

# Efecto de la cosecha mecanizada sobre la calidad del grano de maíz para la recepción y el procesamiento agroindustrial

## Mechanical harvesting effects on maize kernel quality for agro-industrial reception and processing

Carlos Ruiz-Silvera<sup>1</sup>, Manuel Ávila-Ramírez<sup>2</sup>, Jesús Alezones-Gómez<sup>3</sup>, Marbella Romero-Hernández<sup>4</sup>, Henry Tona-Hernández<sup>5</sup>

*Fecha de recepción: 9 de noviembre de 2017*

*Fecha de aprobación: 6 de marzo de 2018*

Ruiz-Silvera, C; Ávila-Ramírez, M; Alezones-Gómez, J; Romero-Hernández, M; Tona-Hernández, H. Efecto de la cosecha mecanizada sobre la calidad del grano de maíz para la recepción y el procesamiento agroindustrial. *Tecnología en Marcha*. Vol. 31-3. Julio-Setiembre 2018. Pág 98-109.

DOI: 10.18845/tm.v31i3.3902

1 Ingeniero Agrónomo; Unidad de Agronomía, Fundación para la Investigación Agrícola Danac, San Javier, Venezuela. Correo electrónico: carlos.ruiz@danac.org.ve

2 Ingeniero Agrónomo; Laboratorio de Calidad de Granos y Semillas, Fundación para la Investigación Agrícola Danac, San Javier, Venezuela. Correo electrónico: manuel.avila@danac.org.ve

3 Ingeniero Agrónomo; Gerencia de Investigación y Desarrollo, Fundación para la Investigación Agrícola Danac, San Javier, Venezuela. Correo electrónico: jesus.alezones@danac.org.ve

4 Técnico Superior Agrícola; Laboratorio de Calidad de Granos y Semillas, Fundación para la Investigación Agrícola Danac, San Javier, Venezuela. Correo electrónico: marbella.romero@danac.org.ve

5 Ingeniero Agrónomo; Unidad de Agronomía, Fundación para la Investigación Agrícola Danac, San Javier, Venezuela. Correo electrónico: henry.tona@danac.org.ve



## Palabras clave

Maíz; cosecha mecanizada; calidad de grano; daño por causa mecánica.

## Resumen

En Venezuela, el maíz es el cereal de mayor importancia alimentaria. Cada año se cultivan cientos de miles de hectáreas de maíz blanco y amarillo, que son destinados en un alto porcentaje al procesamiento en la industria de alimentos para consumo humano y animal. En las principales zonas productoras de maíz predomina la cosecha mecanizada, cuyos efectos y parámetros de eficiencia no están bien documentados. Con el propósito de suplir esta carencia, se determinaron los efectos de la cosecha mecanizada sobre parámetros de calidad del grano en híbridos comerciales y experimentales de maíz, en localidades de los estados Portuguesa y Yaracuy, Venezuela, durante el ciclo de lluvias 2016. Se examinaron el contenido de humedad, las impurezas (IMPZ), y los atributos de calidad del grano, granos partidos (GPAR), granos con germen dañado (GGRD) y granos dañados por microorganismos (GDMO). Los contenidos de humedad a la cosecha ( $16,8\% \pm 1,7$  en cultivares amarillos y  $20,9\% \pm 1,1$  en cultivares blancos) y de IMPZ ( $0,3\% \pm 0,3$  en cultivares amarillos y en cultivares blancos), se ubicaron por debajo del límite tolerado para su uso en la industria (24% de humedad y 5% de impurezas). La cosecha mecanizada tuvo efectos sobre los atributos de calidad del grano evaluados, tanto en híbridos amarillos como en blancos. La cosecha mecánica tuvo su mayor impacto sobre los atributos de los granos partidos (GPAR) y los granos dañados por microorganismos (GDMO), y pudo afectar la inocuidad de la materia prima y la clasificación del lote de granos para el procesamiento industrial.

## Keywords

Maize crop; mechanical harvesting; grain quality; damage by mechanical causes.

## Abstract

In Venezuela, maize is the most important cereal for food safety. Each year, thousands of hectares are cultivated with white and yellow maize, which in a high percentage are destined to food processing industry for human and animal consumption. The major maize-producing areas are dominated by mechanical harvesting, whose effects and parameters of efficiency are not well documented. In order to reduce this lack, a research was conducted in Portuguesa and Yaracuy States, Venezuela, during 2016 rainfall season, to determine the effects of mechanical harvesting on grain quality parameters of commercial and experimental maize hybrids. Moisture content, foreign materials (IMPZ), and grain quality indicators as broken grains (GPAR), kernel with damaged germ (GGRD), and kernel damage caused by microorganisms (GDMO) were assessed. Grain moisture content at harvest ( $16,8\% \pm 1,7$  for yellow hybrids and  $20,9\% \pm 1,1$  for white hybrids), and IMPZ ( $0,3\% \pm 0,3$  for yellow hybrids and  $0,3\% \pm 0,3$  for white hybrids) were under the tolerance limit for industry (24% for moisture content and 5% for impurities). The mechanical harvesting had effects on grain quality parameters evaluated, in both white hybrids and yellow hybrids, showing its great impact in broken grains (GPAR) and kernel damages caused by microorganisms (GDMO), also affecting innocuousness and the grain ranking for industrial processing.

