



ESTUDIOS DE VIGILANCIA PARA EL SECTOR MAICERO

❖ VARIABILIDAD DE LA DISTANCIA ENTRE PLANTAS DENTRO DE LA HILERA DE SIEMBRA Y SU EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*ZEAMAYS L.*) EN ARGENTINA, BRASIL Y ESTADOS UNIDOS.

Resumen

Trabajos recientes de varias partes del mundo han reportado pérdidas de rendimiento de diferente magnitud asociadas a la variabilidad de la distancia entre las plantas dentro de las hileras de cultivos de maíz. Sin embargo, poco esfuerzo se ha hecho para cuantificar la variabilidad de esas estimaciones y compararlas. Aquí se exploran resultados de trabajos y estimaciones obtenidas en Argentina, Brasil y Estados Unidos con el objeto de establecer la magnitud y variabilidad de las pérdidas atribuibles a la desuniformidad de la distribución espacial de las plantas en cultivos de maíz. Se comparó el desvío estándar de la distancia entre plantas dentro de las hileras (DE; cm) como medida de desuniformidad y su relación con el rendimiento de los cultivos en las referencias estudiadas. En promedio, las pérdidas de rendimiento atribuibles a la variabilidad de la distancia entre las plantas dentro de la hilera fueron mayores en Argentina ($102,1 \pm 40,6$ kg ha⁻¹ cm⁻¹) que en Estados Unidos y Brasil ($67,4 \pm 28,9$ y $57,0 \pm 38,4$ kg ha⁻¹ cm⁻¹, respectivamente) cuando el DE superaba 5 cm. Se discute la importancia relativa de distintos factores determinantes de la desuniformidad y posibles causas de la variabilidad de la respuesta de los cultivos bajo distintos manejos y ambientes.

Palabras clave: establecimiento, desuniformidad espacial, uso de recursos, maíz, *Zea mays* L



● Introducción

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) posee una baja plasticidad vegetativa y reproductiva (Andrade et al., 2005). Esto reduce su capacidad para compensar problemas ocasionados durante la emergencia y establecimiento, convirtiendo al maíz en un cultivo sensible a la cantidad y calidad del estand de plantas logradas por su influencia sobre el aprovechamiento de recursos y el rendimiento. De hecho, el logro de un cultivo a la densidad deseada con emergencia uniforme y distribución de las plantas equidistantes es señalado como una condición necesaria para lograr altos rendimientos y optimizar el uso de los recursos ambientales y tecnológicos por parte del cultivo (Maroni y Gargicevich, 1998; Satorre y Maddonni, 2018). La uniformidad de siembra y el establecimiento de un cultivo de maíz pueden afectarse por múltiples factores que modifican la disposición de las semillas y el logro de las plantas en el terreno. Entre los más importantes suelen considerarse (i) el tipo de dosificador de la sembradora; (ii) la uniformidad en el calibre, forma y tamaño de la semilla; (iii) las características del sistema de conducción de la semilla (longitud y ángulo, entre otros, del tubo de bajada); (iv) la velocidad de siembra; (v) las condiciones del suelo a la siembra (temperatura, humedad); y (vi) la incidencia de plagas o enfermedades durante la emergencia (Balboa et al., 2008; Searle et al., 2008; Agnes et al., 2010; Kocher et al., 2011). La norma ISO 7256/1 (1984), en la evaluación de equipos sembradores, y muchos trabajos experimentales y relevamientos a campo (i.e. Nielsen, 1995; Lauer y Rankin, 2004; Liu et al., 2004; Satorre, 2005; Balboa et al., 2008; Ballvé et al., 2015) coinciden en utilizar el desvío estándar de la distancia entre plantas dentro la hilera de siembra (DE) para determinar la calidad de siembra e implantación de los cultivos. En el cultivo implantado, el DE, como atributo poblacional del estand, es un indicador del grado de variabilidad en la distribución de los recursos disponibles para las plantas. En maíz, al aumentar el DE la inequidad en la distribución de los recursos entre las plantas aumenta y la reducción del rendimiento de las plantas que disponen de menor cantidad de recursos no es compensada por el mayor rendimiento de aquellas que disponen de mayor cantidad de recursos debido a su baja plasticidad reproductiva (Andrade et al., 1996). El concepto de desuniformidad del estand



suele aplicarse no sólo a la distribución espacial de las plantas en el terreno, sino también a la distribución del tamaño o biomasa de las plantas del cultivo, frecuentemente generado por diferencias en el momento de la emergencia o condiciones durante el crecimiento de las mismas (Satorre, 2005). La desuniformidad asociada a las diferencias de tamaño entre plantas suele referirse como desuniformidad temporal, en relación a la demora en emergencia de algunas plantas, aunque esta no siempre sea la causa de la desuniformidad del tamaño de plantas en el cultivo. En contrapartida, se denomina desuniformidad espacial del cultivo a la asociada a la distribución de las plantas dentro de la hilera de siembra. Los objetivos de este trabajo fueron (i) caracterizar la desuniformidad espacial, recopilando y analizando informes de relevamientos llevados a cabo en Argentina, Estados Unidos y Brasil sobre cultivos comerciales de maíz; (ii) analizar evaluaciones de la relación encontrada entre el DE y el rendimiento en ensayos, caracterizadas a través de un valor simple de pérdida de rendimiento por cada centímetro de incremento del DE (pendiente de la relación); y (iii) analizar, a partir de la información disponible, la variabilidad de las pérdidas reportadas y atribuibles a la desuniformidad espacial de los cultivos de maíz.

- **Material y método**

Resultados que caracterizan la desuniformidad de cultivos en distintos lugares fueron recopilados. Estos corresponden a valores medios o rangos de variabilidad de relevamientos de lotes comerciales extraídos de fuentes bibliográficas o informes de proyectos de extensión conducidos en lotes de producción. La finalidad de estos relevamientos era, en todos los casos, evaluar la calidad promedio de implantación de cultivos. En unos pocos casos los trabajos exploraban posibles asociaciones entre las características ambientales, tipo de siembra y sembradora o de cultivo con los valores obtenidos. Identificar las causales particulares de los valores de desuniformidad encontrados no forma parte del objetivo de este trabajo y detalles o menciones a los mismos pueden ser encontrados en las citas respectivas. En Argentina y Estados Unidos se relevó información de lotes de maíz temprano implantados tanto en siembra directa como convencional con distintos tipos de sembradoras (usualmente neumáticas, de dedos o de placa). Cuando los resultados se refieren a cultivos en siembras



tardías se indica en el texto. Los híbridos utilizados (tanto de tipo flex o de espigas rígidas) y el manejo de los cultivos correspondían a los convencionales usados por los productores en cada región.

