



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

Trabajo Final para optar al título de Especialista en Mecanización Agrícola

Evaluación del daño mecánico visible conferido por los sistemas de trilla a la semilla de soja.

Quirós, Pablo Javier

Ingeniero Agrónomo – Universidad de Buenos Aires – 2008

Lugar de trabajo: Cátedra de Maquinaria Agrícola FAUBA

Director

Eduardo L. Soza

-.2015.-

Resumen

En Argentina el cultivo de soja alcanzó, durante la campaña 2014-2015, un área implantada de 20,4 millones de hectáreas. Su cosecha se realiza durante los meses de otoño, por lo tanto las condiciones climáticas diarias se manifiestan con cambios durante la jornada de trabajo e inciden directamente sobre el estado del cultivo, produciendo variaciones en la calidad del producto entregado por la cosechadora. El parque de maquinaria disminuido en los últimos años, hace a un incremento de la capacidad de trabajo que se traduce en aumento de la velocidad de avance por parte de los operadores y por lo tanto de las velocidades de trilla, para cumplir con los objetivos propuestos. No hay suficiente información sobre las pérdidas en la calidad del grano generadas por los conjuntos de las cosechadoras. Esto reviste de importancia para determinar el tiempo de almacenaje que varía según el destino de la cosecha. Lo expuesto justificó la realización del presente trabajo, donde se evaluó la variabilidad del desempeño de cuatro cosechadoras con diferentes conjuntos de trilla, trabajando sobre un cultivo de soja, durante una jornada de trabajo y con diferentes regulaciones en sus sistemas de trilla, cuantificado su efecto a través de la rotura visible otorgado al grano. El trabajo constituye un aporte al análisis del daño que los diferentes sistemas de trilla y la incidencia de la variación de humedad le confiere al grano de soja en la cosecha. Todos los sistemas evaluados muestran existencia diferencial de daño en las variables analizadas. El comportamiento del sistema sin variador permitió ratificar cómo la variación de humedad del grano modifica la calidad del producto entregado. Existió dependencia en los resultados hallados: el contenido de humedad, el sistema de trilla y la velocidad tangencial con que trabajó cada sistema, se consideran factores determinantes en la calidad del producto entregado en cada caso. Se concluye sobre la importancia de la regulación del régimen de trilla acorde a las condiciones de cultivo y su posibilidad de incremento para el logro de una mayor capacidad de trabajo.

Palabras Clave: Cosecha de soja, Sistemas de trilla convencional, Sistema de trilla axial, Momento de cosecha, Humedad del grano.

Introducción

La producción de cultivos de granos tiene un papel preponderante en la actividad agrícola mundial. Con el crecimiento de la población humana, la demanda por los cultivos de cereales y oleaginosas aumentó, llevándolos a ocupar la mayor parte de la superficie sembrada en las áreas más productivas del mundo. En Argentina, el cultivo de soja incrementó la superficie implantada en forma sostenible, alcanzando durante la campaña 2014-2015 un total país de 20,4 millones de hectáreas (Bolsa de Cereales de Buenos Aires). Pero si se evalúa la situación existente en el norte de la provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe de una superficie de 6,3 millones de hectáreas cultivadas, aproximadamente el 90% del área se corresponde al cultivo de soja.

Esta constante ampliación del área implantada con cultivos anuales, genera una superposición en tiempo y espacio del momento óptimo para realizar las operaciones de cosecha y por lo tanto de la maquinaria utilizada para tal fin, situación que se ve agravada por la superposición de otros cultivos anuales competitivos en el tiempo, y por la creciente reducción dada en el parque de esta maquinaria (Pozzolo *et al.*, 2007). Si bien hubo un incremento de cosechadoras a partir de la campaña 2003, llegándose a comercializar en el año 2008 un total de 2017 unidades (Bragachini, 2011), luego se protagonizó un descenso importante durante el período 2010-2014, que alcanzó 1240 unidades vendidas en el año 2013 y tan solo 567 en los primeros tres trimestres del 2014 (INDEC). Surge de lo expuesto la escasez de máquinas para la recolección durante el momento óptimo de cosecha.

En cuanto a la composición del parque de cosechadoras, en los últimos años se incrementó la aceptación por parte de los consumidores la preferencia por las de tipo axial siendo un 68,5% en el año 2010, 8% las denominadas híbridas y 24,5% de convencionales (Bragachini *et al.*, 2010).

El grano durante la cosecha es susceptible a sufrir alteraciones que pueden afectar físicamente al embrión, a las estructuras de cobertura y a las sustancias de reserva contenidas en ambos cotiledones. Cualquier tipo de daño físico, afecta no sólo a la germinación, sino también a la producción de plántulas normales y directamente incide sobre la longevidad de la semilla o grano durante la etapa de pos cosecha (Garnero, 2012). Según Bragachini *et al.* (2012) los cultivos poseen un momento óptimo de cosecha, en el cual se reducen al mínimo las pérdidas y el daño ocasionado por causas climáticas y sanitarias, cosechar los granos con posterioridad

a ese momento óptimo, aumentan las posibilidades de que sufran algún tipo de lesión provocada por el trabajo de la cosechadora.

El impacto del daño ocasionado a los granos es motivo de interés para su investigación, debido a la alteración que se incurre durante la cosecha, manipuleo y movimientos de pos cosecha. Diversos investigadores han estudiado el impacto del daño testeando diversas semillas. Muchos estudios se han conducido al respecto, entre los que se pueden mencionar: Fraczek and Slipek (1998) en maíz, Szwed and Lukaszuk (2007) en colza y trigo, Khazaei *et al.* (2008) en maíz, Shahbazi (2011) en garbanzo, Shahbazi *et al.* (2011a) en poroto común, Shahbazi *et al.* (2011b) en poroto alubia y Shahbazi *et al.* (2012) en trigo.

En referencia al tratamiento que le otorga al grano de soja la tarea de cosecha, de la revisión bibliográfica también surgen diversos antecedentes sobre el daño ocasionado, pero los resultados hallados no son concluyentes.

Saugakkara (1988) informa que, una vez cosechado el cultivo, la fase de manejo en pos cosecha tiene como objetivo mantener el buen estado del producto hasta su comercialización o utilización industrial. Al respecto, Garnero (2012) reporta que los daños causados durante la operación de cosecha infieren mayores pérdidas en pos cosecha, producto de una reducción cuantitativa y/o cualitativa, susceptible de ser medida directamente en los granos o indirectamente por su depreciación. Semejante expresión es la de El Abady *et al.* (2012) quienes indican que el grano de soja, como la mayoría de los granos de cereales, disminuye su calidad cuando es cosechado.

Picket (1973) al cuantificar el daño mecánico en semillas de soja durante el proceso de cosecha, donde evaluó el efecto a diferentes velocidades de trilla, en un rango comprendido entre 7,2 a 15,2 m.s⁻¹ y entre 15,7% a 22,7% de humedad; encuentra un incremento consistente en el daño a la semilla ante incrementos del régimen de trilla y disminución del contenido de humedad.

Saini *et al.* (1982) reportan que la pérdida de la viabilidad de las semillas obtenidas por trilla manual y trilla a 300 rpm fue similar, no encontrando diferencias significativas. Mientras que las semillas obtenidas a 400 rpm y 500 rpm mostraron relativamente mayor pérdida de viabilidad y vigor en el almacenamiento, siendo a 500 rpm donde se originó el mayor daño mecánico.

França Neto y Krzyzanowski (2000) mencionan que el deterioro a las semillas provocado por humedad excesiva, incrementa el índice de daño mecánico en la cosecha, al volverlas extremadamente vulnerables a los impactos; ya que desde el punto de vista morfológico el embrión

está cubierto por un delgado tegumento, que le confiere baja protección contra choques y abrasiones (França Neto y Henning, 1984).