## Introducción

En Venezuela, el maíz es el cereal de mayor importancia alimentaria. Cada año se cultivan cientos de miles de hectáreas de maíz blanco y amarillo, que son destinados en un alto porcentaje al procesamiento en la industria de alimentos para consumo humano y animal.

La labor de cosecha del grano se presenta como una fase clave del proceso productivo, después que el productor de maíz ha planificado y ejecutado las acciones de selección y adquisición de insumos, obtención de financiamiento, acondicionamiento de maquinaria y equipos, y realizado en forma oportuna y adecuada las labores de preparación del terreno, siembra, fertilización y manejo de plagas (malezas, plagas insectiles y patógenos), expuesto a la acción de los factores climáticos.

La cosecha mecanizada de maíz en Venezuela se realiza en una operación en la que la cosechadora combinada ejecuta en secuencia progresiva el corte de las plantas con la mazorca, la separación de la planta y movilización de las mazorcas (alimentación), el trillado (separación de los granos del resto de materiales), y la limpieza y almacenamiento del grano en la tolva receptora [1].

Varios factores pueden determinar el grado de calidad del grano de maíz para uso industrial antes de la cosecha: la densidad de siembra [2], el manejo durante el crecimiento y desarrollo del cultivo en el campo [3]-[6], la acción de los factores climáticos [7]-[8] y los agentes bióticos [9]-[11]. Sin embargo, por la acción directa de la cosecha, se deben tomar en cuenta elementos como la humedad del grano [9], la “resistencia” propia del grano al daño mecánico por su genotipo [12], las condiciones operativas de la máquina combinada [13]-[14] y el daño causado al grano durante la operación mecánica de cosecha, que *a posteriori* se constituyen en factores condicionantes de las fases de secado y almacenamiento del grano [11].

En virtud de que durante la cosecha del maíz, se pueden afectar atributos de calidad del grano de importancia económica para el productor y la agroindustria, se hace necesario estimar el grado de daño que causa la labor mecanizada, e inclusive identificar una posible respuesta diferencial de los híbridos al daño durante la cosecha.

Este trabajo tuvo por objetivo determinar el grado de afectación en los atributos de calidad del grano para uso industrial en híbridos de maíz blanco y amarillo, por efecto de la cosecha mecanizada, en localidades de Portuguesa y Yaracuy, Venezuela.

## Materiales y métodos

### Localización del estudio y cultivares evaluados

El estudio se realizó en unidades de producción intensiva (fincas) de agricultores, ubicadas en localidades de los estados Portuguesa y Yaracuy (cuadro 1), durante el ciclo de lluvias comprendido entre los meses de mayo y noviembre del año 2016. En cada finca, se establecieron en forma aleatoria híbridos de maíz blanco o amarillo en parcelas grandes (0,25 a 0,50 ha de cada híbrido) conforme a lo señalado por Chacín [15]. Se evaluaron los híbridos experimentales y comerciales de maíz blanco DANAC 344, DANAC 029, DANAC 826, DANAC 829 (Fundación Danac, Venezuela) y SV 253 (Semillas Valle, Colombia), y de maíz amarillo DANAC 156 (Fundación Danac, Venezuela), SV 1035 (Semillas Valle, Colombia), MZ 450 y TROPI 101 (Grupo Catalina, Venezuela).

### Identificación de las cosechadoras combinadas y de algunas características operativas

En cada finca, se registraron los datos de las cosechadoras. La información fue complementada con las especificaciones técnicas de la maquinaria que brindan los fabricantes (cuadro 2).

**Cuadro 1.** Descripción general de las localidades de ensayo con híbridos de maíz, ciclo lluvias 2016

Color del grano	Localidad	Sector, estado	Coordenadas UTM	Fecha de siembra	Edad del cultivo en cosecha (dds)
Amarillo	Turen 1	Turen, Portuguesa	E 474 401, N 1 054 131	20/05/2016	144
	Turen 3	Turen, Portuguesa	E 487 457, N 1 026 031	12/07/2016	132
	Palo Gordo	Araure, Portuguesa	E 472 273, N 1 054 939	06/06/2016	148
Blanco	Guaimaral	Araure, Portuguesa	E 470 213, N 1 068 466	03/06/2016	138
	La Blanquera	Sabana de Parra, Yaracuy	E 497 054, N 1 116 067	07/06/2016	136
	Turen 2	Turen, Portuguesa	E 486 860, N 1 025 775	21/05/2016	147

**Cuadro 2.** Descripción de algunos aspectos operativos de las cosechadoras combinadas utilizadas por los productores en la cosecha de maíz en localidades de Portuguesa y Yaracuy, Venezuela, ciclo de lluvias 2016

Localidad	Cosechadora marca, modelo, tipo	Año de salida al mercado	Año de adquisición	Tiempo estimado de uso (horas)*	Grado de tenencia
Turen 1	John Deere 4420	1984	1994	9 900	Propia
Turen 3	John Deere 4420	1984	1992	23 400	Propia
Palo Gordo	John Deere 9770	ND	2011	930	Propia
Guaimaral	John Deere 4420	1984	1992	10 800	Propia
La Blanquera	John Deere 955	1973	1978	9 120	Propia
Turen 2	Plataforma de corte John Deere 444 y cuerpo Laverda M132	Laverda M132 1975-1983	1980	17 280	Propia

Fuente: Elaboración propia a partir de información aportada por los productores, consulta en catálogos y fichas técnicas de los fabricantes. \*Hasta el año 2016

### Estimación del daño al grano, previo a la cosecha mecanizada y por efecto de ella

En cada localidad y de cada híbrido, para constituir una muestra representativa de la condición del grano previa a la realización de la cosecha mecanizada, se colectaron en el campo en forma manual 30 mazorcas al azar por cada cultivar, para constituir una muestra compuesta (cosecha manual). Al final de la cosecha mecanizada, de cada híbrido se colectó una muestra representativa y compuesta de cada material de granos de la tolva receptora (cosecha mecánica), realizando muestreos secuenciales durante la descarga y siguiendo los lineamientos técnicos para la toma de muestras de granos de cereales [16].

