2017.
- Philbrook, B., and Oplinger, E., Soybean Field Losses as Influenced by Harvest Delays, *Agronomy Journal*, vol. 81, no. 2, pp. 251-258, 1989.
- Polat, R., Atay, U., and Saglam, C., Some physical and aerodynamic properties of soybean, *Journal of Agronomy*, vol. 5, no. 1, pp. 74-78, 2006.
- Ribeiro, D. M., Corrêa, P. C., Furtado, B. F., Goneli, A. L., and Resende, O., Soybean mechanical properties in function of moisture content, *Engenharia Agrícola*, vol. 27, no. 2, pp. 493-500, 2007.
- Rollan, M. C., Lori, G. A., Sisterna M. N., and Barreyro, R. A., Effect of different damage factors on soybean seed quality, *Acta Agronomica Hungarica*, vol. 49, no. 2, pp. 133-139, 2001.
- Salcedo, Y., Soja nacional se destaca en el radar mundial, 5 Días, Available: <https://www.5dias.com.py/114975-2/>, March 1, 2018.
- Salinas, A., Gallo, C., and Rosbaco, I., Semillas de soja de calidad: Un objetivo por alcanzar, *Revista Científica Agropecuaria*, vol. 12, no. 2, pp. 85-99, 2008.
- Schuch, L. O. B., Kolchinski, E. M., and Finatto, J. A., Seed physiological quality and individual plants performance in soybean, *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 31, no. 1, pp. 144-149, 2009.
- Shelar, V. R., Role of mechanical damage in deterioration of soybean seed quality during storage—a review, *Agricultural Reviews*, vol. 29, no. 3, pp. 177-184, 2008.
- Shirkole, S. S., Kenghe, R. N., and Nimkar, P. M., Moisture dependent physical properties of soybean, *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 3, no. 5, pp. 3807-3815, 2011.
- Šimić, B., Sudarić, A., Liović, I., Kalinović, I., Rozman, V., and Ćosić, J., Influence of storage conditions on seed quality of maize, soybean, and sunflower, *9th International Working Conference on Stored Product Protection*, pp. 59-63, Campinas, Brazil, October 15-18, 2006.
- Sonawski, S., and Kuzniar, P., Effect of dynamic loading on the quality of soybean, *International Agrophysics*, vol. 13, no. 1, pp. 125-132, 1999.
- Soza, E. L., Quirós, P. J., and Raggio J.B., 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, vol. 5, no. 9 and 10, pp. 61-73, 2014.
- Tavakoli, H., Rajabipour, A., and Mohtasebi, S. S., Moisture-dependent some engineering properties of soybean grains, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, vol. 11, 2009.
- Tomassone, S., Zafra 2017/2018. Estimaciones de producción y exportación de granos en Paraguay, CAPECO, Available: <http://capeco.org.py/wp-content/uploads/2018/03/2018-Estimaciones-de-producci%C3%B3n-y-exportaci%C3%B3n-Gazeta-do-Povo-S.-Tomassone..pdf>, 2018.
- Tunde-Akintunde, T. Y., Olajide, J. O., and Akintunde, B. O., Mass-volume-area related and mechanical properties of soybean as a function of moisture and variety, *International journal of food properties*, vol. 8, no. 3, pp. 449-456, 2005.
- Vearasilp, S., Somchai, P., Nattasak, K., Sanguansak, T., Sangtiwa, S., and Elke, P., Assessment of post harvest soybean seed quality loss, *Conference on International Agricultural Research for Development*, Göttingen, Germany, October 9-11, 2001.
- Wandkar, S. V., Ukey, P. D., and Pawar, D. A., Determination of physical properties of soybean at different moisture levels, *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 138-142, 2012.