

VUELCO Y QUEBRADO

Ing. Agr. Salvador Incógnito - Gerente de Desarrollo de Producto



INTRODUCCIÓN

¿A qué llamamos vuelco y cuáles son las condiciones predisponentes para que se produzca?

El vuelco se define como el desplazamiento permanente de las plantas de su postura vertical. Consideramos que una planta está volcada cuando la misma se encuentra desplazada a más de 30° desde su posición vertical hacia el suelo (Ver figura 1). En maíz, las pérdidas de rendimiento de grano asociadas al vuelco varían entre 5% a 20% alrededor del mundo (Flint-García et al., 2003).

El riesgo de vuelco es afectado por muchos factores como:

- **Genotipo.**
- **Prácticas de manejo:** densidad de siembra, espaciamiento entre hileras, riego y nutrición (Kratovichil and Taylor, 2005; van Heerden et al., 2015).
- **Condiciones ambientales:** velocidad del viento, altas temperaturas, lluvias excesivas y baja radiación solar (Zuber y Loesch, 1966).

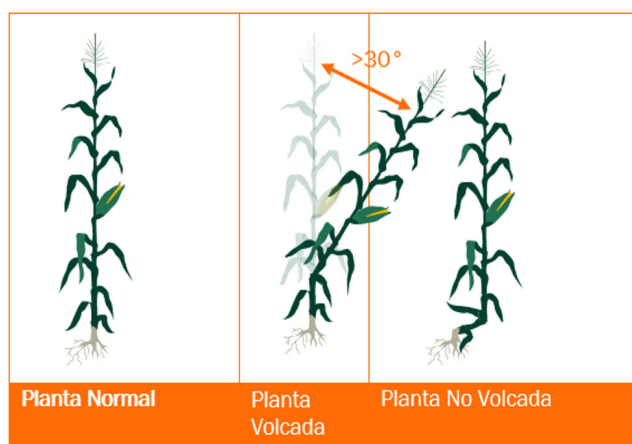


Figura 1. Determinación visual de una planta volcada. (Adaptado de Guía de Seguimiento de Ensayos-Posicionamiento de Producto-KWS Argentina).

¿Qué tipo de vuelco conocemos?

El vuelco se clasifica según su origen en dos tipos: **vuelco de tallo**, comúnmente y de aquí en adelante llamado **quebrado**, y **vuelco de raíz**, denominado generalmente y de aquí en adelante como **vuelco**.

Quebrado

Se describe como el quebrado del tallo por debajo del nudo que sostiene la espiga y está determinado por la interacción de factores internos y externos (Arnold y Josephson, 1975) que puede expresarse como diferentes tipos de fallas en el tallo (Ver figura 2A) dentro de las cuales la más frecuente es el arrugamiento (Ver figuras 2A, B, C y 3).

Los factores internos son:

- **Composición metabólica:** cantidad y distribución de componentes químicos que constituyen el tallo (celulosa, hemicelulosa y lignina).
- **Propiedades morfológicas:** longitud de los entrenudos, diámetro del tallo, peso seco del tallo por unidad de longitud, resistencia a la penetración de la corteza, al aplastamiento, a la flexión y al quebrado del tallo.
- **Arquitectura de la planta:** altura de la planta, altura de inserción de la espiga y la relación entre ambas pueden ejercer un impacto significativo sobre la resistencia mecánica del tallo.

Los factores externos son:

- **Climáticos:** vientos fuertes, lluvias prolongadas y baja intensidad lumínica.
- **Daño por insectos:** barrenador del tallo.
- **Enfermedades de tallo.**

En general, la contribución de cada uno de estos factores puede variar temporalmente (según etapa de desarrollo) y espacialmente (según zonas del lote o diferentes regiones anatómicas de una planta) (Sekhon et al., 2020).

!!!Un concepto muy importante!!!