La estimación de los coeficientes de pérdida (kg RESULTADOS de merma de rendimiento producidos por cada cm de DE) corresponde también a valores promedio obtenidos y reportados en la bibliografía a partir de ensayos conducidos para determinar el impacto de la desuniformidad espacial sobre el rendimiento de plantas o cultivos de maíz. En unos pocos casos, las unidades o expresiones de los valores fueron transformadas a valores con unidades equivalentes para su análisis. Un total de 24 referencias (Cuadro 1) fueron utilizadas con reportes de valores del efecto de la desuniformidad espacial sobre el rendimiento de maíz temprano de primera a partir de ensayos conducidos tanto en grandes parcelas a campo como en pequeñas parcelas bajo condiciones semicontroladas. En los ensayos sobre grandes parcelas a campo se usaron sembradoras neumáticas y de placa y los patrones de desuniformidad se generaban a través de cambios en la velocidad de siembra, modificaciones de la placa o raleos posteriores a la emergencia de las plantas que permitían explorar comportamientos a campo con valores de DE entre 0-5 cm y hasta 25-30 cm según el trabajo. Los distanciamientos entre hileras variaron según ensayo entre 40 y 80 cm (Brasil), 52 y 70 cm (Argentina) y 76 cm (Estados Unidos). Los híbridos que se usaron en los ensayos, al igual que en los relevamientos de campo, correspondían a los difundidos en cada región tanto de tipo flex o de espigas rígidas. Los ensayos conducidos en condiciones semi-controladas correspondían a siembras manuales o con sembradoras que luego eran raleadas para generar los valores de desuniformidad explorados. En todos los ensayos se utilizaron densidades equivalentes a cultivos comerciales de alto rendimiento y, de cada ensayo sólo se reportan coeficientes de pérdida cuando la densidad en los tratamientos de desuniformidad se mantuvo aproximadamente constante. Una vez más, identificar la causa de la variabilidad de resultados no fue objetivo de este análisis, sino dar testimonio de los posibles resultados atribuibles al efecto del DE de la distancia entre plantas dentro de las hileras de maíz sobre el rendimiento. Los valores medios reportados en los trabajos encontrados fueron analizados



a través de estadística descriptiva y ANOVA, considerando el país de origen como fuente de variación.

- **Resultados**

Desuniformidad espacial en cultivos comerciales Observaciones en Argentina sobre lotes comerciales en distintas regiones muestran cultivos de maíz con valores medios desuniformidad espacial que varían en un rango amplio, según localidad y planteo productivo. En General Pico (La Pampa), el desvío estándar (en adelante, DE) de la distancia entre plantas en siembras tempranas de maíz varió en el rango 5,7-39,2 cm en tanto que en General Villegas (Buenos Aires) lo hizo entre 2,6 y 22,0 cm (Ballvé et al., 2015). En siembras tardías de maíz el rango de variación del DE se redujo a valores entre 6,8-22,0 cm y 2,6-6,9 cm, para General Pico y General Villegas, respectivamente. En el norte y centro de Buenos Aires los mismos autores (Ballvé et al., 2015) reportaron valores de desuniformidad espacial de los cultivos tempranos y tardíos con un rango de variabilidad más reducido (3,4 y 13,6 cm), sin diferencias entre fechas de siembra. En otro relevamiento (Guarino et al., 2015), sobre 94 lotes de producción en el este de La Pampa, el valor promedio de DE de la distancia entre plantas en las líneas de siembra para maíz temprano y tardío fue de 12,9 y 11,8 cm, respectivamente. Similarmente, monitoreos en 130 lotes comerciales de maíz de siembras tardías en el norte de la provincia de Córdoba mostraron valores medios de DE de 13,5 y 12,0 cm durante la campaña 2017 y 2018, respectivamente. El 75% de los lotes mostró registros de DE superiores a 10 y 8 cm durante 2017 y 2018, respectivamente. En ambos años un 25% de los lotes superó valores de DE de 16 cm (Satorre et al., 2019; Satorre, 2020). En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, en un relevamiento de 27 lotes comerciales Elorza y Satorre (2003) reportaron valores medios de DE entre 7,2 y 26,3 cm. Observaciones en 354 lotes comerciales en los estados de Indiana y Ohio, Estados Unidos, mostraron que el 60% de ellos tuvo valores de DE entre 10 y 14 cm; pero un 16% de los lotes superó valores de 14 cm en DE (Nielsen, 2004). En Wisconsin, mediciones de desuniformidad espacial en 87 lotes de maíz tuvieron un valor promedio de DE de 8,4 cm, con un rango de variabilidad entre 5 y 15 cm (Rankin y Lauer, 2000). Poco después, los mismos autores reportaron en 127 lotes de



maíz un valor medio de DE de 8,4 cm y valores en el rango 4,8- 17,3 cm en el mismo estado (Lauer y Rankin, 2004). A su vez, sobre 350 lotes de maíz en Idaho, Walsh et al. (2018) observaron que sólo el 16% de los lotes había logrado estands con valores de DE inferiores a 7,6 cm. El 60% de los lotes tuvo valores de DE entre 10 y 13 cm y un 25% de los lotes tuvo valores entre 15 y 30 cm de DE. Sin embargo, en North Dakota sobre 38 lotes comerciales Novak y Ransom (2018) reportaron valores medios de DE de 7 y 9 cm en grupos de cultivos considerados menos y más desuniformes, respectivamente. Varios trabajos referidos a la desuniformidad de los cultivos en Brasil coinciden en señalar que la desuniformidad de la distribución de plantas en maíz es un aspecto con importantes márgenes de mejora, en regiones como Santa Catarina o Rio Grande Do Sul (Rizzardi et al., 1994; Argenta et al., 2001; Da Silveira et al., 2005; Jasper et al., 2006; Vian et al., 2016). Sin embargo, ninguno de los autores provee valores de referencia obtenidos en condiciones de campo. En conjunto, con escasas excepciones, la caracterización de la desuniformidad de los cultivos a campo en Argentina y Estados Unidos muestra tanto cultivos muy uniformes (i.e. $DE < 5$ cm; Nielsen, 1993) como con una gran variabilidad en la desuniformidad espacial, incluso dentro de cada región relevada. Los autores y profesionales coinciden en mencionar que existe un amplio margen de mejora en los procesos que intervienen en el logro de cultivos espacialmente uniformes, debiendo prestarse atención a una adecuada calidad de implantación para aspirar a altos rendimientos.