Rollan *et al* (2001), declaró que la mala calidad de la semilla de soja puede ser debido a la fisiología, a causas patológicas o mecánicas; mientras que Shelar (2002), informa que la semilla de soja trillada y procesada por la máquina cosechadora había perdido viabilidad rápidamente en comparación con la semilla trillada por proceso manual.

Pozzolo *et al.* (2007) al evaluar dos sistemas de trilla (convencional vs axial); concluyen, en referencia al daño a la semilla, que el sistema axial presentó mejoras significativas en el tratamiento al grano cosechado. Y recomiendan realizar nuevos trabajos en ésta línea sobre cultivos de mayor rendimiento y/o aumentos en el índice de alimentación.

Vieira *et al.* (2006) al estudiar la calidad de las semillas de soja cosechada por una cosechadora axial, no encontró ningún efecto de la velocidad de avance en el daño de semillas a la soja.

Rodrigues da Cunha *et al.* (2009b) al trabajar con dos velocidades de avance encontraron que la mayor velocidad de desplazamiento proporcionó mayor porcentaje de grano dañado, atribuyendo sus resultados al mayor ingreso de material.

Shelar (2008) expresa que la semilla de soja se ve afectada por el proceso de cosecha, donde en esa operación es sometida a sucesivos impactos con elementos metálicos y complementa el concepto Paulsen *et al.* (1981) quienes, al respecto, mencionan movimientos bruscos como aceleraciones y descarga a alta velocidad como elementos que también afectan a todo tipo de granos.

Posterior a la trilla, separación y limpieza, el grano es transportado a la tolva por norias de cangilones, las cuales según Parde *et al.* (2002) dichos elevadores disminuyen significativamente la germinación y aumentan las fracturas y daños en la cubierta del grano. Además los autores reportan que lotes de semillas con 12% humedad (base seca), han sufrido menos pérdida en la calidad de la semilla que los lotes de 10% y 11% de humedad.

Shelar (*op. cit.*), al realizar una revisión sobre el daño a la semilla de soja, expresa que la calidad de la semilla se ve afectada durante los periodos de pre y post cosecha; y que las semillas son altamente susceptibles a daños mecánicos y daños que ocurren durante el manejo en pos cosecha. La proporción de granos quebrados y/o partidos durante el proceso de secado aumenta, debido a la contracción del grano que crea tensiones internas que provocan la fisura o rotura de su tegumento, quedando debilitado y fácil de desprender una vez seco. Estos procesos dejan los cotiledones frágiles y expuestos a la acción de las altas temperaturas y microorganismos presentes en el granel (Garnero, 2012).

Para la cosecha de éste cultivo existen en el mercado cosechadoras con dos sistemas de trilla, unas con sistema de trilla tangencial, constituido por un cilindro-cóncavo dispuesto en forma transversal a la dirección de avance de la máquina, también conocidas como sistema convencional, las cuales son las más ampliamente difundidas en el país (Bragachini y Peiretti, 2005), y las cosechadoras con sistema de flujo axial cuyo rotor y cóncavo, en general, se encuentran posicionados longitudinalmente a la dirección de avance de la máquina. Ambos pueden producir diferentes tipos de efectos sobre las cualidades fisiológicas de los granos a ser utilizado como simiente (Marcondes *et al.*, 2005)

En ambos sistemas la greña ingresa por la parte anterior del conjunto y por la acción de un proceso de impacto y frotamiento se produce la separación de los granos de sus envolturas (Kydd, 1980), lo que puede afectar sus estructuras esenciales y por lo tanto aumentar la susceptibilidad a la acción de microorganismos y reducir el poder germinativo (Paiva *et al.*, 2000). Al respecto Rodrigues da Cunha *et al.* (2009a) expresan que en el sistema de trilla convencional, por el menor tiempo de permanencia del material en la trilla es sometido a impactos muy agresivos.

El daño a la semilla por impacto depende de un conjunto de variables como la velocidad de impacto, las características estructurales de semillas, el contenido de humedad al momento de cosecha, la etapa de madurez, y el error de la maquinaria en su regulación; según lo antedicho estos factores influyen en el daño mecánico (Baryeh, 2002; Parde *et al.* 2002; Shahbazi *et al.* 2012). Según Paiva *et al.* (2000) el daño mecánico generado en el proceso de cosecha trae aparejado un mayor deterioro durante el almacenaje y desmejora la calidad industrial o como semilla.

De los antecedentes revisados surge la importancia de continuar la investigación en la resolución de los problemas surgidos del proceso que la máquina cosechadora realiza bajo diferentes condiciones de cosecha y a diferentes regímenes de trilla.

Considerando la importancia de los daños mecánicos y la frecuencia de ocurrencia en el proceso de producción de semillas, en éste trabajo se verificará el efecto de cuatro tipos de sistemas de trilla que equipan a las cosechadoras actuales de nuestro país.

Justificación

La producción del cultivo de soja tiene un papel preponderante en la actividad agrícola Argentina, este incremento en producción requiere de evaluaciones que hagan al estudio de las fuentes de variación intervinientes durante el proceso de cosecha. La humedad y temperatura varían a lo largo de la jornada de trabajo, generando condiciones de cultivo diferentes; éstas, según la bibliografía, modifican la susceptibilidad del grano al daño producido fundamentalmente por los sistemas de trilla. El incremento de régimen de trilla permitiría aumentar la capacidad de trabajo y con ello mitigar la escasez de cosechadoras, pero no hay que perder de vista el daño que ese incremento le puede otorgar al grano.

El realizar la cosecha en forma ineficiente, traslada el problema a las etapas de pos cosecha. Si se parte de un grano deteriorado por la demora para su recolección, más el daño mecánico otorgado por la cosecha, todo redundará en condiciones de almacenaje deficientes. Estas incrementan las pérdidas de calidad, producto de una mayor acción de microorganismos aeróbicos y/o anaeróbicos dependientes del sistema de conservación a utilizar. Por lo tanto, el daño producido amerita su cuantificación, para realizar las regulaciones pertinentes en el logro de una mayor eficiencia del trabajo.

Lo expuesto justificó la realización del presente trabajo, donde se evaluó la variabilidad del desempeño de cuatro cosechadoras con diferentes conjuntos de trilla: i) sistema convencional sin variador de régimen, ii) sistema convencional con variador de régimen iii) convencional con acelerador iv) sistema axial, todas trabajando a lo largo del día.

Objetivo

Evaluar el daño mecánico visible del grano de soja con variaciones en el contenido de humedad en cuatro sistemas de trilla y diferentes regulaciones de la velocidad tangencial.

Hipótesis

Para el cumplimiento del objetivo propuesto se plantean las hipótesis sobre la existencia de la ocurrencia de daño por parte de los sistemas de trilla evaluados al momento de la cosecha y que su magnitud depende de las condiciones de cultivo, sistema de trilla utilizado y regulación del mismo por parte del operador.

De lo expuesto se desprenden las siguientes hipótesis de trabajo conferido al grano cosechado:

- a. El daño es dependiente de la humedad de cosecha.
- b. El daño es dependiente de la velocidad tangencial de trilla.
- c. El daño es dependiente del sistema de trilla utilizado.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en cuatro lotes, en correspondencia con cada cosechadora, donde cumpliendo con el planteo agrícola en todos se cosechó soja de primera fecha de siembra, todos implantados mediante la técnica de siembra directa, al igual que los cultivos antecesores.

El hecho de disponer de las cosechadoras en los establecimientos permitió realizar la cosecha en el momento oportuno y posibilitar la toma de muestras de semilla a diferentes regímenes y humedades.

A continuación se detalla la ubicación de los lotes donde se realizó la recopilación de datos e identificación y características de las máquinas utilizadas.