Las muestras de cosecha manual, previamente desgranadas, y las de cosecha mecánica fueron acondicionadas y procesadas en el Laboratorio de Calidad de Granos y Semillas de Fundación Danac (LCGS).

## Parámetros de calidad del grano de maíz evaluados

Se determinó el contenido de humedad del grano en cada muestra en el momento de la cosecha, con el uso de un determinador de humedad marca Gehaka, modelo G600 (Gehaka, Brasil). Para estimar el grado del daño en el grano por efecto de la cosecha manual y de la mecanizada, respectivamente, se evaluaron los atributos contenido de impurezas (IMPZ), granos partidos (GPAR), granos con germen dañado (GGRD) y granos dañados por microorganismos (GDMO), de acuerdo con las especificaciones de la norma venezolana de calificación del maíz para uso industrial [17]. Según la norma, las IMPZ se definen como granos distintos al grano de maíz (incluidos pedazos de maíz, granos pequeños y pedazos de cualquier materia que pasan a través de una criba con perforaciones circulares de 4,75 mm de diámetro) y cualquier materia, que no siendo maíz, permanece sobre la criba después del cribado. Como GPAR se definen los pedazos de maíz de tamaño igual o inferior a la mitad del grano entero normal que no atraviesan una criba con perforaciones circulares de 4,75 mm de diámetro. Como GGRD se definen los granos enteros o partidos que presentan el germen oscurecido o dañado por cualquier causa. Como GDMO se definen los granos enteros o partidos que presentan moho en su superficie o en su interior, o cualquier tipo de plaga de microorganismos.

## Procesamiento de los datos y análisis de los resultados

Los datos registrados de los parámetros de calidad mencionados fueron procesados mediante análisis de la varianza, considerando como causas de variación la localidad, la forma de cosecha (manual y mecánica) y el híbrido, y las interacciones localidad - forma de cosecha e híbrido - forma de cosecha. Los análisis fueron ejecutados por medio del programa estadístico SAS JMP, versión 7.0.2. [18].

## Resultados y discusión

### Humedad del grano en cosecha

El contenido promedio de humedad del grano en cosecha de los híbridos amarillos estuvo en  $16,8\% \pm 1,7$ , y de los blancos en  $20,9\% \pm 1,1$  (cuadro 3). No se detectó asociación entre los valores de los atributos de calidad del grano evaluados y el contenido de humedad en el momento de la cosecha, conforme los coeficientes de correlación de Pearson (datos no mostrados). Esto contrasta con los resultados obtenidos por Marques *et al.* [19], quienes al evaluar los granos de tres híbridos de maíz cosechados en un grado de humedad comprendidos entre el 35% y el 15%, encontraron un incremento del porcentaje de semillas de maíz quebradas del 0,12 al 0,14% por cada 1% de reducción del contenido de humedad.

El contenido de humedad, así como el de impurezas, no constituye un factor de calidad del grano propiamente; sin embargo, son considerados factores de deducción relevantes durante la comercialización del maíz [17]. Los valores de humedad del grano obtenidos en el trabajo estuvieron dentro del ámbito del contenido de humedad (18-25%) al que los productores han venido cosechando el cultivo en las principales zonas productoras de Venezuela [6]. Además, los valores de humedad registrados se ubicaron por debajo del límite (24%) a partir del cual se aplican deducciones del grano de maíz húmedo [17].

Los valores de humedad en los cultivares amarillos, en esta investigación, fueron similares a los informados por USGC [20] en EE.UU., quienes documentaron una humedad promedio  $\pm$  desviación estándar de  $16,6\% \pm 1,84$ ;  $15,7\% \pm 1,53$  y  $16,1\% \pm 1,47$ , en los años 2014, 2015 y 2016, respectivamente.

**Cuadro 3.** Contenido de humedad del grano de maíz en cosecha de híbridos amarillos y blancos, en localidades de Portuguesa y Yaracuy, Venezuela, ciclo de lluvias 2016

Híbrido amarillo	Localidad			Híbrido blanco	Localidad		
	Turen 1	Palo Gordo	Turen 3		Turen 2	Guaimaral	La Blanquera
DANAC 156	18,5	15,6	18,3	DANAC 029	21,5	19,8	22,1
MZ 450	19,5	15,8	15,4	DANAC 344	20,6	21,4	20,8
SV1045	17,8	16,6	18,2	DANAC 826	19,6	21,9	20,9
TROPI 101	19,8	16,3	15,3	DANAC 829	20,2	20,1	21,3
				SV 253	19,1	19,8	19,3
Promedio ± D.S. <sup>1</sup>		16,8 ± 1,7				20,9 ± 1,1	

<sup>1</sup>D.S.= desviación estándar

A criterio de EMBRAPA [21], un contenido de humedad en el grano ideal para la cosecha es 18%, dado que reduce la ocurrencia de problemas a causa del exceso de humedad y de la exposición del grano a la acción de factores climáticos, así como contribuye a facilitar la labor de la combinada. Por su parte, Herrera [22] plantea que un contenido de 20% de humedad, en el grano en cosecha, constituye el límite para controlar la actividad de los microorganismos y la generación de micotoxinas.