Cuadro 1. Referencias y valores promedio de coeficientes de pérdida de rendimiento ($\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$) por desuniformidad espacial (DE) en maíz.

Origen	Autor	Año	Coefficiente de Pérdida ($\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$)
Estados Unidos	Nielsen	1995	60
	Doerge y Hall	2001	100
	Duncan	2001	101
	Doerge <i>et al.</i>	2002	84
	Lauer y Rankin	2004	29
	Liu <i>et al.</i>	2004	36
	Nielsen	2006	62
Argentina	Elorza y Satorre	2004	122
	Andrade <i>et al.</i>	2005	100
	Satorre	2005	49
	Satorre	2005	53
	Satorre	2005	100
	Satorre	2005	108



	Satorre	2005	107
	Olmos y Menéndez	2005	147
	Giuliano <i>et al.</i>	2006	85
	Giuliano <i>et al.</i>	2006	128
	Balboa <i>et al.</i>	2008	181
	Dámico <i>et al.</i>	2010	45
Brasil	Rizzardi <i>et al.</i>	1994	14
	Sangoi <i>et al.</i>	2012	82
	Sangoi <i>et al.</i>	2012	41
	Kolling <i>et al.</i>	2016	110
	Kolling <i>et al.</i>	2016	38

Desuniformidad espacial y pérdida de rendimiento El efecto de la desuniformidad espacial sobre el rendimiento puede estimarse a partir de pendiente (b) en la Ecuación 1: Ecuación 1

$$\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} = a \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} - b \text{ (kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}\text{)} \times \text{DE (cm)}$$

dónde “b” es la pérdida por cada unidad de aumento del DE de la distancia entre plantas dentro de la hilera del cultivo y “a”, el rendimiento del cultivo cuando todas las plantas son equidistantes; i.e. DE es igual a cero. Nielsen (1993; 2001) y Doerge et al. (2002) han indicado que un DE de 5 cm constituiría un umbral a partir del cual los rendimientos decrecen linealmente con el incremento de la desuniformidad. De este modo, la Ecuación 1 se expresaría como: Ecuación 2

$$\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} = a \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} - b \text{ (kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}\text{)} \times [\text{DE (cm)} - 5] \text{ si DE} > 5 \text{ cm}$$

En Argentina varios ensayos fueron llevados a cabo en los últimos años para establecer la pérdida de rendimiento atribuible a la desuniformidad espacial del cultivo de maíz (Cuadro 1). En ellos, los valores de pérdida unitaria de rendimiento (b) variaron entre un máximo de 181 kg ha⁻¹ cm⁻¹ de DE de la distancia media entre plantas en la hilera por encima de 5 cm (Balboa et al., 2008) y un mínimo de 45 kg ha⁻¹ cm⁻¹ (D’amico et al., 2010). Las reducciones relativas de rendimiento de maíz debidas a este factor variaron entre 6 y 15% para cultivos con rendimientos entre 8000 y 14000 kg ha⁻¹ y valores medios de DE entre 7 y 14 cm (Bragachini et al., 2002; Andrade et al., 2005; Olmos y Menéndez, 2005; Satorre, 2005; Giuliano et al., 2006; Balboa et al., 2008). Los trabajos realizados en Estados Unidos fueron los primeros en llamar la atención sobre el impacto de la desuniformidad espacial de maíz y han servido de base de casi todos los trabajos de Argentina y Brasil, comenzando por el realizado por Krall et al. (1977) y los realizados en la década del 90 por Nafziger et al. (1991),



Nielsen (1995) y Nafziger (1996). En esos trabajos fundacionales se reportaron pérdidas de rendimiento en maíz entre 230 y 60 kg de incremento del DE de la distancia entre plantas dentro de la hilera. Pérdidas entre 11 y 100 kg ha⁻¹ cm⁻¹ DE sobre un amplio rango de condiciones (sitios, años, densidades de cultivo y rendimientos) fueron reportados por varios autores (Doerge y Hall, 2001; Nielsen, 2001; Doerge et al., 2002; Nielsen 2004; Lauer y Rankin, 2004; Liu et al., 2004; Nielsen, 2006) (Cuadro 1). A diferencia de Argentina y Estados Unidos, gran parte de las investigaciones en Brasil exploraron cultivos a varias distancias entre hileras (entre 40 y 80 cm) y suelen expresar la desuniformidad utilizando el coeficiente de variación (CV) de la distancia media entre plantas dentro de la hilera. El CV es igual al desvío estándar (DE) dividido por la distancia media entre plantas (cm) y multiplicado por 100. Las pérdidas de rendimiento en estos trabajos variaron entre 64 y 187 kg ha⁻¹ por cada 10% de incremento del CV (Rizzardi et al., 1994; Sangoi et al., 2012; Kolling et al., 2016) equivalentes a pérdidas de entre 14 y 110 kg ha⁻¹ cm⁻¹ de aumento del DE, para los datos reportados con cultivos a densidades constantes entre 72000 y 83000 plantas ha⁻¹ y rendimientos de maíz superiores a 12000 kg ha⁻¹. Variabilidad y efecto comparado de la desuniformidad espacial Los resultados obtenidos por los autores en los ensayos relevados y llevados a cabo en los tres países, o calculados a partir de sus resultados, mostraron mayores coeficientes promedio de pérdida de rendimiento (b) en los trabajos de Argentina que en los trabajos de Estados Unidos y Brasil (Cuadro 2). La variabilidad del efecto de la desuniformidad espacial sobre el rendimiento en maíz citada en los trabajos analizados fue relativamente mayor entre las referencias al tema en Brasil (67,3%) que en Argentina (39,8%) y resultó intermedia entre los de Estados Unidos (43,8%) (Cuadro 1). Sin embargo, por el mayor valor de coeficiente de pérdida en Argentina el impacto sobre las diferencias de cuantificación de pérdidas de rendimiento de grano de maíz atribuibles a la desuniformidad espacial puede ser de mayor magnitud (Figura 1).