(I) Lote 1: cercano a la localidad de Carlos Keen, partido de Luján, provincia de Buenos Aires, 34° 24' S; 59° 13' W, superficie del lote 29 ha. El cultivo fue implantado durante la última semana de octubre utilizando para tal fin la variedad MG 5009RG. En él se utilizó una cosechadora con un sistema de trilla convencional, con motor Deutz de 160 hp a 2800 r.p.m., modelo 1991. La máquina no posee variador continuo de régimen, sino que para realizar esa modificación cuenta con una o varias ruedas dentadas que mediante su cambio manual modifican la relación de transmisión existente entre el motor y el eje del cilindro, lo cual se traduce en una importante pérdida de tiempo que no siempre el operador este dispuesto a asumir.

El cilindro de trilla se encuentra alojado en disposición transversal al sentido de avance de la máquina, en él van alojadas ocho barras dispuestas equidistantes una de las otras, colocadas radialmente en el contorno externo de la circunferencia del cilindro, el mismo cuenta con un diámetro de 510mm y la una longitud de 1200mm.

El cóncavo está constituido por 11 barras y cuenta con un ángulo envolvente al cilindro de 110°, lo que permite definir un área de trilla de 0,73 m² para esta máquina.

(II) Lote 2: en la localidad de San Andrés de Giles, Provincia de Buenos Aires, a 34° 28' 48'' S y 50° 20' 25'' W, la superficie del lote era de 65 ha. La variedad utilizada fue DM 4870. La recolección se realizó con una cosechadora con sistema de trilla convencional con variador, motor diésel 4 tiempos, 6 cilindros turboalimentado con una potencia de 185 hp a 2400 r.p.m., modelo 2004. El variador continuo de régimen es Torquefull de 530 a 1.300 r.p.m., accionado eléctricamente desde la cabina, permitiendo la continua regulación de la misma ante cambios en las condiciones del material, lo cual se traduce en una insignificante pérdida de tiempo en su regulación.

El cilindro de trilla de alta inercia: 310 kg de peso, se encuentra alojado en disposición transversal al sentido de avance de la máquina, en el van alojadas ocho barras dispuestas equidistantes una de las otras, colocadas radialmente por sobre el contorno externo de la circunferencia del cilindro, el mismo cuenta con un diámetro de 520mm y la una longitud de 1250mm.

El cóncavo está constituido por 9 barras de abertura regulable y cuenta con un ángulo de envolvente al cilindro de 103°, lo que termina de definir un área de trilla de 0,60 m² para esta máquina.

(III) Lote 3: en cercanías a la localidad de Del Valle, partido de 25 de Mayo, provincia de Buenos Aires, a 35° 55' 48" S; 60° 46' 10" W, la superficie del lote 45 ha. La variedad utilizada DM 4670. Para la recolección se utilizó una cosechadora con sistema de trilla denominado convencional, motor diésel 4 tiempos, 6 cilindros turboalimentado con una potencia de 227 hp a 2200 r.p.m., modelo 2008. La máquina posee un variador continuo de régimen de 650 a 1.500 r.p.m., accionado eléctricamente desde la cabina, permitiendo la continua regulación de la misma ante cambios en las condiciones del material, lo cual se traduce en una insignificante pérdida de tiempo en la regulación para el operador. El sistema de trilla cuenta con la tecnología APS que permite la aceleración del material cosechado delante del cilindro trillador, producto de la acción de un cilindro de menor diámetro, que en conjunto con un pre cóncavo situado debajo del mismo, permite la realización de una preseparación del material ingresado. El cilindro de trilla se encuentra alojado en disposición transversal al sentido de avance de la máquina, en el van alojadas ocho barras dispuestas equidistantes una de las otras, colocadas radialmente por sobre el contorno externo de la circunferencia del cilindro, el mismo cuenta con un diámetro de 450mm y la una longitud de 1320mm.

El cóncavo está constituido por 9 barras y cuenta con una ángulo de abrace al cilindro de trilla de 151°, que sumado a los 84° del pre cóncavo del órgano acelerador, terminan de definir un área de trilla y pre separación de 1,07 m² para esta máquina.

(IV) Lote 4: situado a 10 km de la ciudad de Bragado, en el centro noroeste de la provincia de Buenos Aires, a 35° 03' 45" S; 60° 30' 53" W, la superficie del lote 50 ha. La variedad utilizada Biosoja 4.60. En la cosecha del mismo se utilizó una cosechadora con sistema de trilla y separación de las denominadas de flujo axial, con un motor diésel 4 tiempos, 6 cilindros turbo post-enfriado con una potencia nominal de 350 hp a 2100 r.p.m., modelo 2011. La máquina posee un variador continuo de régimen de 175 a 970 r.p.m., accionado hidrostáticamente des-

de la cabina, permitiendo la continua regulación de la misma ante cambios en las condiciones del material, lo cual se traduce en una insignificante pérdida de tiempo en la regulación para el operador. El sistema de trilla constituido principalmente por un rotor axial dispuesto longitudinalmente al sentido de avance, en el van alojadas un conjunto de pequeñas barras trilladoras dispuestas equidistantes una de otras, colocadas en forma radial y con disposición en espiral, por sobre el contorno externo de la circunferencia del rotor, el mismo cuenta con un diámetro en el sector de trilla de 700mm y una longitud de 1390mm y un largo total de 3560mm.

El cóncavo está constituido por un conjunto de 27 barras con 7 secciones y cuenta con un ángulo de abrace al rotor de trilla de 167°, definiendo un área de trilla de 1,42 m² para esta máquina.

En la **Tabla 1** se presentan las dimensiones de los cilindros de trilla utilizados, los regímenes de trabajo y con ambos datos se calculó las velocidades tangenciales resultantes que actuaron sobre los granos, se precisa que en la cosechadora convencional sin variador se utilizó un solo régimen debido a que, al no poseer variador, se dificultaba el cambio de régimen y además el tiempo insumido para realizar tal modificación hubiera llevado a cambios de humedad del cultivo.

	Diámetro del cilindro (mm)	Régimen (r.p.m.)			Velocidad tangencial (m.seg ⁻¹)		
Convencional s/variador	510	570			15,21	-----	-----
Convencional c/variador	520	600	750	900	16,32	20,41	24,5
Convencional c/acelerador	450	800	900	1100	18,84	21,19	26,0
Flujo axial	700	520	650		19,05	23,81	-----
Tabla 1. Características del sistema de trilla, dimensiones, regímenes y velocidades tangenciales de trabajo.							

Para la elección de los regímenes de trilla se recurrió a información bibliográfica como fuente de recomendación y a la experiencia “*in situ*” de los operadores de acuerdo a la condición de cultivo, surgiendo el régimen modal y sobre dicha base se asumió uno o dos regímenes superiores. Así mismo la hora de inicio de cosecha fue cuando se consideró que la humedad se encontraba en valores razonables para su entrega y comercialización.

El delineamiento experimental comprendió la evaluación del producto procesado a través de la detención de las cosechadoras en tres momentos del día: al inicio (**H°1**), promediando

(H°2) y finalizando la jornada (H°3); salvo en el caso del conjunto sin variador donde, al no poder realizar modificación de régimen, se tomaron muestras en cinco momentos del día (H°4) y (H°5). En todos los casos y en coincidencia con la descarga de la máquina, se procedió a la toma de cuatro muestras de grano de la tolva para evitar la acción del tornillo sinfín de descarga.

Los tratamientos realizados a cada cosechadora surgen de la confrontación del producto obtenido de cada humedad del grano y las velocidades tangenciales de trilla correspondientes.

En cada detención se midió la humedad de las muestras, se pesaron y guardaron en bolsas de papel debidamente identificadas, para luego continuar en laboratorio con los análisis del daño mecánico visible.

El trabajo en laboratorio comprendió la limpieza y clasificación, utilizando para ello una rampa helicoidal, un plano inclinado y un conjunto de tres zarandas de orificio calibrado. Para retirar las impurezas se recurrió a un dispositivo generador de viento direccionado, el cual actuó por diferencia de peso específico; obteniéndose de esta manera semilla homogeneizada y limpia pero con variaciones en su calidad dependiendo del tratamiento previo otorgado.