En las principales zonas productoras de maíz, de Venezuela, la temporada de cosecha coincide con la permanencia del ciclo de lluvias (mayo a octubre), el principal factor que determina el ingreso de la maquinaria al campo para esa labor, una vez que el contenido de humedad del grano se acerca al 20%.

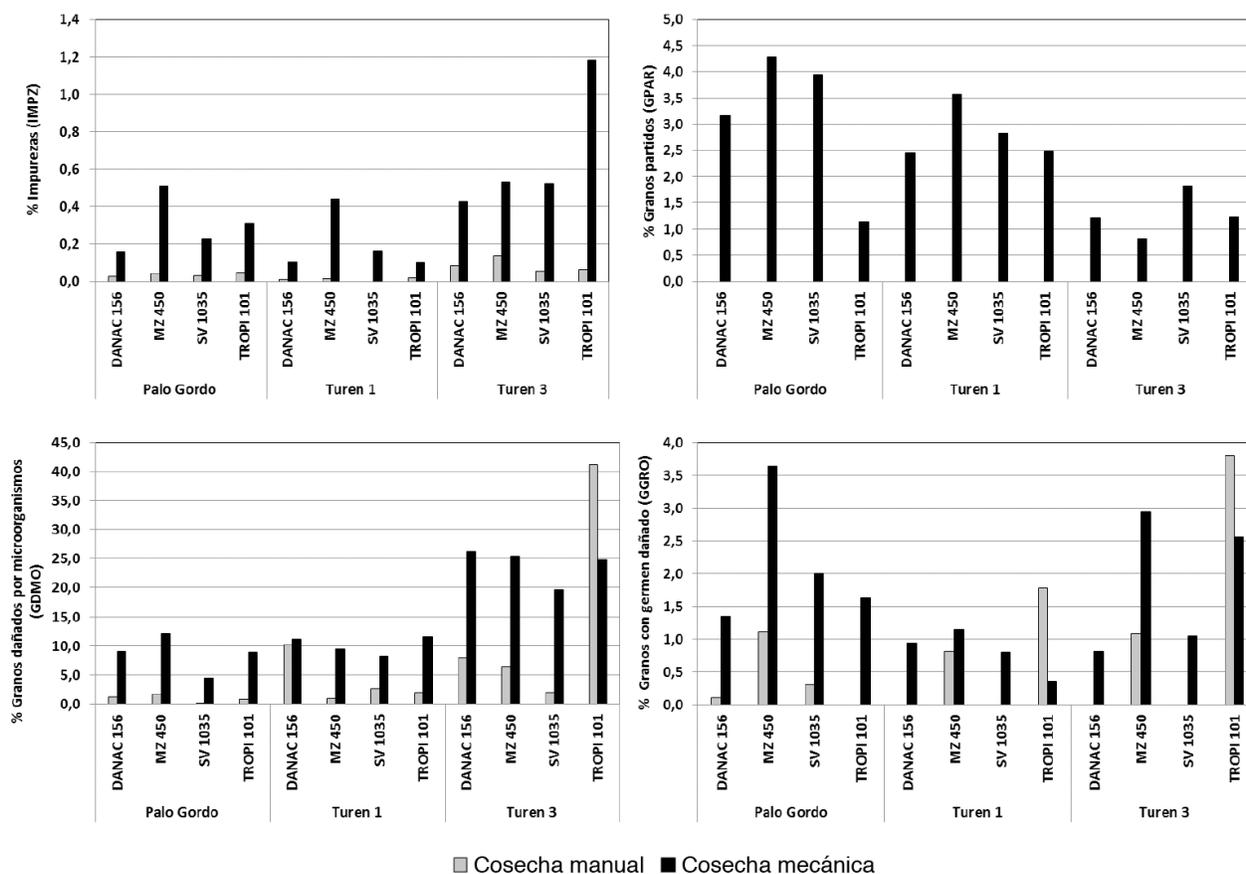
#### Estimación del daño al grano, previo a la cosecha mecanizada y por efecto de ella, en híbridos de maíz amarillo

El valor porcentual de IMPZ ( $0,3\% \pm 0,34$ ) fue más alto por efecto de la cosecha mecanizada (figura 1), con niveles máximos del 1,18%. En EE.UU. el contenido de impurezas durante la cosecha del año 2016 ( $0,1\% \pm 0,16$ ) mostró valores inferiores [20].