Discusión

Son pocos los trabajos en la literatura que han reportado mermas de rendimiento despreciables, en relación al número de los que sugieren la existencia de pérdidas



significativas en cultivos desuniformes, al estudiar el efecto del aumento de la desuniformidad espacial sobre el rendimiento de grano de maíz (i.e. Erback et al., 1972; Valentinuz et al., 2007). Todos los autores coinciden, sin embargo, en señalar la importancia de lograr estands uniformes de maíz para lograr altos rendimientos del cultivo, y ningún trabajo ha mostrado que cultivos con distribución uniforme de plantas en la hilera reduzcan su rendimiento (Thompson, 2013). Las altas velocidades de siembra se señalan como el causante más conspicuo de cultivos desuniformes en maíz. A mayor velocidad, la desuniformidad aumenta (i.e. Balboa et al., 2008) y frecuentemente se reduce la densidad lograda. En este sentido, algunos resultados sugieren que las pérdidas de rendimiento en cultivos desuniformes de maíz tienden a reducirse si las poblaciones logradas están cerca de las deseadas (Nafziger, 1996). Entre las prácticas que mejoran la uniformidad del cultivo, la reducción de la velocidad es una de alto impacto.

El calibre, forma y tamaño de la semilla de maíz es otro de los factores que incide sobre la calidad de siembra y uniformidad espacial del cultivo; por ello, la industria hace un gran esfuerzo en homogeneizar y caracterizar el calibre de las semillas para su venta. Así mismo, otros trabajos señalan la influencia del tipo de dosificador sobre la desuniformidad del cultivo. Las diferencias entre tipos de dosificadores aparecen bajo condiciones de siembra con diferentes pendientes, sistemas de labranza y velocidades (Da Silveira et al., 2005, Searle et al., 2008; Kocher et al., 2011). Los híbridos de maíz también pueden diferir en su respuesta a la desuniformidad espacial del stand. Los híbridos prolíficos, macolladores o de tipo flex, con mayor plasticidad reproductiva, podrían ser menos afectados por la desuniformidad (Andrade et al., 2005). Gran parte de los trabajos relevados analizaron la importancia relativa de las fallas y doble golpes sobre el efecto de la desuniformidad. La falla suele ser definida como aquella distancia entre plantas 1,75 veces mayor a la distancia normal deseada a la siembra. Mientras que el desplazamiento de las semillas en la línea podría tener un efecto despreciable si las plantas emergen corridas respecto de la ubicación buscada no más del 50% de la distancia normal entre plantas (Doerge y Hall, 2000). El incremento en el porcentaje de fallas ha sido identificado como el principal factor de pérdida atribuible a la desuniformidad espacial; de hecho, Nafziger (1996) señaló que las plantas distanciadas, debido a fallas, no



podían compensar enteramente (sólo entre el 47 y 19%) la pérdida de una planta en el cultivo y, en cambio, que los dobles llegarían al 80% de la productividad de dos plantas bien distribuidas. Las características del híbrido o la condición de cultivo podrían tener efecto sobre el rendimiento aumentando la habilidad de las plantas para compensar la desuniformidad espacial ante el incremento del porcentaje de fallas o doble golpes en el cultivo. Es conocido que la mayor capacidad del híbrido para fijar granos con bajas tasas de crecimiento, la mayor plasticidad reproductiva y vegetativa del genotipo y la mayor densidad de siembra tienden a reducir la importancia del doble golpe en la determinación de mermas de rendimiento (Andrade et al., 2005; Angelini et al., 2009).

Cuadro 2. Medidas resumen de coeficientes de pérdida de rendimiento ($\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$ de DE) obtenidos de trabajos experimentales publicados (casos) llevados a cabo en Argentina, Brasil y Estados Unidos. Se presenta el valor promedio $\pm$ desvío estándar, el mínimo (Mín) y máximo (Máx) valor reportado, la mediana y los percentiles 25 y 75 de resultados obtenidos en los trabajos de cada país. La diferencia entre valores promedio resultó significativa ($p < 0,05$) y la mínima diferencia significativa ($p < 0,05$) fue 40 fue $\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$ DE. A los fines del trabajo, el coeficiente de pérdida es el valor de pérdida de rendimiento ($\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$ DE) por encima de 5 cm (Ecuación 2).

Pérdida de rendimiento ($\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$ de DE de la distancia entre plantas dentro la hilera)							
País	Nº de casos	Promedio $\pm$ DE	Mín	Máx	Mediana	P(25)	P(75)
Argentina	12	102,1 $\pm$ 40,6	45	181	104	53	122
Brasil	5	57,0 $\pm$ 38,4	14	110	41	38	82
Estados Unidos	7	67,4 $\pm$ 28,9	29	101	62	36	100

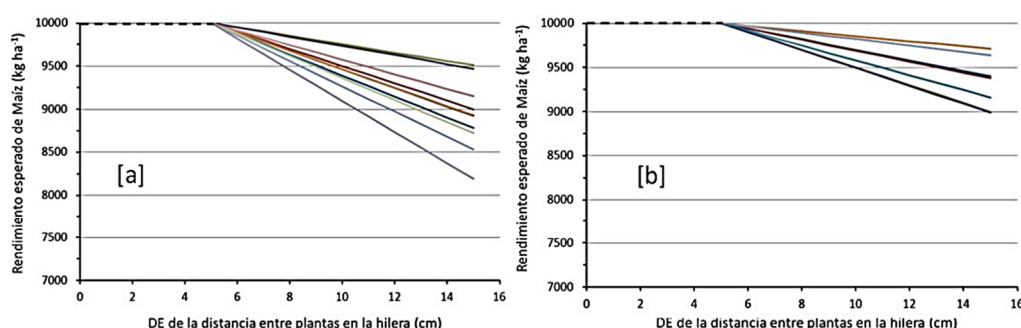


Figura 1. Modelos teóricos de las respuestas del rendimiento de maíz a la uniformidad de la distancia entre plantas dentro de la hilera de siembra según los coeficientes reportados en bibliografía de Argentina (a) y Estados Unidos (b). Los modelos lineales representan el rendimiento esperado de cultivos a una misma densidad y condición para cada coeficiente considerado en el análisis del Cuadro 1.