La evaluación de la rotura visible se realizó siguiendo el método tradicional para averiguar la posible ocurrencia de daño mecánico a la semilla. Si bien no existe una metodología estandarizada para su detección, la descrita por Bashford (1993) es la que cuenta con mayor difusión. Quien define por semilla rota a aquella fracción menor o igual a la mitad, y la forma de cuantificar la ocurrencia de dicho daño es mediante la relación porcentual del peso de las semillas rotas respecto del peso total de una muestra predeterminada.

En la **Tabla 2** se transcriben, respecto a los sistemas utilizados, la evolución de la humedad a las diferentes horas de la jornada de trabajo.

Sistema de trilla	Variedad	Humedad (%)				
		H°1	H°2	H°3	H°4	H°5
Convencional s/variador	5009RG	15,4	14,6	13,5	12,4	11,5
Convencional c/variador	DM4870	14,0	13,0	11,0	-----	-----
Convencional c/acelerador	DM4670	15,0	14,4	13,4	-----	-----
Flujo axial	Biosoja4.60	14,6	13,2	12,2	-----	-----

Tabla 2. Variedad de soja y registro de humedad del grano presente en cada sistema de trilla, correspondiente a cada hora de evaluación.

Los datos obtenidos de cada máquina se contrastaron entre si por medio de ANVA y test de Tukey, de forma de poner en evidencia el o los tratamientos que difieren significativamente en las variables respuesta de la calidad del grano trillado; mientras que el comportamiento de

los sistemas durante la jornada se caracterizó a través de la correlación entre las variables estudiadas y se representa por la ecuación que presentó el mayor ajuste. Para éstos análisis se utilizó el programa InfoSTAT/L (2011).

Resultados y discusión

I. Sistema de trilla convencional sin variador de velocidad.

En el **gráfico 1** se transcriben los resultados del análisis de las muestras del presente sistema, donde se relaciona la rotura visible en función de las variaciones de humedad registradas a lo largo de la jornada de trabajo.

En él se visualiza una existencia muy significativa en el tratamiento al grano cosechado ($p < 0,0001$) ante variaciones de humedad que sólo oscilaron entre 0,8% y 1,1%; le corresponde una variación en el daño de entre 2,30% al 4,89% respectivamente. Si se hace referencia a la diferencia total esto significa que una disminución del 3,9% en la humedad, generó un incremento en el daño de 13,5%. En cuanto a los valores registrados, al inicio de la recolección el sistema dañaba un 2,18%, y fue en incremento durante la jornada, para finalizar con un 15,68% de daño.

En virtud a la presencia durante la operación de cosecha, se observó la existencia de una influencia del sistema de captación y conducción, donde ante una disminución progresiva del contenido de humedad de la greña, se producía un incremento notable de la cantidad de grano separado de sus envolturas, hecho que posibilita el impacto directo sobre el grano desprotegido durante el proceso de trilla y que posiblemente tenga injerencia en la mayor cantidad de daño encontrado bajo esta situación.

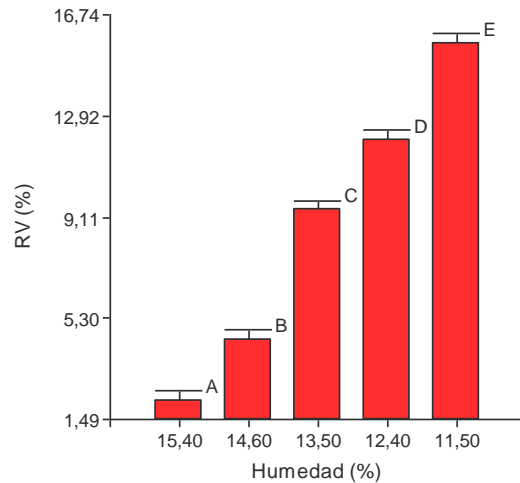


Gráfico 1: Rotura visible (RV) en función de la humedad del grano, letras mayúsculas indican significancia, Tukey ($p < 0.05$).

Efectuado el análisis de regresión (**gráfico 2**) donde se relacionó la rotura en función de la humedad presente, teniendo en cuenta que todas las determinaciones fueron a la misma velocidad de trilla, surge una fuerte correlación entre variables ($R^2=0.956$). Se visualiza para éste ensayo un incremento lineal del daño ante pequeñas variaciones en la humedad; debe destacarse la uniformidad en el trabajo de la trilla, manifestado por el coeficiente de variación de todas las muestras, ya que el mismo fue del 11,79%, considerándose bajo para trabajos de campo.

Complementariamente puede atribuirse la uniformidad a que fue el sistema que trabajó a la menor velocidad tangencial del cilindro ($15,2 \text{ m.s}^{-1}$), y aunque el recorrido del material dentro del cilindro cóncavo no es el mayor (490mm), supone un tiempo adecuado para el trabajo de trilla, pudiendo llegar a ser excesivo si lo comparamos con el resto de las máquinas, al considerar que el cóncavo posee el mayor número de barras (11) de los ensayados y el material puede ser expuesto a mayor números de impactos pero de menor agresividad.

Estos resultados constituyen un aval a la importancia de poseer variador continuo de régimen en la cosechadora y que el operador realice los ajustes necesarios para mantener una agresividad suficiente en la trilla pero cuidando la calidad del producto procesado.

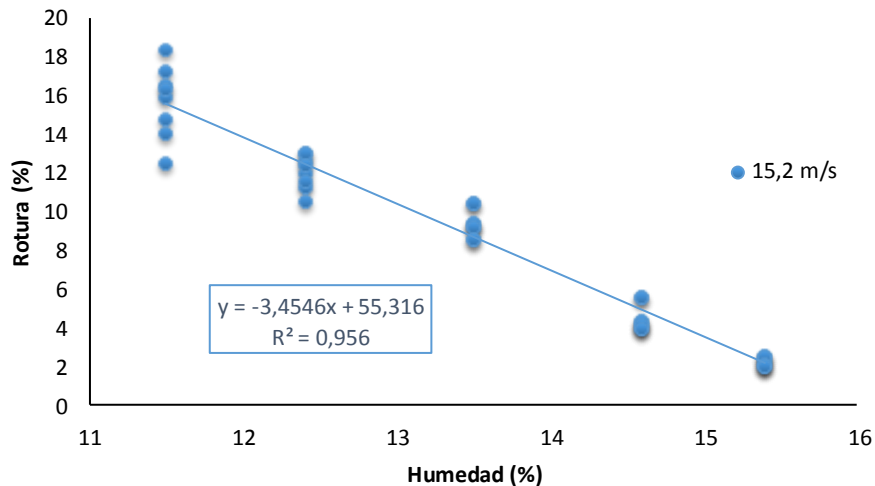


Gráfico 2: Regresión entre la rotura visible (RV) y la humedad del grano para la máquina sin variador de velocidad.

II. Sistema de trilla convencional con variador de velocidad.

El **gráfico 3** muestra los valores medios de rotura obtenidos durante el día en cada velocidad tangencial de trabajo para éste sistema. De él se desprende que, independientemente de los cambios de humedad, se presenta un incremento significativo ante incrementos en las velocidades de trilla ($p < 0,0001$).

En éste ensayo a $16,3 \text{ m.s}^{-1}$ el daño fue de 2,65% y a $20,4 \text{ m.s}^{-1}$ fue de 3,65%, lo que indica un incremento del 1%, pero cuando se trabajó a $24,5 \text{ m.s}^{-1}$ el incremento fue del 2,11% sobre el anterior, o sea que ante incrementos iguales de velocidad el daño se incrementa en forma exponencial ya que un 25% de incremento de velocidad significó un 1% en el daño, mientras que un segundo incremento del 20% resultó en 2,11% de incremento.

Surge de éste análisis que al trabajar a $20,4 \text{ m.s}^{-1}$ se aumenta la capacidad de trilla y por ende la capacidad de trabajo de la máquina, con lo cual al ser aceptable el porcentaje de daño, sería de recomendar la utilización de ésta velocidad para realizar la operación indicada.