Los GPAR tras la cosecha mecánica promediaron  $0,9\% \pm 1,36$ , con un máximo de 4,29%, mientras que el maíz cosechado manualmente presentó ausencia de granos partidos (0%). Los valores de GPAR tras la cosecha mecánica fueron superiores que los documentados para la cosecha en los años 2014 ( $0,6\% \pm 0,36$ ), 2015 ( $0,6\% \pm 0,42$ ) y 2016 ( $0,5\% \pm 0,34$ ) en EE. UU. [20]; por otra parte, estuvieron por debajo del límite de tolerancia para la deducción (2%), cumpliendo con la norma de calidad (<5%) venezolana para grano Clase II [17].

Los resultados en relación con la forma de cosecha para los parámetros GDMO ( $12,6\% \pm 12,84$  para la cosecha mecánica) y GGRD ( $1,44\% \pm 1,32$  para la cosecha mecánica) fueron menos consistentes que en el caso de los atributos anteriores. También se evidenció que los valores más altos de IMPZ (1,18%) y GDMO (41,19%) se presentaron en la localidad Turen 3.

El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas entre localidades en los parámetros IMPZ, GPAR y GDMO; igualmente, en todos los atributos, entre formas de cosecha, y solo en el atributo GPAR, en la interacción localidad - forma de cosecha (cuadro 4). En consecuencia, se evidenció el efecto de la cosecha mecanizada sobre la calidad del grano de los diferentes cultivares amarillos.



**Figura 1.** Valores porcentuales del contenido de impurezas (IMPZ), granos partidos (GPAR), granos dañados por microorganismos (GDMO) y granos con germen dañado (GGRD), en híbridos de maíz amarillo cosechados en forma manual y mecánica, en diferentes localidades de Portuguesa, Venezuela, ciclo de lluvias 2016

**Cuadro 4.** Análisis de varianza para atributos de calidad del grano en híbridos de maíz amarillo sembrados y cosechados en diferentes localidades de Portuguesa, Venezuela, ciclo de lluvias 2016

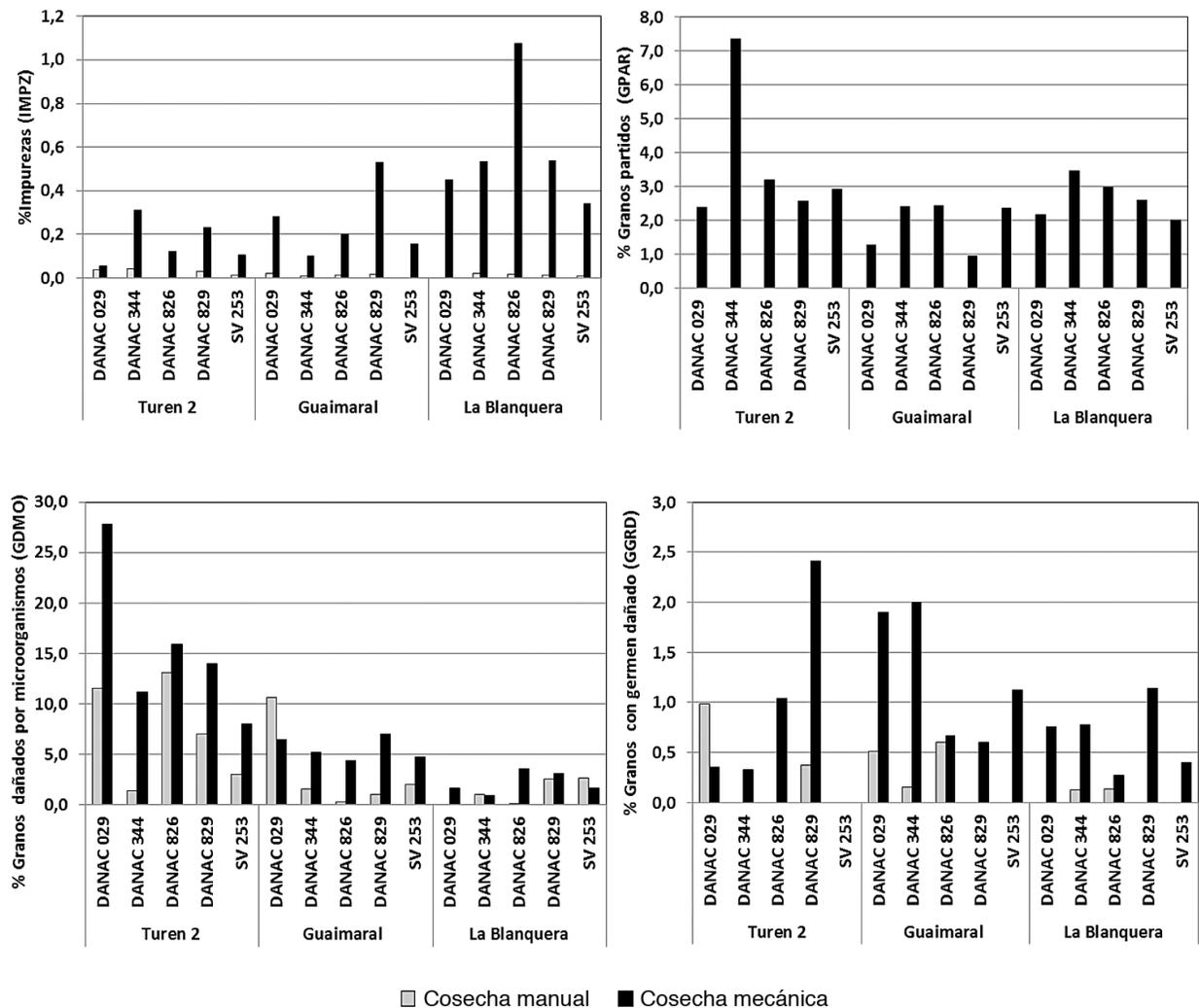
Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios			
		Impurezas (IMPZ)	Granos partidos (GPAR)	Granos dañados por microorganismos (GDMO)	Granos con germen dañado (GGRD)
Localidad	2	0,158 *	2,004 *	479,965 **	1,319 ns
Forma de cosecha	1	0,712 **	34,896 **	366,820 *	4,338 *
Localidad - forma de cosecha	2	0,086 ns	2,004 *	6,144 ns	1,383 ns
Híbrido	3	0,036 *	0,540 ns	77,955 ns	2,560 *
Híbrido - forma de cosecha	3	0,028 *	0,540 ns	40,685 ns	1,044 ns