La desuniformidad espacial del estand se traduce en diferencias de crecimiento de las plantas lo que reduce el rendimiento de grano de maíz (Andrade y Abbate, 2005). Es de notar que muchos de los autores en los trabajos estudiados (Cuadro 1) coinciden en que la desuniformidad temporal (ver introducción), al aumentar el porcentaje de plantas estériles en el cultivo, es más importante que la espacial en maíz (i.e. Giuliano et al., 2006; Nielsen,



2006). Sin embargo, muchos señalan que ambos tipos de desuniformidad son responsables de pérdidas significativas de rendimiento en condiciones de campo. Por ello, reducir la emergencia desapareja de plantas y mejorar la uniformidad espacial buscando condiciones adecuadas y mejorando el proceso de siembra aparece como necesario para reducir pérdidas y aumentar la productividad de los cultivos en Argentina.

BIBLIOGRAFIA

- Agnes, R. W., Tourn, M.C. y Soza, E. L. (2010). Variabilidad en la distribución de semillas de maíz: una revisión. *Revista Facultad de agronomía*, 30(1-2), 101-121.
- Andrade, F. H. y Abbate, P. (2005). Response of maize and soybean to variability in stand uniformity. *Agronomy Journal*, 97(4), 1263-1269.
- Andrade, F. H., Cirilo, A., Uhart, S. y Otegui, M. (1996). *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Dekalb Press, Ed. La Barrosa, Balcarce, Argentina. 292 pp.
- Andrade, F. H., Sadras, V. O., Vega, C. R. C. y Echarte, L. (2005). Physiological determinants of crop growth and yield in maize, sunflower and soybean: Their application to crop management, modelling and breeding. En M. Kang (ed.). *Genetic and production innovations in field crop technology: new developments in theory and practice*. Binghamton, NY: Haworth Press/CRC Press. Pp. 51-101.
- Angelini, D., Valentinuz, O. y Cabada, S. (2009). Desuniformidad espacial: Ciclo, macollaje y prolificidad afectan la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.). *Revista Científica Agropecuaria*, 13(1), 17-24.
- Argenta, G., Ferreira da Silva, P. R. y Sangoi, L. (2001). Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. *Ciencia Rural*, 31(6), 1075- 1084.



❖ INNOVACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA AREPA DE MAÍZ EN COLOMBIA.

Resumen

El maíz o *zea mays* es un cereal, **una planta gramínea americana**, que se caracteriza por tener tallos largos y macizos (y no huecos como sus parientes más cercanos) al final de los cuales se dan espigas o mazorcas (inflorescencias femeninas), con sus semillas o granos de maíz dispuestos a lo largo de su eje. Esta fuente alimenticia popular viene implementándose en la últimas décadas debido a sus diferentes productos a comercializar como es el aceite de maíz, la harina de maíz, las palomitas o el jarabe de maíz; por ello los estudios sobre este producto es esencial para innovar y aprovechar todo sobre este cereal; en el Tolima municipios como venadillo, armero, Lérída entre otros son productores potenciales y se han venido sumando otros municipios.

• Introducción

El maíz es considerado uno de los tres cereales más consumidos a nivel mundial junto con el trigo y el arroz. Era el alimento base de la alimentación para la preparación de casi todos los alimentos en el continente americano, además de ser un elemento emblemático de las religiones y mitologías de todas las culturas indígenas en América. Esta planta puede ser cultivada en casi todas las latitudes, desde Canadá hasta Chile; no obstante, no existe certeza de la región originaria de la planta (1). Cuando los europeos llegaron a América adoptaron el maíz casi de inmediato, pero lo trataron como un grano que debía ser molido y transformado después en masa o en pan, lo que dio lugar a la arepa. En sus inicios, la arepa era un pan de maíz amasado y asado, que se elaboraba con forma de círculos y podía ser de diversos tamaños y grosores. Esta preparación se constituyó un alimento esencial, con características y cualidades importantes para las poblaciones del continente americano, aunque su elaboración, los ingredientes y la manera de cocerlas varían según el país (1). En el top de producción mundial de maíz encabezan la lista países como Estados Unidos, China, Brasil,



Argentina, siendo a su vez los mismos países, con excepción de China, los que encabezan la lista en materia de exportaciones. 1. Ingeniero agrícola, MSc. PhD. Profesor Asociado. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia – Colombia. Grupo de investigación GaMMA. 2. Profesional. EPM. 3. Profesional. Unidad de Transferencia de Tecnología - Universidad de Antioquia. 115 Algunos componentes generales, particulares y singulares del maíz en Colombia.

En Colombia, el cultivo de maíz tuvo sus inicios en el Valle del Alto Magdalena y en la zona de San Agustín, donde los indígenas cultivaban diferentes variedades conocidas hoy en día con los nombres de pira o reventón de pollo (3). El cultivo de maíz en Colombia es el cereal que registró mayor área sembrada en el año 2015, con 313.820 hectáreas distribuidas así: 238.238 hectáreas en maíz amarillo y 75.582 en maíz blanco. La siembra de maíz blanco decreció 16% y en área cosechada decreció 40,9%; en cuanto a la producción del mismo, se obtuvo una variación negativa del 42%, correspondiente a 133.963 toneladas menos que en 2014 (4).

