

COMPORTAMIENTO DE HÍBRIDOS Y POBLACIONES DE MAÍZ EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA Y SIEMBRA DIRECTA.

Trabajo Final de Grado

del alumno



**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales.
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.**

Pergamino, 30 de Agosto de 2021

**COMPORTAMIENTO DE HÍBRIDOS Y POBLACIONES DE MAÍZ EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN AGROECOLÓGICA Y SIEMBRA DIRECTA.**

Trabajo Final de Grado
del alumno

KEVIN NAHUEL CIPOLLONE

Aprobada por el Tribunal Evaluador

Roberto Lorea
Evaluador

Marcelo Ferrer
Evaluador

Fabio Abrego
Evaluador

Luis Jacquelin
Co-Director

Daniel Presello
Director

**Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires**

Pergamino, 30 de Agosto de 2021

INDICE

RESUMEN.....	5
INTRODUCCIÓN.....	7
La importancia del cultivo de maíz en Argentina y el mundo.....	7
Características botánicas.....	7
Figura 1. Esquema de la radiación incidente y transmitida en un canopeo planófilo y erectófilo.....	8
Principales enfermedades de la región maicera en Argentina.....	9
Tipos de granos cultivados en la región.....	10
Agroecología.....	11
Producción orgánica.....	11
Módulo Agroecológico EEA Pergamino.....	13
Cuadro 1. Rotaciones Módulo Agroecológico en EEA INTA Pergamino desde el año 2008.....	13
HIPOTESIS.....	15
OBJETIVO GENERAL.....	15
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
Descripción del sitio experimental.....	17
Materiales genéticos.....	18
Diseño experimental.....	18
Caracteres evaluados.....	19
Figura 2. Escala utilizada para la evaluación de severidad de roya común del maíz (Peterson <i>et al.</i> , 1948).....	19
Escala fenológica.....	20
Análisis estadísticos.....	21
Características climáticas de Pergamino en las campañas 2019/2020.....	22
Figura 3. Temperaturas y precipitaciones en Pergamino, año 2019 (INTA Pergamino, 2021).....	23
Figura 4. Temperaturas y precipitaciones en Pergamino, año 2020 (INTA Pergamino, 2021).....	24
RESULTADOS.....	25
Tabla 1. Análisis de varianza de las variables estudiadas en un ensayo de comparación de híbridos de maíz en agricultura bajo siembra directa.....	26
Tabla 2. Análisis de varianza de las variables estudiadas en un ensayo de comparación de híbridos de maíz en agricultura bajo siembra directa.....	27

Tabla 3. Análisis de varianza de las variables estudiadas en un ensayo de comparación de híbridos de maíz en agricultura agroecológica.....	28
Figura 5. Biplot conformado por las dos primeras componentes principales en el ensayo agroecológico.....	30
Figura 6. Biplot conformado por las dos primeras componentes principales en el ensayo en siembra directa.....	31
Tabla 4. Comportamiento de genotipos de maíz evaluados en un ambiente de agricultura en sistema de siembra directa.....	32
Tabla 5. Comportamiento de genotipos de maíz evaluados en un ambiente de agricultura agroecológica.....	33
DISCUSIÓN.....	34
CONCLUSIONES.....	36
BIBLIOGRAFIA.....	37

RESUMEN:

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) participa tanto en los sistemas de producción en agricultura intensiva con alto uso de fitosanitarios, fertilizantes y otros insumos (sistema en siembra directa), como en otros en los que, por demandas del mercado o restricciones legales, se minimiza el uso de insumos (sistemas con bajo uso de insumos). Ejemplos de estos últimos son los de agricultura orgánica, agroecológica y periurbana. Los cultivares disponibles fueron mayormente desarrollados en condiciones de agricultura bajo siembra directa y existe escasa información sobre su comportamiento en sistemas agroecológicos. En estos sistemas, el cultivo encuentra un ambiente diferente debido al no uso o aplicación de diferentes fuentes de fertilidad y a las labores culturales como la principal tecnología para el control de plagas, enfermedades y malezas. El objetivo del presente trabajo fue estudiar el comportamiento de genotipos de maíz en ambos tipos de ambientes. Se evaluaron 12 genotipos: tres variedades de polinización abierta (Candelaria Dúo Inta, Exp. VPA 1 y Compuesto 2), un híbrido intervarietal (Cercospora AxB), un híbrido simple flint (Exp. 4664), un híbrido simple alto oleico (Tesai AO INTA), cuatro híbridos simples semidentados (Exp. ND, Exp. 1229, Exp. 2329 y Exp. 1712), un híbrido simple pisingallo (Exp. Pop) y un testigo el híbrido simple comercial (ACA 514). Se realizaron dos ensayos en diseños de bloques completos aleatorizados con dos repeticiones. Uno de los ensayos fue implantado en el Módulo Agroecológico de la Estación Experimental Agropecuaria de Pergamino y el otro en un lote bajo agricultura en siembra directa con alto uso de insumos, dentro de la misma Estación Experimental. La unidad experimental en el ensayo bajo condiciones de agroecología constó de 4 surcos de 30 m de longitud, distanciados a 0,70 m entre sí. La densidad de siembra fue de 6,45 semillas/m lineal. En el ensayo en agricultura intensiva, las parcelas fueron de 4 surcos de 5 m de longitud distanciados a 0,70 m entre sí, la densidad de siembra fue de 6 semillas por metro lineal. Se evaluó la cobertura foliar en V_8 y R_1 , altura de panoja y espiga, severidad de síntomas de enfermedades, rendimiento y humedad de grano. Se realizó un análisis de varianza para cada variable a fin de determinar la importancia relativa de los cuadrados medios y se compararon las medias dentro de ambiente (prueba t) para establecer diferencias entre materiales genéticos. El análisis de varianza para rendimiento reveló un efecto de interacción genotipo x ambiente significativo, lo que indica que no todos los genotipos selectos en agricultura en siembra directa tuvieron buen comportamiento en el sistema agroecológico. Se identificaron

materiales que igualaron o superaron el desempeño del testigo en cada uno de los caracteres evaluados. Los mayores rendimientos en el ensayo bajo siembra directa, los obtuvieron Exp. 1229 y Exp. 4664, sin embargo, en el sistema agroecológico, el Exp. 2329, Exp. 4664 y Exp. 1712 fueron los que más rindieron. También se observaron diferencias para las otras variables, incluyendo un alto nivel de cobertura en V₈ del Exp. 1712, que pudo haber contribuido a su buen comportamiento en el Módulo Agroecológico. Estos comportamientos diferenciales en ambos ambientes indican que la selección en condiciones agroecológicas producirá materiales mejor adaptados a estos sistemas.