G.L.=Grados de libertad. \*\*Significativo ( $p < 0,01$ ), \*Significativo ( $p < 0,05$ ), ns = no significativo

También se detectaron diferencias estadísticas entre los híbridos amarillos en los atributos IMPZ y GGRD, y en la interacción híbrido - forma de cosecha solo en el atributo IMPZ. En este sentido, hubo una respuesta diferencial de los cultivares amarillos en el atributo de calidad GGRD. Esta diferencia, que le proporcionó al grano de algunos híbridos mayor resistencia al deterioro o al daño mecánico, podría utilizarse como criterio para tomar en cuenta por el productor.

### Estimación del daño al grano, previo a la cosecha mecanizada y por efecto de ella, en híbridos de maíz blanco

De todos los atributos, con pocas inconsistencias, se obtuvieron valores superiores con la forma de cosecha mecanizada. El contenido promedio de IMPZ, GDMO, GPAR y GGRD con la cosecha mecánica se ubicó en 0,3% ± 0,26 (y máx. 1,1%); 7,7% ± 7,11 (y máx. 27,8%); 2,7% ± 1,44 (y máx. 7,4%), y 0,9% ± 0,70 (y máx. 2,4%), respectivamente (figura 2).



**Figura 2.** Valores porcentuales del contenido de impurezas (IMPZ), granos partidos (GPAR), granos dañados por microorganismos (GDMO) y granos con germen dañado (GGRD), en híbridos de maíz blanco cosechados en forma manual y mecánica, en diferentes localidades de Portuguesa y Yaracuy, Venezuela, ciclo de lluvias 2016

El contenido de IMPZ de los materiales estuvo por debajo del límite para deducción; el de GPAR dio razón para ubicar los cultivares entre las clases I y II, con un material que quedó fuera de calificación de la norma venezolana COVENIN [17]. El GDMO presentó valores cercanos o superiores al 5%, a excepción de la localidad Turen 2, donde los valores estuvieron cercanos o fueron superiores al 10%. El valor para GGRD fue inferior al 3%.

Entre los cultivares blancos, el análisis de varianza detectó diferencias estadísticas entre localidades en los atributos IMPZ, GPAR y GDMO; igualmente, en todos los atributos entre formas de cosecha, y en los atributos IMPZ y GPAR en la interacción localidad - forma de cosecha (cuadro 5). Estos resultados también muestran el efecto de la cosecha mecanizada sobre la calidad del grano de los diferentes cultivares blancos.

**Cuadro 5.** Cuadrados medios del análisis de varianza en parámetros de calidad del grano, en híbridos de maíz blanco sembrados y cosechados en diferentes localidades, ciclo de lluvias 2016

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios			
		Impurezas (IMPZ)	Granos partidos (GPAR)	Granos dañados por microorganismos (GDMO)	Granos con germen dañado (GGRD)
Localidad	2	0,117 *	2,041 *	245,292 **	0,393 ns
Forma de cosecha	1	0,764 **	56,077 **	110,868 *	3,948 **
Localidad - forma de cosecha	2	0,129 **	2,041*	36,336 ns	0,149 ns
Híbrido	4	0,019 ns	1,513 ns	37,226 ns	0,267 ns
Híbrido - forma de cosecha	4	0,019 ns	1,513 ns	1,555 ns	0,197 ns

G.L.=Grados de libertad. \*\*Significativo ( $p < 0,01$ ), \*Significativo ( $p < 0,05$ ), ns = no significativo

A diferencia de los amarillos, en el análisis de los cultivares blancos no se detectaron diferencias estadísticas ni entre híbridos, ni para la interacción híbrido - forma de cosecha, en los atributos evaluados. En este sentido, los cultivares blancos no mostraron una respuesta diferencial en relación con la forma de cosecha.