El maíz es de importancia estratégica respecto a la demanda nutricional del país. Sin embargo, se destaca el bajo nivel de producción interno debido a problemáticas de cultivo en las diferentes regiones del país, como son la baja disponibilidad de genotipos de alto rendimiento y de buena adaptación, la falta de validación y transferencia de tecnología de los sistemas de preparación de suelos y cultivos, la deficiencia en el manejo de la cosecha y poscosecha, la escasa integración de la información local de la oferta ambiental con los requerimientos de genotipo y las relaciones eco-fisiológicas para mejorar productividad y adaptación. Adicionalmente, la carencia de un diagnóstico integral y un sistema de monitoreo de los principales factores bióticos y abióticos, la ausencia de un sistema de información y estrategias adecuadas de extensión y divulgación de los resultados de investigación, así como descoordinación institucional en el proceso de transferencia de tecnología y la debilidad en los estudios socioeconómicos sobre el cultivo del maíz en Colombia y la disponibilidad de la información para los usuarios (5). En Colombia se cultiva el maíz tradicional y el maíz tecnificado. El primero utiliza genotipos criollos y requiere de alto empleo de mano de obra



y muy pocos agroquímicos; se practica en granjas, haciendas o pequeñas extensiones de tierra y está dirigido en su mayoría para el autoconsumo. El cultivo de maíz 116 tecnificado, por su parte, emplea agroquímicos y diversa maquinaria agrícola para su recolección y procesamiento (tales como sembradoras, recolectoras y trituradoras), utiliza semillas certificadas, su práctica se lleva a cabo en extensiones de tierra relativamente grandes y está dirigido, en su mayoría, a la producción de alimentos balanceados para animales. En la década de 2004 al 2014 en Colombia el cultivo predominante fue el tecnificado, dado que su rendimiento ha aumentado con relación al maíz tradicional, el cual, por el contrario, presenta bajas en el mismo. En el 2004 los departamentos de Colombia en los cuales más se cosechaba el maíz tecnificado fueron: Córdoba con 46.777 ha, Valle del Cauca con 24.043 ha, Meta con 18.066 ha, Sucre con 16.989 y Tolima con 12.650. Estos mismos departamentos tenían la más alta participación en producción a nivel nacional: Córdoba el 30,9%, Valle del Cauca el 20,88%, Meta el 11,18% Tolima el 7% y Sucre el 5,5%; en total aportaron en producción de 491.189 toneladas de maíz tecnificado. En el 2014, los departamentos con mayor producción fueron: Tolima con 39.078 toneladas, Meta con 38.035, Córdoba con 19.255, Valle del Cauca con 16.788 y Huila con 16.278; participaron de la producción nacional con 27,02%, 26,28%, 11,75%, 12,33% y 7,8% respectivamente y aportaron un total en producción de 685.590 toneladas de maíz tecnificado (6). Se observa que en la década de 2004 al 2014 la producción del maíz tecnificado ha tenido un incremento alrededor del 30%. En el 2004 los departamentos de Colombia donde más se cosechó el maíz tradicional fueron: Bolívar con 66.914 ha, Antioquia con 53.825 ha, Córdoba con 33.782 ha, Cesar con 33.576 y Cundinamarca con 32. 289. Estos mismos departamentos tuvieron la más alta participación en producción a nivel nacional, Bolívar 16,4%, Antioquia 12,2%, Córdoba 9%, Cesar 7,8% y Cundinamarca 6,6%, aportando un total de 369.631 toneladas de maíz tradicional a la producción nacional. En el 2014, los departamentos con mayor producción fueron: Bolívar con 99.496 ha, Córdoba con 43.093 ha, Cesar con 34.203 ha, Antioquia con 30.661 ha y Magdalena con 30.450 ha; participaron de la producción nacional 117 Algunos componentes generales, particulares y singulares del maíz en Colombia y México con 22,46%, 11,6%, 7,9%, 7% y 5% respectivamente y aportaron un total en producción de 356.365 toneladas de



maíz tradicional (6). Se observa que en la década de 2004 al 2014 la producción del maíz tradicional ha decrecido alrededor del 4%. En las cifras reportadas en el anterior análisis se observa que en Colombia la cosecha y producción de maíz tradicional ha venido decreciendo respecto a la siembra y producción del maíz tecnificado. La producción nacional del maíz tecnificado creció en un 48% respecto a la producción del maíz tradicional.

La industria y el consumo de arepa en Colombia y en Antioquia La arepa es un icono de la gastronomía colombiana.

Esta puede ser, entre otras, de chόcolo o choclo, elaborada con maíz dulce tierno; blanca, elaborada de maíz blanco; de maíz amarillo, elaborada con maíz amarillo; de maíz pelado, elaborada con maíz previamente tratado con ceniza o cal para quitarle la cubierta de la semilla; de mote, que se prepara sin retirarle el afrecho al maíz o sancochada (hervida). En el mercado nacional hay un mercado en aumento (13) de distintos tipos de arepas de maíz como son: arepa blanca, amarilla, chόcolo, mote y de 119 Algunos componentes generales, particulares y singulares del maíz en Colombia y México maíz pilao. La arepa de maíz es un alimento tradicional que hace parte del patrimonio gastronómico de los habitantes de la ciudad de Medellín y, por lo tanto, es de alto consumo (14). En Antioquia se consume la “arepa paisa”, elaborada con maíz blanco, es delgada, sin sal y acompaña cualquier comida; también se consume la arepa de chόcolo, la arepa de mote y la arepa de maíz pilao, que se prepara con maíz entero. La arepa, con el 74,5% de preferencia, es el producto que predomina sobre otros alimentos que pueden ser buenos sustitutos a la hora de elegir, como el pan (16,0%). En Colombia, el pan y los derivados del trigo son consumidos principalmente por ciudades como Bogotá, Cali y Barranquilla (15). En Medellín, sin embargo, el consumo de pan es menor, aunque con un leve incremento en la población más joven, similar a la situación mundial, que muestra que los jóvenes prefieren el pan sobre otros alimentos (16). El consumo de arepas en el país está en aumento, aunque es un mercado tradicionalmente informal. El mercado formal sólo representa 60.000 millones de pesos y 10.500 toneladas de maíz anuales; del mercado informal no se encuentran estadísticas, pero se estima que puede ser superior, dado que estas cifras corresponden solo a los supermercados, pues no se cuenta con



la información de las tiendas de barrio (13). Las pequeñas fábricas de arepas han surgido en gran parte por la situación de desempleo del país, además porque se considera que esta actividad es de baja inversión y tecnología. En el mercado existen aproximadamente 12 compañías que procesan entre 200.000 y 250.000 toneladas anuales de maíz blanco para elaborar masas precocidas y hacer las arepas; el 70% de estas las elaboran las trilladoras del departamento de Antioquia, donde el consumo de arepa blanca es el más alto, si bien el maíz en su mayoría es importado (13).