INTRODUCCIÓN:

LA IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE MAÍZ EN ARGENTINA Y EN EL MUNDO:

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal de mayor distribución y producción a nivel mundial, es considerado indispensable para la alimentación humana y animal (García-Lara y Serna Saldívar, 2019; FAO, 2020). Además, se lo destina para industria, como, por ejemplo, producción de bioetanol, fabricación de pinturas y disolventes, productos cosméticos, polímeros biodegradables, entre otros (Cirilo e Izquierdo, 2013).

La producción anual a nivel mundial es del orden de las 1100 millones de tn y la superficie destinada para este cultivo es de 200 millones de has (Informes USDA, 2020). El continente americano aporta el 52,5% de la producción total, seguido de Asia con 29,1%, Europa 11,2%, África 7,1% y Oceanía 0,1% (FAO, 2020).

En nuestro país la superficie destinada para grano aproximadamente es de 6,3 millones de has y una producción de 50 millones de tn anuales (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2020), ocupando el cuarto puesto entre los países que más producen luego de Estados Unidos, China y Brasil (Maizar, 2020). En cuanto a la exportación, ocupa el tercer puesto, detrás de Estados Unidos y Brasil, con un total de 36 millones de tn, representando un 16,6% del total comercializado (Subsecretaría de Programación Microeconómica, 2020). El 80% de la producción de maíz se concentra en el norte de la provincia de Buenos Aires, el sudeste de Córdoba y el sur de Santa Fe, zona conocida tradicionalmente como “Zona Núcleo Maicera” (Subsecretaría de Programación Microeconómica, 2020).

CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS:

El maíz es un cultivo originario de la región central de América. Es una planta monocotiledónea anual de la familia de las *Poaceae*, perteneciente a la tribu Maídeas. Su tallo es cilíndrico, fistuloso y articulado, de crecimiento erecto, con 8 o más entrenudos, con una altura de entre 1,5 y 3 mts. Las hojas son lanceoladas, acintadas y paralelinervadas, tienen disposición alterna dística, provistas de una vaina glabra que nace de cada nudo (Raven *et al.*, 1992).

Las raíces conforman un sistema radical homorrizo. En conjunto adoptan una forma fasciculada, denominándose “raíces en cabellera”, cada una de ellas es delgada y poco

ramificada. Cumplen la función de aportar nutrientes, agua y sostén a la planta (García *et al.*, 2008).

Es una planta diclino-monoica, es decir, posee flores masculinas y femeninas en el mismo pie. Las primeras están situadas en la parte superior de la planta en una panoja. Mientras que las flores femeninas, las futuras espigas, se sitúan a media altura de la planta (García *et al.*, 2008).

El fruto es un cariopse de coloración amarillento o rojizo dependiendo del híbrido (García *et al.*, 2008).

A nivel de cultivo, el canopeo presenta diferencias estructurales dependiendo del cultivar. El coeficiente de atenuación lumínica (coeficiente k), depende de las propiedades ópticas y geométricas del canopeo entre las que cabe mencionar el ángulo que forman las hojas con el eje vertical y su disposición en el plano horizontal. Así, canopeos erectófilos (Figura 1), aquellos que tienen menor ángulo de inserción de las hojas con respecto al tallo, presentan un menor valor de k que aquellos planófilos (Pepper *et al.*, 1977). A medida que aumenta el coeficiente de atenuación, mayor es la proporción de la radiación interceptada por unidad de área foliar.

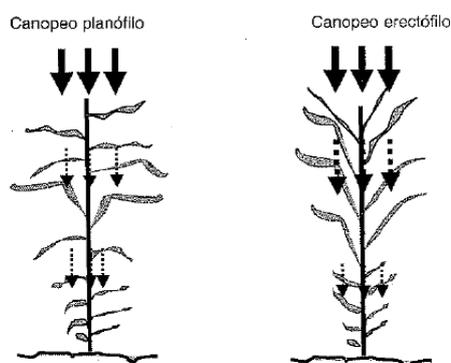


Figura 1. Esquema de la radiación incidente (líneas continuas) y transmitida (líneas punteadas) en un canopeo planófilo y erectófilo.

Para el cultivo de maíz, el valor k varía a lo largo de su ciclo (Maddonni y Otegui, 1996).

Dentro de la especie, existen híbridos que son más planófilos que otros, lo que los hacen más competitivos frente a las malezas, ya que cierran el entresurco más rápido y no permiten el pasaje de la luz a estas últimas.

PRINCIPALES ENFERMEDADES DE LA REGIÓN MAICERA EN ARGENTINA:

Entre las principales enfermedades presentes en Argentina se destacan enfermedades foliares, tales como, roya común y tizón foliar, y podredumbres de espiga.

La roya común de maíz, causada por *Puccinia sorghi*, es una enfermedad endémica de la zona maicera núcleo Argentina, que se caracteriza por la presencia de pústulas pequeñas y pulverulentas, por lo general ocurren en bandas y en la parte media de la hoja, tanto en el haz como en el envés, produciendo una reducción del área fotosintéticamente activa, aumento de la respiración y disminución de la translocación de fotoasimilados (González, 2005). Las pústulas son de color café claro en las etapas iniciales de la infección, luego se rompe la epidermis y las lesiones se vuelven negras a medida que avanza en el ciclo la planta (CIMMYT, 2004).

P. sorghi es un hongo del orden Pucciniales. Las condiciones predisponentes para el desarrollo de la enfermedad son alta humedad (100%) y temperaturas entre 16 y 23°C (González, 2005).

En la campaña 2004-05, ocurrió una importante epifitía con altos valores de severidad de infección, además las variantes patogénicas causaron un alto tipo de infección de grado 4 en la zona maicera de Argentina desde estadios vegetativos, que obligó al uso de fungicidas (González, 2005).

El Tizón común, es una enfermedad que adquiere importancia en siembras tardías (diciembre y enero), y en las zonas más templadas o al norte del país (Formento, 2001). El agente causal es el hongo denominado en su forma asexual *Exserohilum turcicum*, perteneciente al orden de los Pleosporales. El progreso de la enfermedad se ve favorecido por temperaturas moderadas y largo periodos de mojado foliar por lluvias o rocío, condiciones que coinciden en la región maicera con los estados reproductivos del maíz (de Souza, 2007). El signo de esta, son lesiones elípticas de 2 a 30 cm de largo de color verde grisáceo que luego se vuelven de color gris, limitadas por un margen más o menos definido, oscuro marrón-rojizo (AAPRESID, 2020). Cuando no hay resistencia por parte del hospedante y persisten las condiciones óptimas de infección, estas lesiones pueden dañar toda la hoja (Galiano-Carneiro y Miedaner, 2017; Kotze et al., 2018).

La pudrición de la espiga, es una enfermedad causada por un complejo fúngico, necrotróficos, y los principales son: *Fusarium graminearum*, *Fusarium verticillioides* y *Aspergillus spp.*

La podredumbre de la espiga causada por *Fusarium graminearum*, un hongo hemibiótrofo del orden Hypocreales. Los primeros síntomas de la infección es la formación de micelios blancos, que van descendiendo desde la punta de la espiga y dan una coloración rojiza y rosada a los granos infectados (CIMMYT, 2004). Las principales toxinas, producidas por esta especie, causan efectos estrogénicos y anabólicos en los seres vivos (Pereyra y Acosta, 2014).