El daño visible medio del conjunto a cada una de las humedades registradas durante la jornada de trabajo (**gráfico 4**) se observa la inexistencia de significancia cuando la humedad descendió del 14% al 13%; pero cuando descendió al 11% o sea una disminución del 2%, el daño en promedio se incrementó significativamente en un 3,93%. Por lo tanto, para las condiciones de éste ensayo, cuando la humedad decreció del 13% aumentó considerablemente el daño, lo que llevaría a una modificación de los parámetros que mecánicamente inciden en la agresividad de trilla.

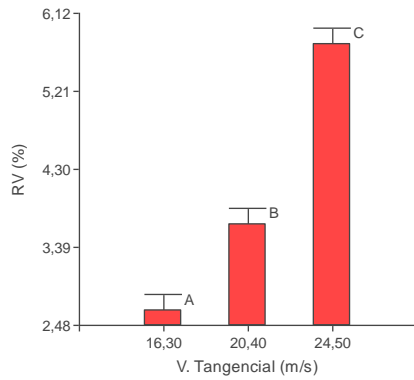


Grafico 3: Rotura visible (RV) en función de la Velocidad del cilindro trillador. Letras mayúsculas indican significancia, Tukey ($p < 0,05$).

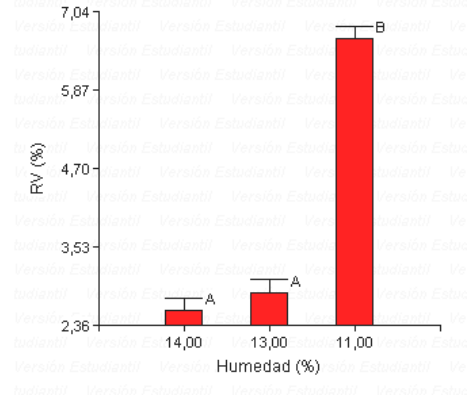


Grafico 4: Rotura visible (RV) en función de la humedad de cosecha. Letras mayúsculas indican significancia, Tukey ($p < 0,05$).

Del análisis conjunto de los **gráficos 3 y 4** surge que los granos fueron más susceptibles a incrementos de la velocidad tangencial que a variaciones del contenido de humedad; resultados esperables en virtud a que ante incrementos de la velocidad del cilindro se aumenta exponencialmente el número de impacto, y disminuye la posible incidencia del frotamiento en el daño causado. Se debe destacar que éste sistema, es el que presentó el cóncavo con menor número de barras (9) y menor recorrido del material dentro del cilindro (467mm), lo que supone un menor tiempo de permanencia del material dentro del sistema y hace a la necesidad de aumentar la velocidad para su compensación.

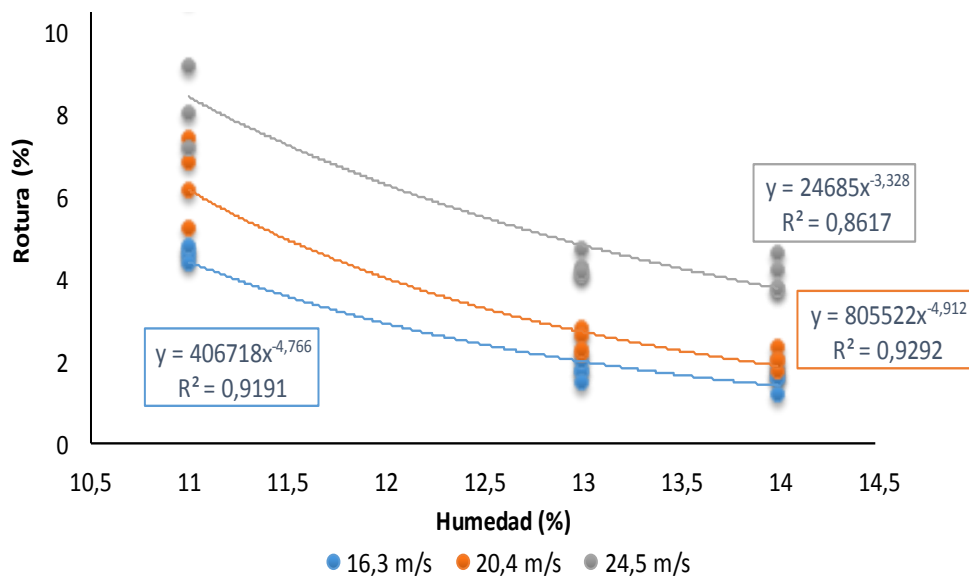


Grafico 5: Ajuste entre la rotura visible (RV) y la humedad del grano para la maquina con variador de velocidad de trilla.

En el **gráfico 5** puede observarse como ante un incremento en las velocidades tangenciales del cilindro, la rotura visible incrementa el porcentaje en el granel ante disminución de la humedad.

Los resultados y sus tendencias constituyen valores esperables, ya que a incrementos de velocidad y disminución de la humedad se corresponde mayor daño producido, el cual respondió a un incremento exponencial en todas las velocidades ensayadas y la alta correlación entre las variables son indicativos del comportamiento uniforme del sistema.

La mayor variación muestral se observó con la menor humedad (11%) y a la mayor velocidad ($24,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), atribuyéndose los resultados a la conjunción del aumento del número y fuerza de impacto conferido a los granos, en conjunto con la menor amortiguación que le confiere el resto de la greña, traduciéndose en mayor daño y desuniformidad, también se debe reconocer que mayor velocidad implica realizar el trabajo en menor tiempo.

Efectuado el análisis de correlación y el correspondiente ajuste a diferentes funciones, para las tres velocidades ensayadas, el mayor ajuste se correspondió a una función exponencial. De dichas funciones se desprende que a medida que desciende la humedad del grano las velocidades de $20,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y $24,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ tienden a generar cuantitativamente el mismo incremento de daño, y refuerzan los conceptos anteriores en cuanto a que con el grano seco el efecto de los impactos se manifiesta en mayor magnitud. Pero con tenor de humedad por encima de 14%, el daño tiende a igualarse entre las velocidad de $20,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y $16,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, demostrándose cómo la greña húmeda actúa amortiguando los posibles daños causados por los impactos.

En cuanto a la velocidad de $16,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ sería la recomendable para recolectar un grano seco; pero en situación de contenidos de humedad superiores a 14%, por el comportamiento de éste sistema sería $20,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ el recomendado para iniciar el trabajo, para luego ante disminución de la humedad a medida que transcurre la jornada, recurrir a la reducción de la velocidad de trilla. Resultados que demuestran la conjunción entre la humedad del grano y determinados regímenes de trilla respecto a su incidencia en los resultados, también se avala la importancia de la modificación del régimen del cilindro ante las variaciones de humedad que se va registrando durante la recolección.

Destacándose que, para las condiciones presentes de éste estudio, el comportamiento del sistema fue mejor que el anterior, y ejemplifica el beneficio de poder adecuar rápidamente la velocidad de trilla a las condiciones de humedad del cultivo sin generar pérdidas de tiempo.

III. Sistema de trilla convencional con acelerador.

Para el presente sistema, el **gráfico 6** presenta su comportamiento ante los diferentes contenidos de humedad en grano. Se desprende de él que, al igual a los sistemas anteriores, a mayor humedad fue menor el daño conferido al grano ($p < 0,0001$), presentando una diferencia muy significativa ante sólo una disminución de la variable del 0,6%; pero no constituye un resultado esperable su comportamiento ante el grano más seco (13,4% de humedad) por lo que surge el supuesto de la incidencia de otro factor como responsable del resultado.