El concepto de innovación y su importancia en la industria alimentaria De acuerdo con el concepto del Manual de Oslo, la innovación es la introducción de un nuevo –o significativamente mejorado– producto (bien o servicio), de un proceso, de un método de comercialización u organizativo. Puede ser en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores (18). Otra definición de Innovación, bastante aceptada, es la del “Manual de Frascati” de la OCDE, que expresa que la innovación es toda aquella actividad que tiene como resultado la generación y comercialización de nuevos productos, nuevos procesos, así como la introducción de cambios en la gestión (organizativos, en la comercialización, en el sistema financiero, entre otras) o cambios sociales que tienen que ver con el factor humano en la organización (19). Con respecto a la industria alimentaria, el concepto de innovación cobra relevancia en aspectos como la innovación empresarial, entendida como la creación de valor a través de nuevos productos, servicios y nuevas tecnologías (nuevo desarrollo, nuevas aplicaciones, nuevo empaque, nuevas propuestas de valor o funcionalidad). Se incluye en el concepto la captura de nuevos mercados, nuevos clientes y nuevos ingresos por medio de nuevos procesos, nuevos modelos de negocios y nuevos socios que permitan a la empresa estar mejor preparada para las oportunidades y problemas. Esto puede implicar nuevas formas de pensar, planificar y elegir, actuar, experimentar y colaborar (20). Del mismo modo, para la industria alimentaria la innovación puede diferenciarse en innovaciones de producto o servicio, que hacen referencia a la introducción de cambios en el diseño, fabricación y comercialización de un nuevo producto o servicio; innovaciones de proceso, que consisten en la introducción de nuevos procesos de producción, o la mejora de los ya existentes mediante la incorporación



de nuevas tecnologías, y las innovaciones en los métodos de gestión, que son aquellas que tienen lugar en la estructura administrativa. La práctica de estos distintos tipos de innovación se relaciona entre sí y en muchos casos con complementarias (21). No obstante, para el caso de la industria alimentaria se encuentran pocos estudios dirigidos al análisis de los cambios en la organización que tienen que ver con la implantación de nuevas formas de gestión de la producción, dentro de una estrategia innovadora de las empresas (22).

La aceptación del consumidor a la innovación en productos tradicionales

En cuanto a las expectativas del consumidor, la literatura reporta que las personas aceptan variedad de tipos de innovación y se resaltan las innovaciones que refuerzan el carácter tradicional del producto. También tienen alta aceptación por las innovaciones que mejoran los nutrientes y la seguridad del producto a través de reducción de contenido de grasa, azúcar, sal, uso de materias primas orgánicas y adición de ingredientes que generen beneficios para la salud y provean energía (28). Estudios relacionados con el consumo de alimentos (29) muestran que las personas prefieren un producto o marca cuando logran percibir su valor (sabor, color, precio, disponibilidad), en el caso de productos tradicionales se requiere generar efecto positivo en la identidad cultural, en tanto es el factor más relevante en la elección de un producto tradicional. Para el caso 126 de Medellín, en el mercado existen marcas reconocidas de arepas de maíz que distribuyen sus productos en tiendas y supermercados; no obstante, hay gran variedad de empresas que distribuyen sus productos sin marca, en especial en las tiendas de barrio. El análisis crítico y la validación de las prácticas antiguas de la ciencia y la investigación son el requisito previo para el desarrollo de Tradinnovations (Innovación tradicional); la cual se entiende como prácticas y técnicas derivadas del conocimiento histórico o pasado tradicional que tienen la capacidad de operar como innovaciones en la producción y desarrollo, a pesar de sus características aparentemente obsoletas y fuera de tiempo. Así, la innovación tradicional representa una forma de transmisión e información durante el tiempo, de hábitos y métodos, con un carácter de continuidad con la tradición, lo cual se constituye no solo en un vínculo con el pasado, sino también un impulso para el futuro (30). Considerando lo anterior, el riesgo que implica el



crecimiento de la preferencia de los jóvenes por el pan –la cual puede llegar a ser significativa con el tiempo– y el contexto de globalización que trae consigo variedad de productos sustitutos que poco a poco se insertan en el mercado, es clave innovar para las empresas productoras de arepas; es un asunto de supervivencia y sostenibilidad en un mercado hipercompetitivo. Por ello, la industria debe pensar en innovaciones que refuercen el carácter tradicional del producto, factor fundamental para el consumo de arepa de maíz, también innovaciones en métodos de producción, en modelos de negocio (crear valor, actividades clave), en modelos de gestión (organización) y en mercados y formas de distribución y comercialización (24). Para ello, es importante que la industria de arepas de maíz implemente procesos de gestión de la innovación que le permitan conocer las expectativas del consumidor en cuanto a innovaciones. En este sentido, las innovaciones que mejoren la calidad de producto, como la reducción de grasa, azúcar, sal, la adición de ingredientes que generen beneficios para la salud, uso de materia prima orgánica y nuevos procesos que mejoren la seguridad del producto, innovaciones relacionadas con el embalaje y eficiencia en su preparación, son muy bien valoradas por el consumidor y deberían orientar la gestión de la innovación de la industria. 127 Algunos componentes generales, particulares y singulares del maíz en Colombia y México Sin embargo, actualmente en la industria de arepas de maíz el valor agregado de sus productos es bajo y se tiene poca relación con la ciencia, la tecnología y la innovación. Sus ventajas competitivas provienen, predominantemente, del bajo costo relativo de la mano de obra, lo cual ha promovido la producción de grandes volúmenes, extendiendo el comercio de la arepa a otras regiones del país, como producto de alta demanda y fácil acceso, en cuanto a disponibilidad y costo.