En cuanto a la podredumbre de la espiga causado por *Fusarium verticillioides*, los granos infectados desarrollan un moho algodonoso color salmón, blanquecino o rosado algunas veces acompañado por la presencia de rayas blancas en el pericarpio, denominadas estrías (CIMMYT, 2004). El patógeno no solo determina una disminución de los rendimientos por el deterioro de los granos, sino que también la contaminación de los mismos con micotoxinas fumonisinas, también reduce la comercialización del grano de maíz; siendo un riesgo para la salud de las personas y animales (Presello *et al.*, 2011; Mueller *et al.*, 2016).

Los hongos que atacan al maíz tanto en campo como en almacenamiento pertenecen a los géneros, *Aspergillus* y *Penicillium*; estos organismos son productores potenciales de micotoxinas (Hernández *et al.*, 2007; Montes *et al.*, 2009). Estas causan efectos tóxicos en seres vivos expuestos al grano contaminado (Klich, 2002). Pertenecen al orden de Eurotiales.

TIPOS DE GRANOS CULTIVADOS EN LA REGIÓN:

Se cultivan maíces con diferente tipo de grano, en el caso de maíz flint o plata, el grano es liso y redondeado, el endosperma córneo se encuentra en toda la periferia del grano, prácticamente sólo tiene reservas de almidón duro y la capa que lo protege (el pericarpio) es bastante gruesa, tiene alto contenido de pigmentos y gran proporción de proteínas, lo que confiere una importancia para el consumo de alta calidad de alimentos (FAO, 2020). Maíz harinoso, tiene una pequeña porción de endosperma duro por fuera, pero principalmente casi la totalidad del mismo corresponde al endosperma blando o harinoso (FAO, 2020). El maíz pisingallo, el grano es pequeño y duro, rodeado de un grueso

pericarpio, cuando el grano se calienta, la humedad contenida en su interior se expande creando tal tensión, que acaba reventando la cubierta, excediendo el pericarpio, produciéndose una pequeña explosión (De Bernardi, 2017). El grano del maíz dentado es normalmente de color amarillo o blanco, tiene el almidón dispuesto en dos depósitos distintos: duro o córneo en los laterales y blando o harinoso hacia el centro. Al secarse el grano, el depósito blando colapsa y se forma la característica hendidura que le da el nombre (FAO, 2020). En la región maicera argentina se cultivan la mayoría de estos tipos de granos con cultivares híbridos y, en algunas explotaciones con limitaciones de capital o inestabilidad de los rendimientos debido a condiciones ambientales, también se utilizan variedades de polinización abierta.

AGROECOLOGÍA:

Es una disciplina que provee los principios ecológicos básicos sobre cómo estudiar, diseñar y manejar agroecosistemas que son productivos y a su vez conservadores de los recursos naturales y que, además, son culturalmente sensibles y socialmente y económicamente viables (Altieri, 1999).

Propone una mirada diferente de la agricultura, desde una perspectiva sistémica con énfasis en la biodiversidad. Es una sinergia entre diversas ciencias: agronomía, sociología, conocimiento tradicional, economía, ecología y política.

El enfoque sistémico de la agroecología está orientado al uso de los recursos existentes en el predio. Enfatiza el mantenimiento de la fertilidad del suelo y su actividad biológica mediante el diseño de una rotación de cultivos con cultivos de cobertura, praderas y ganadería. Excluye el uso de insumos sintéticos y semillas genéticamente modificadas. La certificación de la producción es participativa y está basada en la confianza de los agricultores.

PRODUCCIÓN ORGÁNICA:

Sigue los mismos principios que la agroecología, pero con menor impronta social. Está más orientada hacia la agroexportación. El proceso de transición hasta lograr la certificación orgánica de la producción requiere del pago de un canon e inspecciones periódicas.

Existe una tendencia de mercado creciente bajo esta modalidad de cultivo. Por ejemplo, en Estados Unidos las importaciones de productos orgánicos vegetales, registró un incremento de 667 a 1.655 millones de dólares desde 2011 a 2016, lo que representa aproximadamente un incremento del 30% anual. La participación del grano de maíz en estas importaciones llegó a un valor de 160 millones de dólares en 2016. En Argentina, se exportaron hasta 2015 un promedio de 10.000 t / año. La producción orgánica recibe un sobreprecio que fluctúa de 10 a 100% del valor del grano, con valores actuales de aproximadamente 40%, una parte de esta producción es certificada por SENASA y el resto por otras certificadoras (Presello, comunicación personal). La superficie certificada por SENASA en 2018 abarcó 4114 ha (SENASA, 2019).

Uno de los requisitos de la agricultura orgánica es el uso de semilla no OGM (Organismos Genéticamente Modificados). El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria ha desarrollado híbridos y variedades no transgénicas de maíz adaptados a la agricultura bajo siembra directa y estos materiales podrían ser de utilidad para cultivos agroecológicos, en la medida que demuestren buen comportamiento en estos sistemas.

Considerando la problemática de la exposición a productos fitosanitarios y el sobreprecio que reciben los cultivos orgánicos, esta modalidad podría dar solución a la agricultura periurbana con una importante demanda potencial para materiales adaptados a esta estrategia productiva. Existe preocupación en la mayor parte de los municipios argentinos por los contaminantes de la agricultura. En la localidad de Pergamino el Juzgado Federal de San Nicolás estableció una franja de exclusión de 1.095 metros para las aplicaciones terrestres y de 3.000 metros para las aplicaciones aéreas, en toda la zona urbana y periurbana de la ciudad. Muchos productores deberán optar por prácticas de manejo alternativas en función de la normativa vigente (Bontempo, 2019).

En la zona norte de la provincia de Buenos Aires, en los partidos de Leandro N. Alem, San Antonio de Areco, Arrecifes, Chacabuco, Chivilcoy y Pergamino, si bien cada municipio tiene su ordenanza, se estima que la superficie alcanzada por esta medida es alrededor de 200.000 hectáreas (18% de la superficie de los partidos) (Bustos y Ferreyra, 2019).

En la agricultura bajo siembra directa, se utilizan los agroinsumos necesarios para combatir a las plagas, con el fin de lograr mayores rendimientos de los cultivos. El uso

excesivo de estos, producen eutrofización, contaminación de aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación de los ecosistemas y reducción de la biodiversidad. Además, aumenta la susceptibilidad de los cultivos a las plagas, ya que se eliminan la acción de los enemigos naturales cuando se hacen los tratamientos con un diagnóstico inadecuado.