La observación del resultado obtenido a las velocidades tangenciales ensayadas (**gráfico 7**), la significancia ($p < 0,0001$) constituye una tendencia esperable; y de su análisis surge que sobre el régimen modal ($19,0 \text{ m.s}^{-1}$) un incremento del 11,57% del régimen representó un 24,2% más de daño, pero si se tiene en cuenta los valores absolutos éste significó un 1,08% más de daño. Mientras que de la confrontación de las dos velocidades superiores, muestra que una velocidad superior al 22,64% se tradujo en un incremento de 74,5% más de daño; lo que significó en términos de daño un 4,13%, que si se toma como referencia la velocidad modal (4,46%) se obtuvo una diferencia de 5,21% o sea que un 36,84% de incremento de velocidad se tradujo en 116,8% de aumento de daño.

De ambos gráficos, y ante la significancia de los resultados, surge la interacción ($p < 0,0087$) en el tratamiento otorgado a los granos por éste sistema ante variaciones de humedad del grano y variaciones de velocidad de trilla. Estos resultados son atribuibles a que, de los sistemas convencionales, éste es el que presenta el cóncavo con mayor ángulo de envolvente al cilindro (151°) y a ello debe adicionarse 84° del acelerador, por lo que el recorrido máximo que el grano puede realizar es de 811 mm (219 mm del acelerador y 592 mm del cóncavo), por lo tanto a una determinada velocidad de trabajo el material permanecería más o menos tiempo sometido al efecto de trilla, dependiendo con que contenido de humedad se encuentre. Si se considera que el número de barras del cilindro es ocho y del cóncavo nueve, estas no difieren sustancialmente de los sistemas anteriores y en consideración al mayor recorrido, se presenta el supuesto del efecto de fricción como responsable adicional a dichos resultados; aseveración que surge de la interacción de factores entre las variables velocidad y humedad que presentó el análisis de varianza. Al reflexionar sobre los antecedentes discurre el concepto de que el grano húmedo, por sus estructuras, es más sensible a la fricción y el grano seco al impacto, combinándose ambos efectos en éste sistema.

Ante lo expuesto, es que se explica la gran diferencia y, por lo tanto, la sensibilidad del sistema a cambios en la velocidad de trilla sobre la calidad del grano cosechado, con independencia de la humedad.

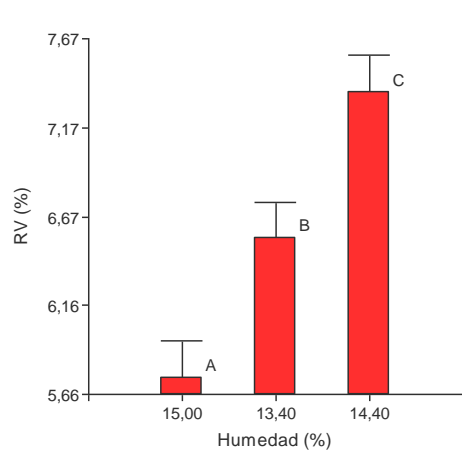


Gráfico 6: Rotura visible (RV) en función de la humedad del grano a cosecha. Letras mayúsculas indican significancia, Tukey ($p < 0.05$).

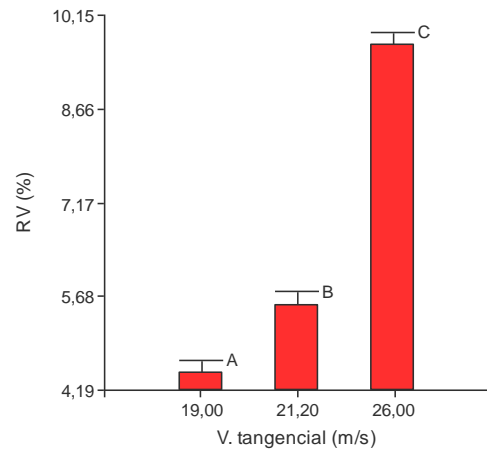


Gráfico 7: Rotura visible (RV) en función de la Velocidad del cilindro trillador. Letras mayúsculas indican significancia, Tukey ($p < 0.05$).

El **gráfico 8** muestra la evolución del daño ocasionado al grano ante la variación de las dos variables analizadas.

Constituye un resultado esperable el hecho del régimen modal al exhibir el menor daño ante la variación de humedad respecto a los regímenes superiores. La velocidad de $21,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ aumentó el daño, pero en virtud a la hipérbola resultante demuestra una menor incidencia de la humedad en el daño conferido al grano respecto a la velocidad modal. La velocidad de $26,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ conjunto con la mayor incidencia del factor humedad, resultó ser la de mayor daño en promedio causado, hecho esperable, representado por la ecuación característica y correspondiente a su ajuste.

Dado que para el comportamiento de este sistema, en todas las velocidades ensayadas, el daño respondió a una función hiperbólica muestra un efecto cuadrático que evidencia la existencia de diversos factores que interactúan durante el proceso de trilla de ésta máquina.

Al respecto surge que al inicio de la cosecha con un cultivo más húmedo, éste requiere de mayor agresividad de trilla en virtud a la dificultad de separar el grano de la greña, implica que una mayor proporción del grano se liberaría por mayor impacto en el área del cilindro y cóncavo donde por la presencia de las barras trilladoras prevalece el impacto por sobre la fric-

ción pero conjugando el mayor recorrido (592 mm) y el alto tenor de humedad se amortiguara el efecto.

Ante el descenso de humedad a 14,4 % es donde se obtuvieron, para todos los regímenes, los mayores valores de daño, resultado no esperable. Del análisis del trabajo que realiza el sistema y en consideración a las variables intervinientes durante la trilla, surge el supuesto que ante ésta condición se incrementa el efecto de impacto producto de una mayor incidencia del cilindro-cóncavo en la operación de separación de los granos del resto de sus envolturas, en el cual la velocidad repercute exponencialmente sobre el daño al material trillado.

Cuando desciende la humedad, en especial de éste cultivo, los granos durante la captación y transporte tienden a separarse con mayor facilidad de sus envolturas, hecho visualizado en un incremento de la presencia de granos sueltos ingresando al sistema. En adición la existencia del acelerador de material que posee un recorrido de 219 mm sobre un pre cóncavo abierto, actúa contribuyendo a través del frotamiento sobre la proporción de granos que no ingresaría al sistema de trilla, siendo ésta otra posible causa del menor daño ocasionado.

Del análisis de los resultados surge que trabajar a 26 m.s^{-1} es una velocidad muy excesiva para éste cultivo y cuyos resultados presentan la mayor dependencia a los cambios de humedad, descartándose como velocidad recomendable para trabajar.

A la velocidad de $21,2 \text{ m.s}^{-1}$ no se superó en ninguna condición de humedad el 6% de daño y presentó el comportamiento más estable, surge como recomendación de trabajo realizar una disminución de velocidad ante una disminución del 0,6% de humedad, y promediando la jornada de trabajo ante una disminución del 1% retomar ésta velocidad de trilla. En consideración a que la máquina posee variador de velocidad ésta regulación es factible de realizar sin pérdida de tiempo.

En cuanto al régimen modal (19 m.s^{-1}) es el que presentó el menor daño, pero también se visualiza la existencia de la interacción entre factor humedad y velocidad tangencial, atribuyéndose éste a la presencia del acelerador donde, según información, en él se eliminaría alrededor de un 20% del grano, valor que no sería constante en virtud a los análisis realizados y fragilidad del grano de soja a separarse de las envolturas protectoras que lo contiene.