Tanto en los cultivares amarillos como en los blancos, se pudo constatar el efecto de la forma de cosecha sobre los atributos de calidad del grano, y el mayor impacto de la cosecha mecánica se evidenció en granos partidos y granos dañados por microorganismos, condiciones que en algunos casos ubicaron el grano fuera de clasificación (GPM), pudiendo comprometer su inocuidad [17]. La aparición natural y potencial de cepas del género *Fusarium* en las zonas productoras, y la presencia de fumonisinas [10], elevan la consideración de estos riesgos. La cosecha mecánica con respecto a la manual resultó en un mayor contenido de GDMO y GGRD, salvo en el híbrido amarillo TROPI 101 para las localidades Turen 1 y Turen 3, y el híbrido blanco DANAC 029 en las localidades Guaimaral y Turen 2. El porcentaje de granos partidos puede ser atribuido al daño ejercido en la cosecha mecánica. Su correspondencia con mayores niveles de granos con germen dañado y dañados por microorganismos puede ser atribuida, conforme

lo descrito por Fandohan *et al.* [23], a que los granos dañados por efecto mecánico pueden servir como punto de entrada de agentes fúngicos. Estos autores, al comparar granos trillados manualmente y con equipos, encontraron que la población de *Fusarium* estuvo correlacionada de manera positiva y significativa ( $r=0,6$ ;  $p<0,01$ ) con los niveles de granos dañados por efecto mecánico.

Cada localidad durante el desarrollo del cultivo integró como componentes representativos las condiciones edafoclimáticas del sitio y el manejo realizado, mientras que en la cosecha, incorporó las condiciones operativas de la combinada utilizada. La comparación de la respuesta en función de la forma de cosecha permite evidenciar una tendencia mayor a la acción de este último componente, lo cual sugiere la revisión de los elementos operativos de la maquinaria relacionados con la cosecha (condiciones y funcionamiento). Augsburguer [24] y Bragachini [25] estimaron que los daños excesivos a los granos pueden estar asociados con a) la distancia inadecuada entre el cóncavo y el cilindro, b) la excesiva velocidad del cilindro, c) el contenido excesivo de humedad del grano (no evidenciado en este trabajo), d) el cóncavo nivelado en forma inadecuada, e) la presencia de daños en las barras trilladoras o en el cóncavo y f) las abolladuras en las cajas del sinfín o excesivo material de retorno.

La mayoría de la maquinaria utilizada para la cosecha superó los treinta años de edad. Las nuevas tecnologías en cosechadoras combinadas incluyen cambios como incremento del tamaño y de la potencia del motor; ancho mayor de la plataforma de corte; incremento en la capacidad de trilla (hasta 110 ton/hr); incorporación de un sistema de ajuste automático de la velocidad del cilindro y la separación del cóncavo, y de control automático de la alimentación; además, equipamiento de monitores de rendimiento, humedad y geo-posicionamiento, entre otros [26]-[27]. El evidente rezago tecnológico de la muestra de combinadas usadas permite inferir por obsolescencia natural de piezas de la maquinaria una pérdida de rendimiento en el campo y la necesidad de la promoción de políticas públicas y privadas de financiamiento para la actualización progresiva del parque de cosechadoras.

Se presentó una alta incidencia de GDMO en localidades de Turen. Ávila [8], al determinar el efecto de algunos factores climáticos sobre los indicadores de dureza del grano en maíz, documentó elevados valores de precipitación en dicha zona, en las primeras etapas de desarrollo y durante la fase de maduración del grano, en comparación con otras zonas de producción del país, los cuales podrían ocasionar una ruptura súbita del equilibrio de la temperatura y humedad interna del grano, que podría provocarle fisuras y la posterior ruptura del endospermo en partículas más pequeñas. Estas condiciones podrían afectar la respuesta del grano al “estrés mecánico” que genera la cosecha, y propiciar la mayor incidencia de agentes bióticos (insectos y microorganismos), con implicaciones negativas para la comercialización del grano, además de representar un riesgo potencial para la salud.

## Conclusiones

El contenido de impurezas y de humedad del grano en cosecha de híbridos de maíz amarillo y blanco se ubicó en niveles tolerables para la industria.

La cosecha mecanizada de híbridos de maíz amarillos y blancos tuvo efecto sobre varios parámetros de calidad del grano para recepción y procesamiento agroindustrial.

La forma de cosecha mecánica ocasionó su mayor impacto en los parámetros de calidad del grano entero y sano, valorados por la cuantificación de granos partidos y granos dañados por microorganismos, lo cual podría afectar sus condiciones de inocuidad y comprometer la seguridad alimentaria.



## Agradecimientos

Los autores manifiestan su agradecimiento a la Fundación para la Investigación Agrícola Danac por los aportes para el financiamiento de la investigación, y a los productores Udo Neumayer, Giovanni Randa, Luis Zicarelli, Nelson Pulido, Oscar Suárez, Alberto y Wolfgang Steger, por prestar su cooperación para la realización de la fase de campo del trabajo.