MODULO AGROECOLOGICO EN EEA PERGAMINO:

Es un sistema mixto agrícola-ganadero donde los cultivos extensivos entran en rotación con pasturas a base de alfalfa y festuca y cultivos de cobertura, con el objetivo de tener mayor diversidad productiva, otorgando mayor resiliencia. Se utilizan implementos mecánicos y rolo faca diseño Dolby en siembra directa; no se utilizan productos químicos, solamente bioinsumos. La fertilidad del suelo se mantiene por la rotación y aportes de materia orgánica y nitrógeno por cultivos de cobertura y pasturas.

La experiencia se inicia con una pastura perenne bajo pastoreo (1998-2003) con alta infestación de gramón (*Cynodon dactylon*), realizando el control por única vez con glifosato. Las rotaciones a partir del 2008 se presentan a continuación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rotaciones Módulo Agroecológico en EEA INTA Pergamino desde el año 2008

AÑO	FRANJA 1	FRANJA 2	FRANJA 3	FRANJA 4	FRANJA 5
2008/09	Soja	Maíz	Girasol	Trigo/Moha	Pastura
		Avena+Vicia	Avena+Vicia	Avena+Vicia	
2009/10	Trigo/Moha	Girasol	Soja	Maíz	Pastura
	Avena+Vicia		Avena+Vicia	Avena+Vicia	
2010/11	Girasol	Trigo/Moha	Maíz	Soja	Pastura
	Avena+Vicia	Avena+Vicia		Avena+Vicia	
2011/12	Maíz	Soja a 0,52 m y 0,35 m	Trigo/Moha	Girasol	Pastura
		Avena	Triticale+Vicia villosa	Triticale+ Vicia villosa	

2012/13	Trigo	Soja a 0,35 m	Maíz a 0,70 m y Soja 0,175 m	Maíz a 0,52 y Soja 0,175 m	Pastura
			Vicia villosa	Triticale	Triticale
2013/14	Siembra de pastura 1 año	Trigo	Maíz	Soja	Soja
			Triticale		Vicia villosa
2014/15	Pastura 2 años	Siembra de pastura 1 año	Soja	Trigo	Maíz
			Vicia	Triticale	
2015/16	Pastura 3 años	Pastura 2 años	Maíz	Soja	Soja
				Vicia	
2016/17	Pastura 4 años	Pastura 3 años	Arveja/Moha	Maíz	Trigo/soja
				Triticale	Vicia
2017/18	Pastura 5 años	Pastura 4 años	Siembra de pastura 1 año	Soja	Maíz
					Triticale
2018/19	Trigo/soja	Pastura 5 años	Pastura 2 años	Siembra de pastura 1 año	Soja

Las leguminosas de invierno utilizadas como cultivo de cobertura son *vicia villosa* y *vicia sativa*, sembradas con una densidad de 25 y 40 kg/ha respectivamente, durante mayo-junio. Se hace barbecho hasta fin de noviembre y se implanta maíz de segunda, o bien, se hace un rolado en estado de floración/formación de vainas en el mes de octubre y se efectúa en siembra directa maíz de primera.

Una característica importante de *vicia villosa* es que presenta porte achaparrado y mayor resistencia al frío que *vicia sativa*, cubriendo rápidamente el suelo, favoreciendo una temprana competencia contra las malezas. (Jacquelin, 2018).

En cuanto a las gramíneas de invierno, se siembran en abril-mayo Avena /Triticale a razón de 100 kg/ha. Se incorporan en espigazon/floración en octubre, y se tienen dos alternativas, se hace un barbecho hasta mediados de noviembre y se siembra soja de segunda, y la otra, se hace rolado y siembra directa para soja de primera. Se utiliza Triticale (x *Triticosecale Wittmack*), ya que presenta mayor resistencia al frío y genera más cantidad de materia seca/ha comparada con Avena (*Avena sativa*) (Jacquelin, 2018).

Entre los años 2013 y 2017, se implantaron en siembras de segunda luego de vicia, la variedad Candelaria y los híbridos flint no OGM de criadero Rusticana; NT 426, NT 525 y NT 623. Estos materiales no manifestaron problemas de quebrado por *Diatraea saccharalis* ni enfermedades foliares. En el año 2018, se evaluó Candelaria Dúo INTA y los híbridos flint NT 525 y 7742 del criadero Argenetics cuyos rindes fueron de 104 qq/ha, 95 qq/ha y 124 qq/ha respectivamente, en siembras tempranas luego de una pastura base alfalfa. Es interesante destacar el rendimiento de la variedad frente a los híbridos, pensando en la posibilidad de reservar semilla, ahorrar costos y mantener un aceptable nivel de rendimiento (Jacquelin, 2018).

La elección del cultivar es un aspecto crítico en la producción de las especies de interés comercial, como es el caso del maíz. Los cultivares de maíz disponibles actualmente fueron desarrollados mayormente para condiciones de agricultura tradicional, con alto uso de fitosanitarios y fertilizantes, y existe escasa información sobre el comportamiento de estos materiales en sistemas de producción con menor usos de insumos, como los de agricultura orgánica y agroecológica. La evaluación del germoplasma disponible en ambos sistemas de producción, permitirá conocer la importancia de la interacción genotipo x sistema de producción a fin de inferir en qué medida los resultados son extrapolables de un sistema a otro.

HIPOTESIS:

Existen materiales aptos para la agricultura agroecológica, dentro de un grupo de genotipos de maíz de buen comportamiento en agricultura bajo siembra directa.

OBJETIVO GENERAL:

Identificar cultivares de maíz aptos para la agricultura agroecológica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Caracterizar el rendimiento y el comportamiento agronómico de un grupo de cultivares de maíz en condiciones de manejos contrastantes de agricultura bajo siembra directa y agroecológica.
2. Estudiar los efectos de la interacción genotipo x sistema de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS:

DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL:

Los experimentos utilizados en esta tesis, se llevaron a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria de Pergamino (EEA Pergamino), localizada en las coordenadas geográficas 33°57'16" Sur y 60°33'40" Oeste, con altitud de 56 msnm. Uno de ellos se realizó bajo sistema agroecológico y el otro en sistema bajo siembra directa. Ambas unidades experimentales fueron ubicadas en la Carta de Suelo INTA, hoja 3360-32-2. La clasificación taxonómica según el sistema Soil Taxonomy (2006), corresponde para ambos ensayos, a los subgrupos Argiudol típico, para la serie Pergamino.

En el ensayo agroecológico, el antecesor fue soja de segunda, laboreado con disco de doble acción, el día 18/07/19 y por segunda vez el 23/08/19. Por último, el 17/09/19 fue laboreado con 2 pasadas de disco-rastra, con el fin de evitar la presencia de malezas en el momento de la siembra del cultivo. La fecha de siembra fue el 8 de octubre del 2019. La densidad de siembra fue de 6 semillas/m lineal de surco, utilizando una sembradora Gasparde de 4 surcos a 0,70 m. Durante el desarrollo del cultivo, se laboreó con un escardillo para mantener a las malezas por debajo del umbral crítico cuando el cultivo estaba en V₅.