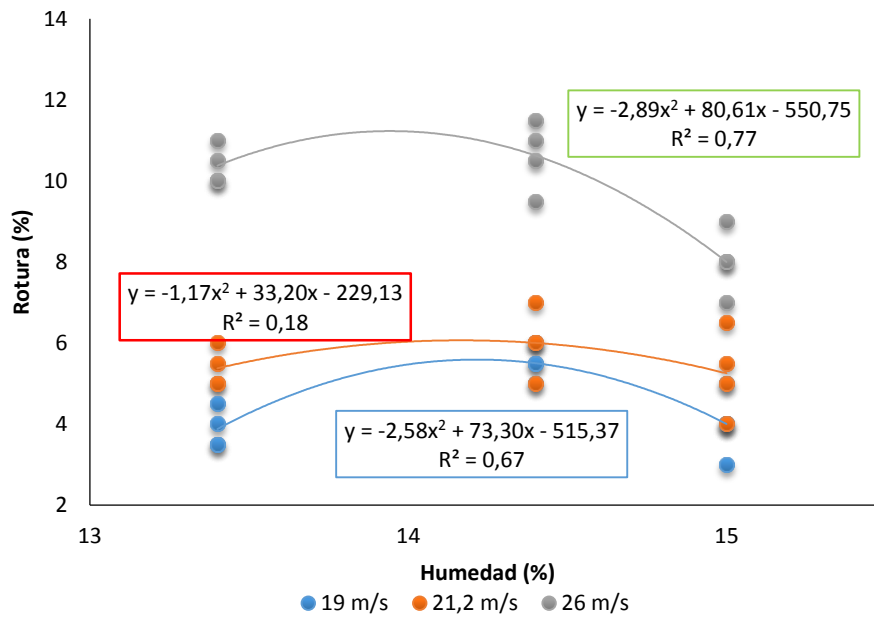


Gráfico 8: Ajuste entre la rotura visible (RV) y la humedad del grano para la maquina con variador y acelerador de material.

IV. Sistema de trilla axial.

En el presente sistema, en el **gráfico 9** se observan los resultados del tratamiento otorgado al grano ante los tres tenores de humedad del cultivo, mostrándose un incremento significativo ($p < 0,0001$) ante la disminución de humedad, hecho que se considera esperable a partir de los resultados de los sistemas ya evaluados. Es de destacar que al inicio de la recolección, con independencia del régimen de trabajo el daño fue inferior al 2% por lo que se reporta el menor daño hallado. Pero la disminución de un 1,4% y 2,6% del contenido de humedad causó un incremento considerable del 2,82% y 5,02% respectivamente más de daño.

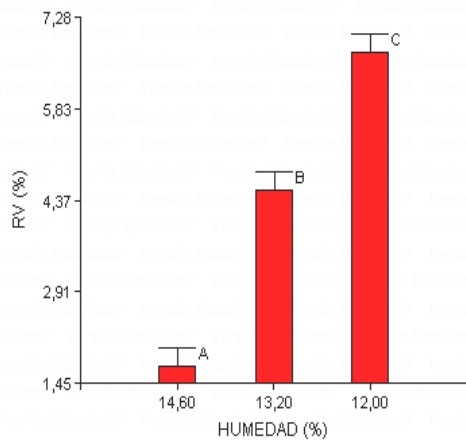


Grafico 9: Rotura visible (RV) en función de la humedad del grano a cosecha. Letras mayúsculas indican significancia, Tukey ($p < 0.05$).

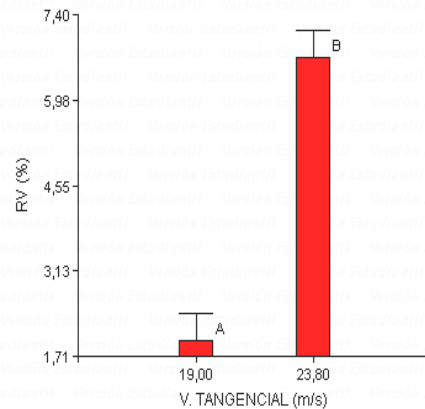


Grafico 10: Rotura visible (RV) en función de la Velocidad del rotor trillador. Letras mayúsculas indican significancia, Tukey ($p < 0.05$).

Referente a lo derivado de las velocidades ensayadas (**gráfico 10**), se debe recordar que ambas se encontraron dentro del rango utilizado en el resto de los sistemas, y presentan, debido al diseño del sistema, el incremento de mayor proporción entre ambas (25%), esto puede presuponer la existencia de un importante daño. Supuesto que no es reflejado en la velocidad modal donde el valor hallado fue de 1,96%, pero sí a la velocidad superior, la que incrementó el daño a 6,69% en valor absoluto y 341% en proporción.

Esta linealidad en los resultados y considerando la estructura orgánica y funcional del sistema supone un mayor efecto del frotamiento sobre el de impacto, aseveración fundada en la mayor superficie de trilla y separación. La greña antes de generarse el proceso de trilla y separación, de acuerdo a la información y bibliografía consultada, circunvala no menos de cuatro veces a los respectivos cóncavos, además refuerzan estas apreciaciones el hecho de poseer el cóncavo un ángulo de 167° , que no toda el área correspondiente a la trilla está cubierta por barras trilladoras y que en el sector de separación las barras existentes son lisas y solo colaboran en el avance del material hacia la salida del sistema. De acuerdo a estos resultados y dadas las condiciones presentes en el ensayo éste sistema demostró poseer una alta sensibilidad al tratamiento del grano acorde a la velocidad de trilla seleccionada.

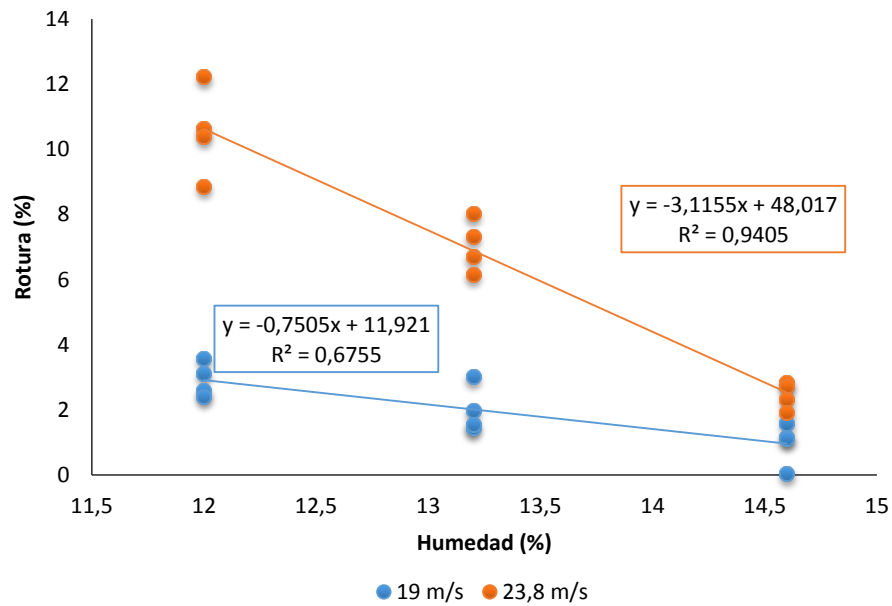


Gráfico 11: Ajuste entre la rotura visible (RV) y la humedad del grano para la maquina con rotor axial.

El **gráfico 11** integra el comportamiento obtenido por el presente sistema, donde habiéndose probado diferentes funciones, para ambas velocidades, el mayor ajuste respondió a una ecuación lineal y también se reitera cómo ante un incremento de la velocidad de trilla y pequeñas disminuciones de humedad incidieron significativamente en el incremento del daño. Así también de la observación del régimen modal y de la mínima pendiente de la recta de ajuste, se puede inferir el comportamiento estable del sistema en cuanto al tratamiento del grano cosechado ante variaciones del contenido de humedad registrados durante la jornada de trabajo.

Teniéndose en cuenta los conceptos vertidos, surge que si al inicio de la cosecha el régimen de trabajo es superior al modal, ante una mínima disminución de la humedad debe inmediatamente reducirse dicha variable para no incurrir en un significativo incremento del daño.

Conclusiones

Frente a los resultados obtenidos y de su análisis se extraen las siguientes conclusiones.