Relación fuente/destino: en estadios reproductivos, si la producción de fotoasimilados no es suficiente para llenar adecuadamente los granos, el mecanismo de **removilización** de carbohidratos desde el tallo a la espiga podría activarse e incrementar el quebrado. Este proceso se agravaría en altas densidades de siembra, en planteos de escasa fertilización, alta nubosidad o bajo cualquier situación donde la fotosíntesis por planta sea fuertemente limitada, disminuyendo la resistencia del tallo e incrementando el riesgo de quebrado. Esta hipótesis no fue rechazada ya que una investigación encontró que la tasa de quebrado aumentó al disminuir la cantidad de asimilados disponibles por grano (Eslava et al., 2008).

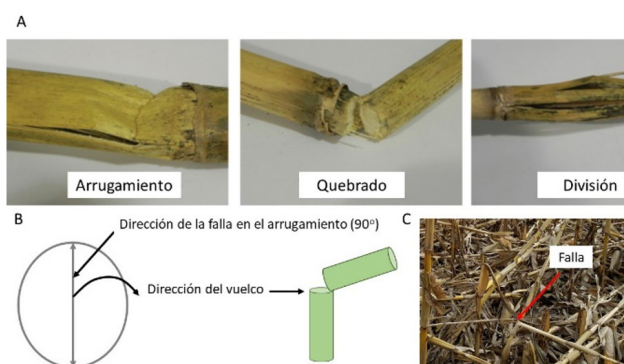


Figura 2. A) Tipos de falla en el tallo que pueden producir quebrado, B) Dirección del tipo de falla más frecuente (Arrugamiento) y C) Observación de falla a campo. Adaptado de Robertson et al. (2015) y Pederson (2019).

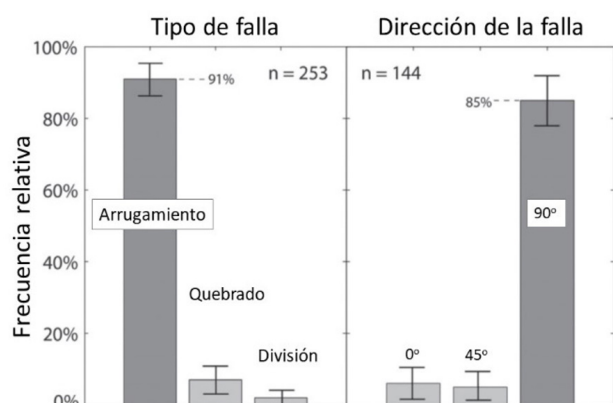


Figura 3. Frecuencia relativa (%) del tipo de falla y de dirección de la falla. Adaptado de Roberson et al. 2015

Vuelco

El término vuelco es utilizado cuando la raíz no puede mantener un fuerte contacto con el suelo o presenta un anclaje deficiente en el mismo (Berry et al. 2003). Este se diferencia del quebrado por presentar su origen a nivel radicular,

por lo tanto, una planta con vuelco puede presentar o no quebrado y en su máxima expresión podría presentarse como un desprendimiento del pan de tierra (descalze) que rodea la raíz (Ver figura 4).



Figura 4. Descalze por vuelco. Adaptado de Nielsen (2011).

Factores que condicionan al vuelco:

- **Edáficos:** suelos mal drenados, compactados, pesados o que presenten características que disminuyan el anclaje de las raíces.
- **Climáticos:** abundantes precipitaciones seguidas de fuertes vientos.
- **Daño por insectos:** larvas que puedan alimentarse de las raíces.
- **Raíces aéreas o fulcreas:** cantidad y diámetro de las raíces adventicias (Pellerin et al., 1990; Hébert et al., 2001).
- **Arquitectura de la raíz (***):** número, volumen, ángulo, diámetro, peso y longitud.
- **Manejo del cultivo.**

(***) Un estudio reciente determinó que aquellos genotipos que presentan raíces que exploran la mayor profundidad y poseen una alta relación profundidad/ancho, poseen una mayor resistencia al vuelco, indicando que el desarrollo vertical del sistema radicular es una característica importante para incrementar la resistencia al vuelco (Xue et al., 2020).