En el ensayo con sistema de siembra directa, el cultivo antecesor fue soja de segunda, y se realizó la aplicación de 2 l/ha de Atrazina 90% y 1,5 l/ha de S-metaloclor 96% durante el barbecho, para poder llegar al momento de la siembra con el menor número posible de malezas. Luego en postemergencia del cultivo, cuando el cultivo estaba en V₆, se aplicó 0,1 l/ha de Topramezone 33,6% y 2 l/ha de Atrazina 90%. La siembra se realizó en directa el día 20 de octubre del 2019 con una sembradora Baumer con surcos a 70 cm de distancia y una densidad de 6 plantas por metro lineal. A la siembra, se realizó la aplicación de un fertilizante con mezcla física, con una dosis de 180 kg/ha, cuya composición es (7-40-0-0-0-5), y 210 kg/ha de urea (46-0-0) a la siembra. Luego se agregaron 150 kg/ha de urea en V₈. La composición química de los fertilizantes se establece según los grados, es decir, el contenido de nutrientes primarios que forman parte del fertilizante, expresado en porcentaje en peso, números enteros, separados por guiones y en el siguiente orden: (N- P- K- Ca- Mg- S).

MATERIALES GENÉTICOS:

Se utilizaron doce genotipos, incluidos en el presente trabajo, los cuales son cultivares o materiales avanzados desarrollados en la EEA Pergamino, bajo condiciones de siembra directa y presentaron en experimentos previos buen comportamiento en la región.

- Candelaria Dúo INTA. Es una variedad de polinización abierta obtenida mediante siete ciclos de selección recurrente por prolificidad a partir de la variedad Candelaria. El potencial de rendimiento es más bajo en comparación al de los híbridos. Su condición de material colorado duro libre de transgénicos le da ventajas competitivas en la exportación del grano.
- Exp VPA 1: es una población experimental derivada de la recombinación de Candelaria Dúo INTA y materiales selectos del programa.
- Compuesto II es una población experimental derivada de la selección de materiales argentinos x caribeños y mejorada durante varios ciclos.
- Cercospora AxB: es un híbrido intervarietal formado por dos poblaciones desarrolladas por resistencia a *Cercospora sp.*
- Tesai AO INTA: es un híbrido simple con alto contenido de ácido oleico en el aceite.
- El experimental Exp 4664 es un híbrido simple de grano flint y los experimentales Exp 2329, Exp 1712, Exp 1229 y Exp ND, son híbridos con grano de aspecto semidentado.
- Exp Pop es un híbrido simple con grano tipo pisingallo de alta calidad de grano.
- ACA 514, se utilizó como testigo no transgénico y es un híbrido simple con textura flint, que llega a madurez a los 116 días desde que se siembra y presenta buen comportamiento al vuelco y al quebrado.

DISEÑO EXPERIMENTAL:

En cada ensayo se utilizaron diseños en bloques completos aleatorizados (DBCA), constaron de dos bloques asignando al azar dos repeticiones de cada material. En el ensayo conducido en el Módulo Agroecológico, el tamaño de la parcela fue de 84 m², formada por 4 surcos de 30 m de longitud, distanciados a 0,70 m entre sí. En el ensayo bajo siembra directa, el tamaño de la parcela era de 14 m², formada por 4 surcos de 5 m de longitud distanciados a 0,70 m entre sí.

CARACTERES EVALUADOS:

- Porcentaje de cobertura foliar en V₈ y R₁: Fueron tomados con el programa Canopeo (Oklahoma State University, 2015). Este programa permite cuantificar la cobertura foliar a través de la cámara del teléfono celular. Se tomaron imágenes de 10 plantas por ensayo y se calculó el promedio.
- Altura de panoja y espiga: Para el primer carácter, se colocó una regla numérica en el medio de la parcela y visualmente se estimó la altura desde la base del tallo hasta que comienza las ramificaciones inferiores de la panoja. Mientras que para la otra característica, se utilizó la misma metodología, y se estimó, desde la base del tallo hasta la altura de inserción de la espiga.
- Severidad de síntomas de enfermedades: Se evaluó la severidad de síntomas, haciendo referencia al porcentaje del área necrosada o con presencia de síntomas de una hoja, fruto, o espiga, siendo una estimación visual en la que se establecen grados de infección en una determinada planta (Carmona y Bade, 2008). Esta se utilizó para las enfermedades de roya y podredumbre de espiga.

Para el análisis de roya común del maíz, la incidencia no resulta un buen estimador, ya que en poco tiempo o casi todas las hojas tienen al menos una pústula, representando el 100% de incidencia, no permite registrar diferencias en las mediciones. Por lo tanto, lo más adecuado es estimar la severidad de la enfermedad (Carmona, 2008).

Para la evaluación de severidad de cada hoja, se utilizó la escala de Peterson *et al*, 1948, la cual está dividida en 5 categorías que se corresponden con determinados % de severidad (Figura 2).

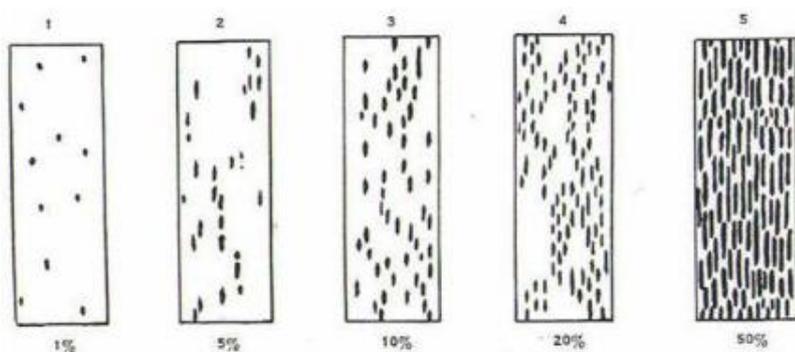


Figura 2. Escala utilizada para la evaluación de severidad de roya común del maíz, (Peterson *et al.*, 1948).

Con respecto a la podredumbre de la espiga, se evaluó el % dañado de la espiga. En dicha escala se establecieron 7 grupos de clasificación de acuerdo a los síntomas presentes en las espigas (Reid *et al.*, 1996).

FU1 sin síntomas.

FU2 1-3% de la espiga afectada.

FU3 4-10% de la espiga afectada.

FU4 11-25% de la espiga afectada.

FU5 16-50% de la espiga afectada.

FU6 51-75% de la espiga afectada.

FU7 76-100% de la espiga afectada.

- Rendimiento: Fue estimado en base a una muestra de espigas tomadas de 40 plantas en competencia completa.
- Humedad de grano: Se midió con un humedímetro Burrows modelo Digital Moisture computer 700.