1. Independientemente de la condición de cultivo, siempre se generó daño mecánico visible, lo que afectaría los procesos de almacenaje posterior.
2. Ante incremento de velocidad tangencial el daño siempre fue significativamente superior. Es posible aumentar el régimen de trilla hasta un determinado valor a partir del cual ese incremento afecta sustancialmente al grano y esa magnitud va a depender de su contenido de humedad a cosecha.
3. El comportamiento del sistema sin variador permite ratificar cómo la variación de humedad del grano modifica la calidad del producto entregado.
4. En el sistema convencional con variador de velocidad los granos presentaron mayor susceptibilidad al cambio de velocidad que a la variación de humedad.
5. El sistema con acelerador presentó un comportamiento favorable en los rangos de humedad extremos.
6. El sistema axial fue el que presentó mayor dependencia del daño al aumento de velocidad de trilla, mientras que al régimen modal fue el que menor daño ocasionó al grano trillado, donde prevalece el frotamiento frente al impacto.

Referencias

- Baryeh, E.A.** 2002. A simple grain impact damage assessment device for developing countries. *Journal of Food Engineering*, 56(1): 37-42.
- Bashford, L.** 1993. External flute seed metering evaluation related to site specific farming. ASAE Paper n^a 93-8517. St. Joseph, Mi.
- Bolsa de Cereales de Buenos Aires.** Estimaciones agrícolas. Publicado en internet, disponible en <http://www.bolsadecereales.com.ar/>. Activo Mayo 2015.
- Bragachini, M.; J. Peiretti.** 2005. Factores de manejo que inciden en la eficiencia durante la cosecha de soja. En: Soja. Eficiencia de cosecha y poscosecha. Proyecto de Eficiencia de cosecha y poscosecha de granos. Manual Técnico N° 3. 219-221.
- Bragachini, M.; J. Peiretti; F. Sanchez; M. Eugeni.** 2010. Mercado Actual y Perspectivas en Cosechadoras, Cabezales maiceros, Girasoleros y Tractores en Argentina. Proyecto PRECOP II Eficiencia de Cosecha de Granos. INTA EEAA Manfredi, 21 pp.
- Bragachini, M.** 2011. Desarrollo industrial de la maquinaria agrícola y agropartes en Argentina. INTA Manfredi. 57 pp.
- Bragachini, M.; J. Peiretti; F. Sanchez.** 2012. Capacitación en cosechadoras y eficiencia de cosecha de soja, Ediciones INTA, ISBN 978-987-679-132-8
- El-Abady, M. I.; A. A. El-Eman; S. E. Seadh; F. I. Yusof.** 2012. Soybean seed quality as affected by cultivars, threshing methods and storage periods. *Res. J. of Seed Sc.* 5(4):115-125.
- Fraczek, J.; Z. Slipek.** 1998. Influence of moisture content and number of loading of mechanical impacts, upon the energy and sprouting capacity of wheat grains. *International Agrophysics*, 12(2): 97-101.
- França Neto, J. B.; A. A. Henning.** 1984. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja. Londrina: EMBRAPA-CNPSo. Circular Técnica. 9: 39.
- França Neto, J. B.; F. C. Krzyzanowski.** 2000. Produção de sementes de soja: fatores de campo. *Seed News. Pelotas.* 4: 20-23.
- Garnero, S.** 2012. Calidad intrínseca de los granos en la poscosecha. Tesis de maestría en tecnología de alimentos, Facultad de ciencias químicas, Universidad Católica de Córdoba, 172.
- INDEC.** 2014. Informe de coyuntura de la industria de maquinaria agrícola. Disponible en www.indec.gov.ar : ISSN 0327- 7968.

- Khazaei, J.; F. Shahbazi; J. Massah; M. Nikraves; M. H. Kianmehr.** 2008. Evaluation and modeling of physical and physiological damage to wheat seeds under successive impact loadings: mathematical and neural networks modeling. *Journal of Crop Sciences*, 48(4): 1532-1544.
- Kydd, H. D.** 1980. Combine types. PAMI Gleanings. Humbolt, Saskatchewan, Manitoba. 4 pp.
- Marcondes, M. C.; E. Miglioranza; I. C. B. Fonseca.** 2005. Danos mecânicos e qualidade fisiológica de semente de soja colhida pelo sistema convencional e axial. *Revista Brasileira de Sementes*, Pelotas, 27(2): 125-129.
- Paiva, L. E.; S. F. Medeiros; A. C. Fraga.** 2000. Beneficiamento de sementes de milho colhidas mecanicamente em espigas: efeitos sobre danos mecânicos e qualidade fisiológica. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.24, n.4, p.846-856, 2000.
- Parde, S. R.; R. T. Kausal; D. S. Jayas; N.D. G. White.** 2002. Mechanical damage to soybean seed during processing. *J. Stored Prod. Res.*, 38:385-394.
- Paulsen, M. R.; W. R. Nave; L. E. Gray.** 1981. Soybean seed quality as affected by impact damage. *Trans. of the ASAE*.24 (6):1577-1582.
- Picket, L.K.** 1973. Mechanical damage and processing losses during navy bean harvesting. *Transactions of the ASAE* 16, 1047–1050.
- Pozzolo, O.; R. Hidalgo; H. Ferrari; G. Botta.** 2007. Cosecha de soja: incidencia del sistema axial vs convencional sobre porcentaje de grano quebrado y pérdidas de grano. En: *Avances en Ingeniería Rural - Año 2007*. 140-143.
- Rodrigues da Cunha, J. P.; P. de Oliveira; C. Machado; R. Mion.** 2009a. Qualidade das sementes de soja após a colheita com dois tipos de colhedora e dois períodos de armazenamento. *Ciência Rural*, Santa María, 39(5):1420-1425.
- Rodrigues da Cunha, J. P.; G. Piva; C. A. Alves de Oliveira.** 2009b. Efeito do sistema de triilha e da velocidade das colhedoras na qualidade de sementes de soja. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 25(4): 37-42.
- Rollan, M. C.; G. A. Lori; M. N. Sisterna; R. A. Barreyro.** 2001. Effect of different damage factors on soybean seed quality. *Acta Agronómica Hungárica*, 49(2):133-139.
- Saini, S. K.; J. N. Singh; P. C. Gupta.** 1982. Effect of threshing method on seed quality of soybean. *Seed Res.*, 10(2):133-138.
- Saugakkara, V. R.** 1988. Threshing method, drying temperature and storage condition on microbial deterioration of soybean seeds. *J. Applied Seed Production*, 6 : 1-5.

- Shahbazi, F.; S. Valizadeh; A. Dowlatsh.** 2012. Mechanical damage to wheat and triticale seeds related to moisture content and impact energy, *Agric Eng Int: CIGR Journal*. 14(4):150-155.
- Shahbazi, F.** 2011. Impact damage to chickpea seeds as affected by moisture content and impact velocity. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(7): 771-775.
- Shahbazi, F.; M. Analooei; A. Saffar.** 2011a. Mechanical damage to pinto bean seeds as affected by moisture content, impact velocity and seed orientation. *International Journal of Food Engineering*, 7(6), Article 10.
- Shahbazi, F.; A. Saffar; M. Analooei.** 2011b. Mechanical damage to navy beans as affected by moisture content, impact velocity and seed orientation. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 3(4): 205-211.
- Shelar, V. R.** 2002. Thesis submitted to MPKV, Rahuri (MS) for Ph.D. deg. in Seed Tech.
- Shelar, V. R.** 2008. Role of mechanical damage in deterioration of soybean seed quality during storage- A Review. *Agric. Rev.*, 29(3):177–184.
- Szwed, G.; J. Lukaszuk.** 2007. Effect of rapeseed and wheat kernel moisture on impact damage. *International Agrophysics*, 21(3): 299-304.
- Vieira, B. G. T. L.; R. P. Silva; R. D. Vieira.** 2006. Qualidade física e fisiológica de semente de soja colhida com sistema de trilha axial sob diferentes velocidades de operação e rotações do cilindro trilhador. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 26(2): 478-482.