¿Como podemos “predecir” vuelco y quebrado a campo?

Existen técnicas que utilizan los semilleros de maíz que permiten predecir vuelco y quebrado y que constituyen herramientas útiles para registrar información en el fenotipado de un programa de mejoramiento.

- **Prueba de empuje o “push test”:** es una técnica manual que se utiliza para predecir plantas con alta probabilidad de volcarse o quebrarse.
- **Sensor “DARLING” (“Device for Assessing Resistance to Lodging in Grains”):** es un sensor que registra la fuerza ejercida para provocar la rotura del tallo.
- **Resistencia vertical a la tracción de la raíz (RVTR):** resistencia vertical soportada por la raíz hasta descalzarse. El cociente entre la biomasa aérea y la RVTR es considerado un buen predictor de la susceptibilidad al vuelco.

¿Cómo podemos medir vuelco y quebrado a campo?

Consideraciones clave:

- Inspección visual de la parcela o lote, en lo posible hacer vuelcos con un drone para identificar áreas con diferente magnitud del síntoma o si el problema responde a algún tipo de patrón.
- Generar estaciones de muestreo en las áreas afectadas o en el caso de ser un lote donde el problema se manifiesta de manera homogénea, procurar que el muestreo sea representativo de toda la superficie (según, un mínimo de 10 estaciones por lote de 100 hectáreas).

Conteo: en cada estación de muestreo se debe contabilizar el porcentaje de plantas afectadas, como la cantidad de plantas con vuelco y/o quebrado cada 100 plantas.

■ Determinación del agente causal:

- Problemas edáficos (utilización de pala, penetrómetro y/o tosquero) para identificar posibles compactaciones, visualizar el desarrollo radicular y la humedad del suelo.
- Consultar cómo se manifestó el clima: presencia de lluvias y vientos (dirección y magnitud).
- Registrar todo tipo de labores practicadas al cultivo, principalmente aplicaciones de herbicidas. Muchas situaciones de vuelco se asocian a aplicaciones de herbicidas hormonales por fuera de los estados fenológicos recomendados.
- Ingreso de animales al lote (vacas, caballos, chanchos).
- Daños por peludos.
- Corroborar si se relaciona con algún tipo de agente patógeno (Ver figura 5).

No siempre la presencia de hongos en el tallo es indicador de que sea el agente causal del problema. Como ejemplo, *Fusarium*, un hongo que convive en simbiosis con la planta en la mayoría de los lotes de producción, se vuelve patógeno

no cuando se produce un desbalance de carbohidratos en la planta (i.e., un desbalance en la relación fuente/destino) y se ve desprovisto de azúcares para su desarrollo.



F. graminearum



F. verticillioides



Colletotrichum graminicola

PTR:

- *Fusarium: F. verticillioides.*
- *Giberela: F. graminearum (Giberella zeae).*
- *Antracnosis: Colletotrichum graminicola.*
- *Diplodia: Stenocarpella maydis y macrospora.*
- *Macrofomina: Macrophomina phaseolina.*

Síntomas:

- Decoloración externa del tallo, enriado.
- Coloración rosada interna, enriado.
- Coloración oscura por fuera del tallo, en entrenudos.
- Coloración oscura por fuera del tallo, en nudos.
- Coloración grisácea interna, enriado.

Figura 5. Agentes patógenos que pueden generar vuelco.

Importancia del vuelco en un maíz silero versus un maíz granífero

Los híbridos de maíz son seleccionados en función al objetivo que persiguen, lo que comúnmente denominamos “destino”. Dentro de estos destinos encontramos a **los híbridos sileros y a los híbridos graníferos**.