ESCALA FENOLÓGICA:

Existen diferentes escalas para describir las etapas fenológicas del maíz pero, una de ellas, es la propuesta por Ritchie y Hanway, 1982. Describe los cambios externos de la planta y en ella se distinguen dos grandes etapas. La primera es la vegetativa, identificada con la letra V, subdividido en estadios identificados con la letra V y un subíndice, correspondiente al orden de la última hoja completamente extendida (lígula visible), comenzando por V_E (emergencia), continuando con V₁ (una hoja totalmente expandida) hasta V_n (n hojas expandidas) y terminando con V_t (panojamiento), donde finaliza la aparición de todas las hojas.

La etapa reproductiva, identificada con la letra R y un subíndice que comienza con R₁ (emergencia de estigmas), R₂ (cuaje), R₃ (grano lechoso), R₄ (grano pastoso), R₅ (grano duro) y finaliza con R₆ (madurez fisiológica) (Ritchie y Hanway, 1982).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

Se realizaron las pruebas de Shapiro-Wilks para verificar el cumplimiento del supuesto de la normalidad de los errores y luego se hizo el análisis de varianza. Todo el análisis estadístico se realizó con el software InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2015).

Se realizó un análisis de varianza siguiendo el siguiente modelo para todas las variables.

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + E_j + G_i \times E_j + b_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

- Y_{ijk} : es el valor de la variable estudiada, en el genotipo i , en el ambiente j y bloque k .
- μ : es la media poblacional.
- G_i : es el efecto del genotipo i , $i = 1 \dots 12$.
- E_j : es el efecto del ambiente j , $j = 1 \dots 2$.
- $G_i \times E_j$, es el efecto de la interacción genotipo-ambiente asociado con el genotipo i en el ambiente j .
- b_{ijk} : es el efecto del bloque k dentro de cada ambiente j , $k: 1, 2$.
- ε_{ijk} : es el error asociado al genotipo i , ambiente j y bloque k .

Se realizó un análisis de componentes principales con las medias de las variables estandarizadas dentro de cada ambiente y se construyeron gráficos usando los datos de las dos primeras componentes principales a fin de visualizar la asociación entre los caracteres evaluados.

Finalmente, se realizaron los análisis de varianza dentro de ambiente y pruebas de comparación de medias (prueba t).

Todas las comparaciones en esta investigación se realizaron a un nivel de probabilidad $p < 0,05$ que fue fijado a priori como el nivel deseable para establecer diferencias entre materiales genéticos.

CARACTERISTICAS CLIMATICAS DE PERGAMINO EN LAS CAMPAÑAS 2019/2020:

El comienzo del 2019 se destacó por un evento de El Niño de intensidad débil, presentando temperaturas muy cambiantes, alternando periodos cálidos y fríos muy notorios. Tuvo un periodo seco muy marcado, durante los meses de febrero, marzo y abril, registrando precipitaciones por debajo de la media mensual para la zona de Pergamino (Servicio Meteorológico Nacional, 2021).

Durante el invierno, este evento perdió relevancia y transitó hacia una fase neutral. Comenzó con temperaturas cálidas, pero en el mes de julio, se registró un descenso térmico que permaneció hasta el mes de septiembre (Servicio Meteorológico Nacional, 2021).

La primavera continuó con varias irrupciones de aire frío, que mantuvieron anomalías negativas de temperatura durante gran parte de septiembre y octubre. Sin embargo, tuvo lugar a un periodo relativamente corto, pero extremadamente cálido a finales de septiembre que produjo récords históricos de temperatura máxima para ese mes, registrando valores de 32°C (Servicio Meteorológico Nacional, 2021).

El déficit de precipitaciones se incrementó en la zona, arrastrando un final de primavera muy seco. Aunque a principios del mes de octubre, con un mayor ingreso de aire cálido y húmedo desde el norte y el pasaje de perturbaciones zonales y frentes fríos, se activó el desarrollo de lluvias y tormentas, que fueron algunas muy intensas con caída de granizo y fuertes vientos en la zona de Pergamino (Servicio Meteorológico Nacional, 2021).

En noviembre se observó un cambio muy marcado donde predominaron temperaturas por encima de lo normal, durante prácticamente todo el mes, convirtiendo a noviembre del 2019 en el tercer mes más cálido desde 1961. Luego, en el mes de diciembre se desarrollaron precipitaciones de valores normales para ese mes (Figura 3).

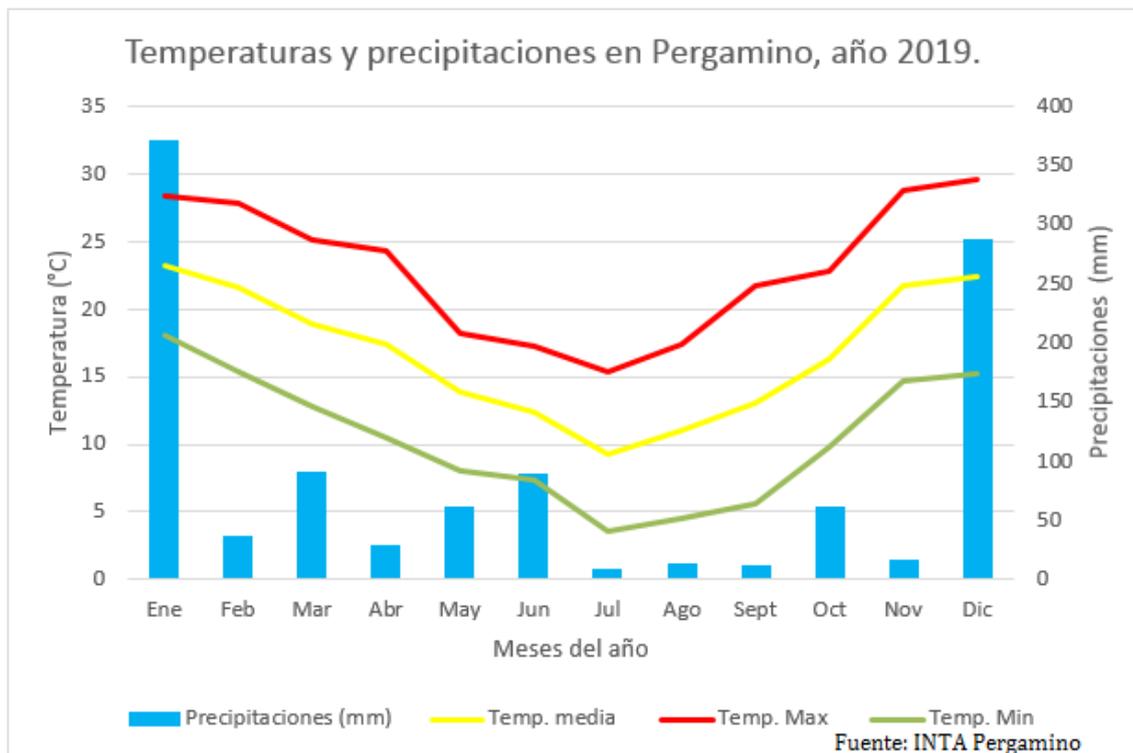


Figura 3. Temperaturas y precipitaciones en Pergamino, año 2019 (INTA Pergamino, 2021).