## Referencias

- [1] D. Cedeño, "Cosechadora de Cereales", de *Curso sobre Producción de Maíz*. Acarigua, Venezuela: Asoportuguesa/INIA, 2003, pp. 200-204.
- [2] M. Blandino, A. Reyneri, y F. Vanara, "Effect of plant density on toxigenic fungal infection and mycotoxin contamination of maize kernels," *Field Crops Research*, no. 106, pp. 234-241, 2008.
- [3] M. Barrios, C. Basso y J. García, "Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y la calidad de seis híbridos comerciales de maíz en Venezuela", *Rev. Fac. Agron. (UCV)*, vol 42, n.º1, pp. 15-23, 2016.
- [4] J. Bernal, G. Navas y R. Hernández, "Requerimientos y respuestas a la fertilización del maíz en suelos de Sabanas Ácidas de Colombia", Villavicencio-Meta, Colombia: CORPOICA, 10 pp., 2014.
- [5] L. Vargas, "Producción y calidad del grano de trigo y maíz por efecto del sistema de labranza, la secuencia de cultivos y la etapa de aplicación del nitrógeno" (Tesis de maestría en Ciencias), Colegio de Postgraduados, México, Montecillo 69 pp., 2014.
- [6] M. Barrios y R. Bolotín, "Análisis de la producción de maíz (*Zea mays* L.) en Venezuela entre 1999-2010", *Alcance 72. Rev. Fac. Agron. (Maracay)*, n.º 72, pp. 27- 41, 2012
- [7] A. Cao *et al.*, "Environmental factors related to fungal infection and fumonisin accumulation during the development and drying of white maize kernels," *International Journal of Food Microbiology*, no. 164, pp. 15–22, 2013.
- [8] M. Ávila, *Caracterización de dureza de grano de maíces cultivados en Venezuela*, Madrid: Editorial Académica Española, 2012.
- [9] D. Guo, "Kernel and bulk density changes due to moisture content, mechanical damage, and insect damage," [on line]. Available: [http://docs.lib.purdue.edu/open\\_access\\_theses/512](http://docs.lib.purdue.edu/open_access_theses/512) [Último acceso: 17 mayo 2017].
- [10] C. Mazzani *et al.*, "Occurrence of *Fusarium moniliforme* and fumonisins in kernels of maize hybrids in Venezuela," *Brazilian Journal of Microbiology*, no. 32, pp. 345-349, 2001.
- [11] A. Da Silva *et al.*, "Influencia do processo de colheita na infestação do milho (*Zea mays* L.) pelo resoro da farinha (*Tribolium castaneum* Herbst) durante o armazenamento", *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambiental, Campina Grande*, vol 2, n.º 3 pp. 312-315, 1998.
- [12] A. Duarte *et al.*, "Grain quality of Brazilian maize genotypes as influenced by nitrogen level," *Crop Sci.* no. 45, pp. 1958-1964, 2005.
- [13] M. Bragachini, *et al.*, "Eficiencia de cosecha y almacenamiento de granos", Buenos Aires: INTA, 80 pp. 2003.
- [14] J. Rousseau, "Cosecha de granos trigo, maíz, fréjol y soya", de *Serie Tecnología Postcosecha*, vol. 2. Santiago, Chile: FAO para América Latina y el Caribe, 1984, 60 pp.
- [15] F. Chacín, "Diseño y análisis de experimentos para generar superficies de respuesta", de *Trabajo de Ascenso*. Maracay, Venezuela: Facultad de Agronomía, UCV, 1993, 485 pp.
- [16] COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales), "Cereales-leguminosas-oleaginosas y productos derivados. Muestreo", de Norma Venezolana COVENIN 612-82, Caracas, Venezuela, 1982, 20 pp.
- [17] COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales), "Maíz para calidad industrial", de Norma Venezolana COVENIN 1935-87, Caracas, Venezuela, 1987, 13 pp.
- [18] SAS Institute. JMP, a Business Unit of SAS. Version 7.0.2. USA: SAS Institute Inc, 2007.
- [19] O. Marques *et al.* "Danos mecânicos em grãos de híbridos comerciais de milho em função da umidade de colheita", *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 32, n.º 2, pp. 565-576, 2011.
- [20] USGC (U.S. Grains Council), "Corn Harvest Quality Report 2016/17," Washington, USA: U.S. Grains Council, 71 pp., 2016.
- [21] EMBRAPA, "Recomendações Técnicas para o Cultivo do Milho", Brasília, Brasil: EMBRAPA, 17 pp., 1992.
- [22] M. Herrera *et al.*, "Fumonisin concentrations in maize as affected by physico-chemical, environmental and agronomical conditions," *Maydica*, no. 55, pp. 121-126, 2010.

- [23] P. Fandohan *et al.*, "Impact of mechanical shelling and dehulling on Fusarium infection and fumonisin contamination in maize", *Food Additives and Contaminants*, vol. 4, no. 23, pp. 415–421, 2006.
- [24] H. Augsburg, "Determinación de pérdidas en la cosecha de granos", de *Boletín de Divulgación*, Montevideo, Uruguay, INIA, n.º 18, 63 pp., 1992.
- [25] M. Bragachini, *Influencia de la cosecha sobre la calidad de los granos* [en línea]. Available: [https://www.deere.com.ar/es\\_AR/services\\_and\\_support/tips/comboines/grain\\_quality\\_at\\_harvest/grain\\_quality\\_at\\_harvest.page?Deere & Company](https://www.deere.com.ar/es_AR/services_and_support/tips/comboines/grain_quality_at_harvest/grain_quality_at_harvest.page?Deere%20&Company). [Último acceso: 8 junio 2017].
- [26] A. Méndez *et al.*, *Evolución de la capacidad de trilla y tecnologías de las cosechadoras. Red de Agricultura de Precisión* [en línea]. Available: <http://www.agriculturadeprecision.org/articulos/cosecha/Evolucion-Capacidad-Trilla-Tecnologia-Cosechadoras.pdf>. 6 pp. [Último acceso: 8 junio 2017].
- [27] L. Díaz, "La incorporación de nuevas tecnologías y algunos de sus componentes problemáticos en el modelo agrícola argentino del siglo XXI", *Rev. Theomai*, número especial, 10 pp., 2005.