Los híbridos de aptitud silera, además de tener como atributo de selección el rendimiento en materia seca total, deben cumplir con parámetros de calidad específicos de la fibra, principalmente la relacionada al tallo y sus componentes estructurales (recordemos que el órgano de consumo es la planta completa) quienes en conjunto determinan el rendimiento de materia seca digestible. Así, mejorar la digestibilidad de la biomasa para crear mejores forrajes se asocia frecuentemente con una menor resistencia del tallo y, por lo tanto, con una mayor incidencia de vuelco y quebrado (Pedersen et al., 2005; Feltus y Vandenbrink, 2012)

A pesar de que puede existir cierto grado de vuelco en estadios vegetativos avanzados o cerca de VT/R1, la importancia relativa del vuelco es mayor en un híbrido destinado a la producción de grano, debido a que en aquellos destinados a la producción de silaje, el picado se realiza alrededor del estadio R5.5, donde la planta presenta un mayor número de hojas verdes, un tallo fuerte por menor removilización de fotoasimilados y menor cantidad de materia seca en grano. Contrariamente, en un híbrido granífero el cual permanece mucho más tiempo en el campo, al momento de ser cosechado es co-

mún encontrarnos con un gran número de hojas senescentes, un tallo débil producto de la removilización de fotoasimilados al grano y un alto peso de la espiga, que sumado a posibles podredumbres de tallo y raíz podrían intensificar el vuelco y el quebrado del cultivo. Por esta razón, en aquellos híbridos graníferos o graníferos con aptitud silera la presencia de una mayor tolerancia al vuelco es fundamental.

Pautas de manejo para mitigar el vuelco de plantas

Las principales pautas de manejo para mitigar el vuelco son:

La elección del híbrido:

- Frecuentemente una menor altura de planta junto a una baja inserción de espiga se encuentra asociada a menor vuelco.
- “Stay Green”: híbridos que mantengan por más tiempo su área foliar verde y removilicen menor cantidad de fotoasimilados del tallo a los granos presentarán tallos más fuertes y sanos al momento del picado o la cosecha mejorando su comportamiento frente al vuelco.
- Los híbridos con raíces más largas que anchas que le permitan explorar perfiles profundos del suelo, mejoran el anclaje de las plantas disminuyendo el vuelco.
- Tolerancia a enfermedades de tallo y raíz mejorarían la tolerancia al vuelco y quebrado.

Densidad de plantas:

- Se debe tener en cuenta que existe una fuerte interacción híbrido × densidad y, por ello, el efecto de la densidad debe ser analizada para cada material en particular.
- Normalmente, en alta densidad, se eleva la probabilidad que, ante variaciones en la oferta de recursos, se produzcan cambios en la arquitectura de la planta (Ballaré et al. 1987) y en la partición de asimilados (Kebrom y Brutnell 2007), ocasionando que los entrenudos se alarguen aumentando la altura de las plantas y disminuyendo el diámetro del tallo (Lashkari et al. 2011; Maddonni et al. 2001, 2002; Sangoi et al. 2002). Adicionalmente, los cambios en la densidad también podrían cambiar la proporción biomasa aérea/biomasa radicular, así como la estructura de la raíz. De este modo, los cambios que favorezcan el aumento de dicha relación incrementarán el vuelco y aquellos que debiliten el tallo, por aumentar la eficiencia de removilización, como lo suelen hacer las altas densidades, favorecerán el quebrado.
- En general, la disminución de las densidades principalmen-

te en híbridos sileros, que poseen mayor porte de planta y suelen ser más planófilos que los graníferos, suele mejorar el comportamiento del cultivo frente al vuelco por generar un aumento en el diámetro del tallo y la resistencia a la penetración del mismo, y una disminución en la altura de la planta y de la espiga.

Nutrición del cultivo:

- Fertilizar los cultivos de manera balanceada (según, nitrógeno, fósforo, azufre y zinc) permitirá el correcto crecimiento tanto en biomasa aérea, como la radicular.
- Las aplicaciones de nutrientes como fósforo y potasio reducen el vuelco.
- Un correcto suministro de nitrógeno, sumado a aplicaciones fraccionadas aumenta el contenido de celulosa, lignina y nitrógeno total en el tallo, incrementando la fuerza mecánica del mismo y la tolerancia al vuelco (Wang et al., 2020).