El año 2020, se destacó por un evento de La Niña de intensidad débil, registrándose valores cercanos a la media mensual de precipitaciones y temperaturas para los meses desde enero hasta abril. Las temperaturas cálidas se mantuvieron hasta finales de abril, cuando el ingreso del aire frío, provocó el descenso de temperatura, las que se mantuvieron hasta finales de agosto (Servicio Meteorológico Nacional, 2021).

En cuanto a las lluvias, en la región se experimentó una extensa y prolongada sequía que afectó el normal desarrollo de los cultivos. La falta de estas hizo que el 2020 se convirtiera en el año más seco desde 1995 y el quinto más seco desde 1961, recordando que las lluvias anuales en promedio son de 1050 mm, periodo de 1981 al 2010 (Servicio Meteorológico Nacional, 2021) (Figura 4).

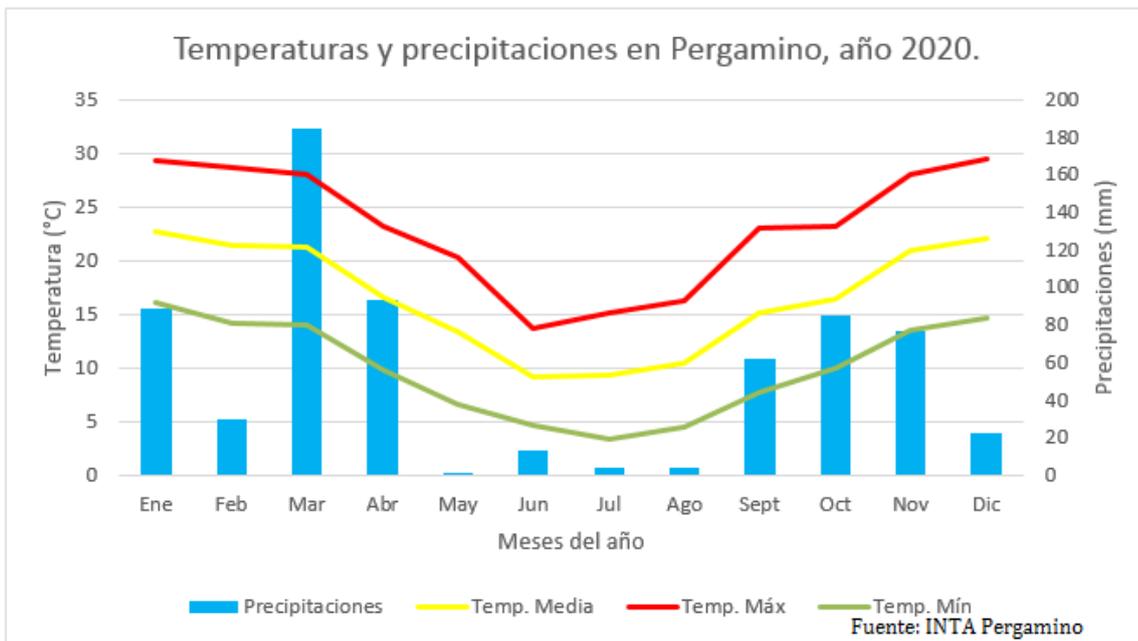


Figura 4. Temperaturas y precipitaciones en Pergamino, año 2020. (INTA Pergamino, 2021).

RESULTADOS:

La prueba Shapiro-Wilks indicó que la distribución de los errores siguió una distribución normal para todas las variables estudiadas por lo que no fue necesario hacer transformaciones de las mismas por falta de normalidad. Sin embargo, dada la baja presión de roya común y podredumbres de espiga, los porcentajes de área afectada dieron coeficientes de variación altos. Ambas variables fueron analizadas como: 100 – porcentaje de área afectada, que arroja los mismos valores de diferencias mínimas significativas, pero coeficientes de variación menores.

El análisis de varianza combinado entre ambientes dio como resultado cuadrados medios de interacción genotipo x ambiente significativos en cobertura foliar en R_1 (%), altura de panoja (cm), altura de espiga (cm) y rendimiento (kg/ha) (Tabla 1), por lo que se procedió a realizar comparaciones de medias dentro de ambientes en todas las variables.

Tabla 1: Análisis de varianza de las variables estudiadas en un ensayo de comparación de genotipos de maíz en agricultura agroecológica y siembra directa.

F. V	GL	Cuadrados medios							
		Cobertura foliar (%) en V ₈	Cobertura foliar (%) en R ₁	Altura de panoja (cm)	Altura de espiga (cm)	Área foliar afectada por roya común (%)	Área afectada por podredumbre de espiga (%)	Rendimiento (kg/ha) ajustado a 14,5% de humedad	Humedad (%)
Ambiente	1	180,96	1,45	45448,52*	10034,1*	6,02*	5,98	189287432,15*	0,08
Ambiente>Bloq	2	39,48	57,73	12,77	9,42	4,68*	3,14	991216,82	0,05
Hibrido	11	42,61	199,00*	392,11*	91,49*	1,93*	8,26*	11042054,93*	0,35
Hibrido x ambiente	11	35,92	63,26*	76,34*	9,95*	0,46	4,04	2030149,32*	0,17
Error	22	51,23	21,7	10,95	4,23	0,18	2,82	374335,96	0,18
CV		10,04	7,47	2,33	3,10	0,91	1,75	7,42	2,91

(*) Significativo * p<0,05. CV: Coeficiente de variación.

Tabla 2: Análisis de varianza de las variables estudiadas en un ensayo de comparación de híbridos de maíz en agricultura bajo siembra directa.

F. V	GL	Cuadrados medios							
		Cobertura foliar (%) en V ₈	Cobertura foliar (%) en R ₁	Altura de panoja (cm)	Altura de espiga (cm)	Área foliar afectada por roya común (%)	Área afectada por podredumbre de espiga (%)	Rendimiento (kg/ha) ajustado a 14,5% de humedad.	Humedad (%)
Hibrido	11	44,96	158,93*	304,92*	44,41*	1,97	6,61*	9917303,02*	0,33*
Bloque	1	0,12	68,01	12,04	10,67	8,52*	0,26	522582,72	0,04
Error	11	22,29	26,64	7,04	4,48	1,46	1,80	359797,10	0,05
CV		6,81	8,26	1,54	2,62	1,23	1,40	5,75	1,56

(*) Significativo * $p < 0,05$. CV: Coeficiente de variación.

Tabla 3: Análisis de varianza de las variables estudiadas en un ensayo de comparación de híbridos de maíz en agricultura agroecológica.