La industria de la arepa de maíz en Colombia enfrenta una amenaza en cuanto al cambio de los hábitos de consumo de la población más joven y su preferencia por productos sustitutos como el pan, sin estar, en su mayoría, preparadas para llevar a cabo procesos de innovación orientados a responder a los nuevos retos del mercado. Aunque algunas empresas, en especial las más grandes, están innovando, es importante que la industria de arepas del maíz empiece a diseñar e implementar procesos de gestión de la innovación, que le permitan responder a las necesidades de los consumidores



BIBLIOGRAFIA

- 1. Daza BY. Historia del proceso de mestizaje alimentario entre España y Colombia. [Tesis doctoral]. Barcelona: Universidad de Barcelona; 2013.
- 2. International Grains Council. Grain Market Report. [Internet]. 2016. Disponible en: <https://www.igc.int/downloads/gmrsummary/gmrsumme.pdf>
- 3. Grande CD, Orozco BS. Producción y procesamiento del maíz en Colombia. Revista Científica Guillermo de Ockham. 2013;11(1):97–110.
- 4. DANE. Encuesta Nacional Agropecuaria ENA [Internet]. 2015. Disponible en: <http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuestanacional-agropecuaria-ena>
- 5. Superintendencia de Industria y Comercio. Cadena Productiva del Maíz: Industrias de Alimentos Balanceados y Harina de Maíz [Internet]. 2011. Disponible en: http://www.fenalce.org/nueva/plantillas/arch_down_load/CadenaMaizSIC.pdf
- 6. Agronet-Ministerio de Agricultura. Sistema de Estadísticas Agropecuarias – SEA [Internet]. 2014. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx> 128
- 7. Fenalce. Indicadores Cerealistas [Internet]. 2015. Disponible en: <http://www.fenalce.org/nueva/pg.php?pa=19>
- 8. Centro de Investigaciones y Documentación Socioeconómica - CIDSE. Diagnóstico sobre el maíz blanco en Colombia y el Diseño de un esquema para su importación. Santiago de Cali: Facultad de Ciencias Sociales y Económicas Universidad del Valle; 2004.
- 9. Uribe J.F. Las prácticas alimentarias relacionadas con la búsqueda del ideal corporal. El caso de la ciudad de Medellín (Colombia). Boletín de Antropología Universidad de Antioquia. 2006;20(37):227-250.



- 10. Balogh P, Békési D, Gorton M, Popp J, Lengyel P. Consumer willingness to pay for traditional food products. 2016;61:176–184. <http://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.03.005>
- 11. Bejarano J. Alimentación y nutrición en Colombia. Iqueima, Ed. Bogotá: Cromos; 1941.
- 12. Rivera LG. La cocina Tradicional paisa. 1a Ed. Medellín: Fondo editorial ITM; 2014.
- 13. Portafolio. Las arepas le presentan batalla comercial al pan; sólo Don Maíz vendió más de \$20.000 millones en 2008. [Internet]. 2009. Disponible en: <http://www.portafolio.co/economia/finanzas/arepas-le-presentan-batalla-comercial-pan-donmaiz-vendio-20-000-millones-2008-268738>
- 14. Corporación Academia Colombiana de Gastronomía. La arepa El pan nativo. Bogotá: Corporación Academia Colombiana de Gastronomía, Ed; 2005.
- 15. Fenalce. Metodología para el Análisis y Estructuración del Proyecto de Harinas Precocidas de Maíz [Internet]. 2007. Disponible en: <http://www.fenalce.org/archivos/HarinasPrecocidas.pdf>
- 16. Murcia JL. La dieta Mediterránea empuja el consumo del pan. Distribución y Consumo. 2014;14:60-66.
- 17. Zapata DS, Ceballos S, Lujan CJ. Situación sanitaria y determinación de la evaluación del riesgo en las empresas productoras de arepas de maíz del área metropolitana del departamento de Antioquia. [Tesis especialización]. Caldas: Corporación Universitaria Lasallista; 2013.
- 18. OECD, Eurostat. Manual de Oslo: Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación. 3ra ed. París: Grupo Tragsa; 2005.
- 19. González A, Jiménez J, Sáez F. Comportamiento innovador de las pequeñas y medianas empresas. Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la empresa. 1997;3(1):93–112.
- 20. Global Innovation Management Institute. Una Guía para el Conocimiento de la Gestión de la Innovación. 1ra ed. Cambridge, MA: GMI; 2010.



- 21. Ruíz J, Meroño AL, Sabater R. Information technology and learning: Their relationship and impact on organisational performance in small businesses. *International Journal of Information Management*. 2006;26(1), 16–29. <http://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2005.10.003>
- 22. García I. Las relaciones entre innovación, nuevas formas de organización del trabajo y políticas de recursos humanos: el caso de la industria asturiana. *EMPIRIA*. 2009;17, 63–90.
- 23. ENSIN. Encuesta Nacional De Situación Nutricional 2015. [Internet]. Disponible en: <https://www.fsfb.org.co/wps/portal/fsfb/inicio/saludpublica/programas/sectionItem/ensin>
- 24. Duque, E. B. (2015). Barreras a la innovación en las organizaciones colombianas. Bogotá D.C.
- 25. Úbeda R, Moslares C. Innovando la innovación. *Boletín Económico de ICE*. 2008;2942:27-37.
- 26. Marín JA, Pardo M, Bonavia T. La Mejora continua como Innovación Incremental: el caso de una empresa industrial española. *Dialnet*. 2008;(368):155-167.
- 27. Robledo J. Introducción a la Gestión de la Tecnología y la Innovación. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. [Internet]. 2016. Disponible en: <https://minas.medellin.unal.edu.co/centro-editorial/cuadernos/introduccion-a-la-gestion-de-la-tecnologia-y-la-innovacion>
- 28. Kühne B, Vanhonacker F, Gellynck X, Verbeke W. Innovation in traditional food products in Europe: Do sector innovation activities match consumers' acceptance? *Food Quality and Preference*. ELSEVIER. 2010;21(6):629-638. <http://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.03.013>
- 29. Chegini F, Sanei S, Baghayi S. An Examination of the Impact of Cultural Values on Brand Preferences in Tehran's Fashion Market. *Procedia Economics and Finance*. 2016;36:189-200.



- 30. Cannarella C, Piccioni V. Technovation Traditioventions : Creating innovation from the past and antique techniques for rural areas. Technovation. 2011;
31(12):689–699. <http://doi.org/10.1016/j.technovation.2011.07.005>
- <https://agricolajama.com/los-10-alimentos-derivados-del-maiz-mas-comunes/>
- <https://humanidades.com/maiz/>