Fecha de siembra:

- La relación fuente/destino explicado anteriormente, disminuye desde las fechas de siembra tempranas hasta las tardías. Así, este desbalance acrecentado en siembras tardías podría precisar de la removilización de fotoasimilados del tallo a los granos para finalizar su llenado, con su consecuente debilitamiento y aumento del riesgo de quebrado.
- Otro efecto del retraso en las fechas de siembra podría ser el crecimiento vegetativo exacerbado, que podría aumentar la relación biomasa aérea/biomasa radicular, incrementando el riesgo de vuelco y quebrado si se acopla a la disminución de la relación fuente/destino mencionado previamente.

Profundidad de siembra:

- Mayores profundidades de siembra mejoran el crecimiento de raíces adventicias y el anclaje de la planta.
- La desuniformidad en la profundidad, por ejemplo, por una elevada velocidad de siembra, podría generar sectores del lote con siembras superficiales, las cuales serían más propensas al vuelco. Velocidades de siembra entre 6 a 8 kilómetros por hora aseguran la uniformidad en la profundidad de siembra.
- La falta de profundidad de siembra en años secos y con un cultivo expuesto a fuertes vientos, desarrolla una afección denominada “maíz sin raíz”, cuyas plantas caerán tempranamente debido a que la misma impide el desarrollo de raíces adventicias.

Rotación de cultivos:

- Como una de las condiciones predisponentes para el que-

brado y vuelco es la presencia de enfermedades, la rotación de cultivos es una práctica fundamental para prevenir la infección de enfermedades de tallo y raíz y la generación de inóculo que permitan evitar nuevas infecciones.

Manejo de Herbicidas:

- Se debe considerar la selectividad de los herbicidas e incluso en aquellos registrados para el cultivo de maíz, algunos poseen efectos sobre el desarrollo radicular, causando principalmente crecimiento defectuoso de las raíces de anclaje y vuelco (Hormonales).

Compactación de suelos:

- Con los años de agricultura, muchos suelos productivos presentan compactación superficial o sub-superficial. Se recomienda medir compactación y en caso de que exista, realizar labranzas verticales.

Mensajes destacados

- El vuelco es un fenómeno complejo dado por una interacción de factores internos y externos que afecta negativamente el rendimiento y la calidad del cultivo de maíz.
- El vuelco se clasifica según su origen en dos tipos: **vuelco de tallo**, comúnmente llamado **quebrado**, y **vuelco de raíz**, denominado generalmente como **vuelco**.
- Cualquier situación que disminuya la relación fuente/destino podría aumentar la probabilidad de vuelco y quebrado.
- Las prácticas de manejo pueden mitigar el riesgo de vuelco y quebrado, principalmente la densidad y la nutrición.
- Se debe medir en caso de presentarse el problema e identificar el o los factores que lo desencadenaron.

Fuentes

Arnold, J. M., & Josephson, L. M. (1975). Inheritance of stalk quality characteristics in maize I. *Crop science*, 15(3), 338-340.

Ballaré, C. L., Sánchez, R. A., Scopel, A. L., Casal, J. J., & Ghersa, C. M. (1987). Early detection of neighbour plants by phytochrome perception of spectral changes in reflected sunlight. *Plant, Cell & Environment*, 10(7), 551-557.

Berry, P. M., Spink, J. H., Gay, A. P., & Craigon, J. (2003). A comparison of root and stem lodging risks among winter wheat cultivars. *The Journal of Agricultural Science*, 141(2), 191-202.

Eslava, F., Vega, C. R. C., & Coria, S. (2008). Progreso temporal del quebrado y vuelco de tallos en maíz bajo condiciones fuente-destino contrastantes. Reunión Latinoamericana [de Fisiología Vegetal]. 13. Reunión Argentina de Fisiología Vegetal. 27. 2008 09 21-24, 21 al 24 de septiembre de 2008. Rosario, Santa Fé. AR.

Feltus, F. A., & Vandenbrink, J. P. (2012). Bioenergy grass feedstock: current options and prospects for trait improvement using emerging genetic, genomic, and systems biology toolkits. *Biotechnology for biofuels*, 5(1), 1-20.

Flint-Garcia, S. A., Jampatong, C., Darrah, L. L., & McMullen, M. D. (2003). Quantitative trait locus analysis of stalk strength in four maize populations. *Crop Science*, 43(1), 13-22.

Hebert, Y., Guingo, E., & Loudet, O. (2001). The response of root/shoot partitioning and root morphology to light reduction in maize genotypes. *Crop science*, 41(2), 363-371.

Kebrom, T. H., & Brutnell, T. P. (2007). The molecular analysis of the shade avoidance syndrome in the grasses has begun. *Journal of experimental botany*, 58(12), 3079-3089.

Kratochvil, R. J., & Taylor, R. W. (2005). Twin-row corn production: An evaluation in the mid-Atlantic Delmarva region. *Crop Management*, 4(1), 1-7.

Lashkari, M., Madani, H., Ardakani, M. R., Golzardi, F., & Zargari, K. (2011). Effect of plant density on yield and yield components of different corn (*Zea mays* L.) hybrids. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 10(3), 450-457.

Maddonni, G. A., Otegui, M. E., & Cirilo, A. G. (2001). Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. *Field Crops Research*, 71(3), 183-193.

Maddonni, G. A., Otegui, M. E., Andrieu, B., Chelle, M., & Casal, J. J. (2002). Maize leaves turn away from neighbors. *Plant physiology*, 130(3), 1181-1189.

Nielsen, R. L. (2011). Prospects of Recovery for Root-Lodged Corn. *Purdue University*.

Pedersen, J. F., Vogel, K. P., & Funnell, D. L. (2005). Impact of reduced lignin on plant fitness. *Crop Science*, 45(3), 812-819.

Pederson Seed & Services. (2019). Our Stalk Rot Situation: Update and Best Management Practices

Pellerin, S., Trendel, R., & Duparque, A. (1990). Relationship between morphological characteristics and lodging susceptibility of maize (*Zea mays* L.). *Agronomie*, 10(6), 439-446.

Posicionamiento de Producto-KWS Argentina. 2021. Guía de Seguimiento de Ensayos.

Robertson, D. J., Julias, M., Gardunia, B. W., Barten, T., & Cook, D. D. (2015). Corn stalk lodging: a forensic engineering approach provides insights into failure patterns and mechanisms. *Crop Science*, 55(6), 2833-2841.

Sangoi, L., Gracietti, M. A., Rampazzo, C., & Bianchetti, P. (2002). Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. *Field Crops Research*, 79(1), 39-51.

Sekhon, R. S., Joyner, C. N., Ackerman, A. J., McMahan, C. S., Cook, D. D., & Robertson, D. J. (2020). *Field crops research*, 249, 107737.

Van Heerden, P. D., Singels, A., Paraskevopoulos, A., & Rossler, R. (2015). Negative effects of lodging on irrigated sugarcane productivity—An experimental and crop modelling assessment. *Field Crops Research*, 180, 135-142.

Wang, Q., Xue, J., Zhang, G., Chen, J., Xie, R., Ming, B., ... & Li, S. (2020). Nitrogen split application can improve the stalk lodging resistance of maize planted at high density. *Agriculture*, 10(8), 364.

Xue, J., Gao, S., Fan, Y., Li, L., Ming, B., Wang, K., ... & Li, S. (2020). Traits of plant morphology, stalk mechanical strength, and biomass accumulation in the selection of lodging-resistant maize cultivars. *European Journal of Agronomy*, 117, 126073.

Zuber, M. S., & Loesch Jr, P. J. (1966). Effects of Years and Locations on Stalk Strength in Corn (*Zea mays* L.) 1. *Agronomy Journal*, 58(2), 173-175.