F. V	GL	Cuadrados medios							
		Cobertura foliar (%) en V ₈	Cobertura foliar (%) en R ₁	Altura de panoja (cm)	Altura de espiga (cm)	Área foliar afectada por roya común (%)	Área afectada por podredumbre de espiga (%)	Rendimiento (kg/ha) ajustado a 14,5% de humedad	Humedad (%)
Hibrido	11	33,58	103,33*	163,53*	57,03*	0,42*	5,90	3166653,59*	0,20
Bloque	1	78,84	47,46	13,50	8,17	0,84*	3,63	1330575,04	0,0042
Error	11	80,17	16,64	14,86	3,98	0,15	3,53	384909,68	0,28
CV		12,23	6,56	3,47	3,85	0,39	1,96	9,81	3,58

(*) Significativo * $p < 0,05$. CV: Coeficiente de variación.

Para el caso de rendimiento comparando los cuadrados medios, la interacción fue significativa, pero más relevante fue el efecto del ambiente y del genotipo. El ranking de los híbridos se modificó según se evaluó en siembra directa y en sistema agroecológico (Tablas 4 y 5). Por ejemplo, el Exp.1229, presentó el mayor rendimiento en siembra directa con diferencias significativas con varios de los mejores materiales. Pero en condiciones de agroecología, manifestó rendimientos bajos, similares al de las variedades de polinización abierta. El Exp. Pop rindió menos que los híbridos con grano normal en ambos ambientes, diferencias que son compensadas por el mayor valor comercial del grano tipo pisingallo. Las variedades de polinización abierta tendieron a rendir menos que los híbridos en ambos ambientes sin diferencias significativas entre ellas.

Se observaron diferencias en altura de panoja y de espiga en ambos ambientes, tal es el caso del Compuesto 2, que presentó mayor altura, comparado con el resto de los materiales evaluados, y el Exp. Pop registró plantas más bajas que la mayoría de los germoplasmas estudiados (Tablas 4 y 5).

El Exp. 1712 mostró buen comportamiento para cobertura foliar tanto en V_8 como en R_1 . En el ambiente de agricultura en siembra directa, este material presentó mayores valores de cobertura en estado V_8 en comparación al resto de los materiales y, en estado R_1 también tuvo un comportamiento destacado. En condiciones de agroecología, no se observaron diferencias entre materiales en estado V_8 , pero si en R_1 , estado en el que se observó un mayor nivel de variabilidad entre los materiales, con diferencias estadísticas entre medias, y también se destacó el comportamiento del Exp. 1712 por su elevado nivel de cobertura en comparación al de otros materiales genéticos (Tablas 4 y 5).

Los niveles de severidad de síntomas para roya común del maíz fueron bajos en comparación a lo que ocurre en condiciones de epifitía severa (Gonzalez, 2005). Se observaron algunas diferencias entre materiales solamente en el ensayo en agroecología (Tablas 4 y 5). Sin embargo, estas diferencias fueron poco relevantes probablemente debido a la baja presión de la enfermedad.

La severidad de síntomas de podredumbre de espiga fue suficientemente alta como para diferenciar materiales genéticos. El Exp. 1229 presentó mayor severidad de síntomas, en comparación a la mayor parte los materiales evaluados en el ambiente agroecológico,

mientras que, algo similar sucedió con el Exp. AxB en el ambiente de siembra directa. También se observaron diferencias entre otros materiales, tal es el caso del Exp. 1712 y Exp. 4664, que presentaron mayor resistencia frente a los patógenos de esta enfermedad en ambos ambientes. (Tablas 4 y 5).

La humedad de cosecha del cultivo varió entre 13 y 15%. En ambos ensayos, el material Exp. 4664 mostró el mayor contenido de humedad, seguido por el Exp. AxB. Mientras que los materiales con menor contenido de humedad fueron el Tesai AO y Exp. 2329. Este dato es importante ya que determina el momento de cosecha de los cultivos, teniendo en cuenta la Norma de Calidad XII- Resolución SAGyP 1075/94 para la comercialización de maíz, que establece 14,5% de humedad.

Las dos primeras componentes principales explicaron el 73,5% y 72,8 % de la variación observada en los ensayos en el ambiente agroecológico y en siembra directa, respectivamente (Figuras 5 y 6). El ángulo y la magnitud de los vectores indican la importancia de la cobertura foliar en R₁ para determinar el rendimiento en el ensayo en condiciones de agroecología, mientras que la severidad de síntomas de podredumbres de espiga y el área foliar con presencia de Roya común afectaron negativamente el rendimiento en ambos ambientes (Figura 5 y 6).

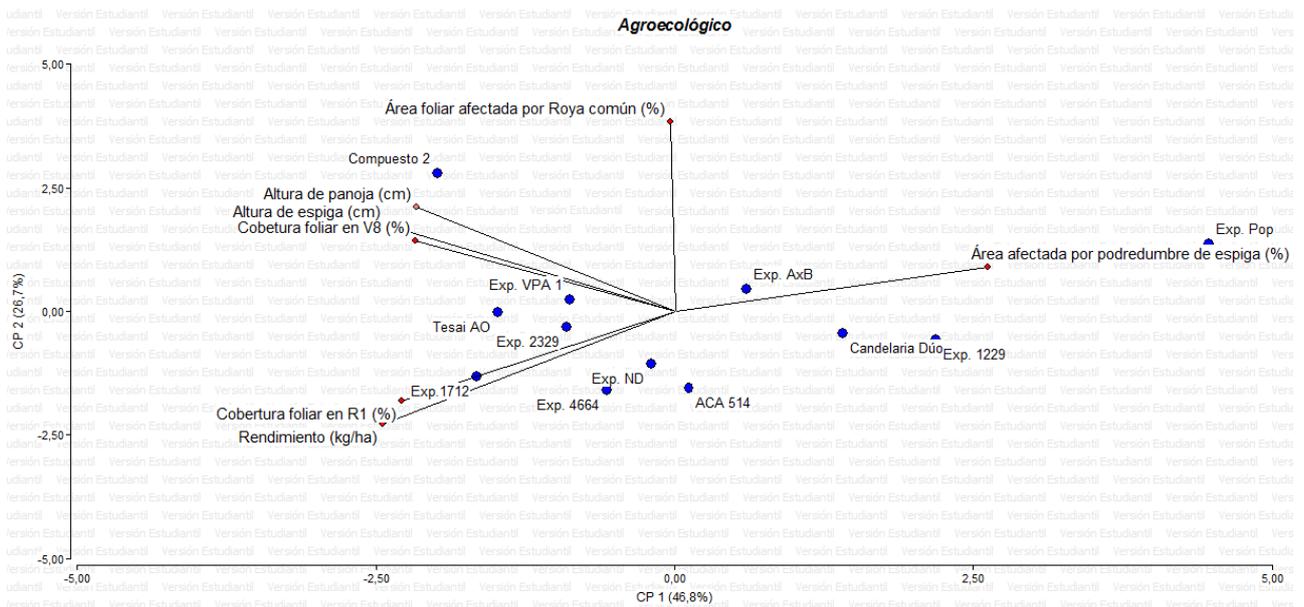


Figura 5. Biplot conformado por las dos primeras componentes principales en el ensayo agroecológico.

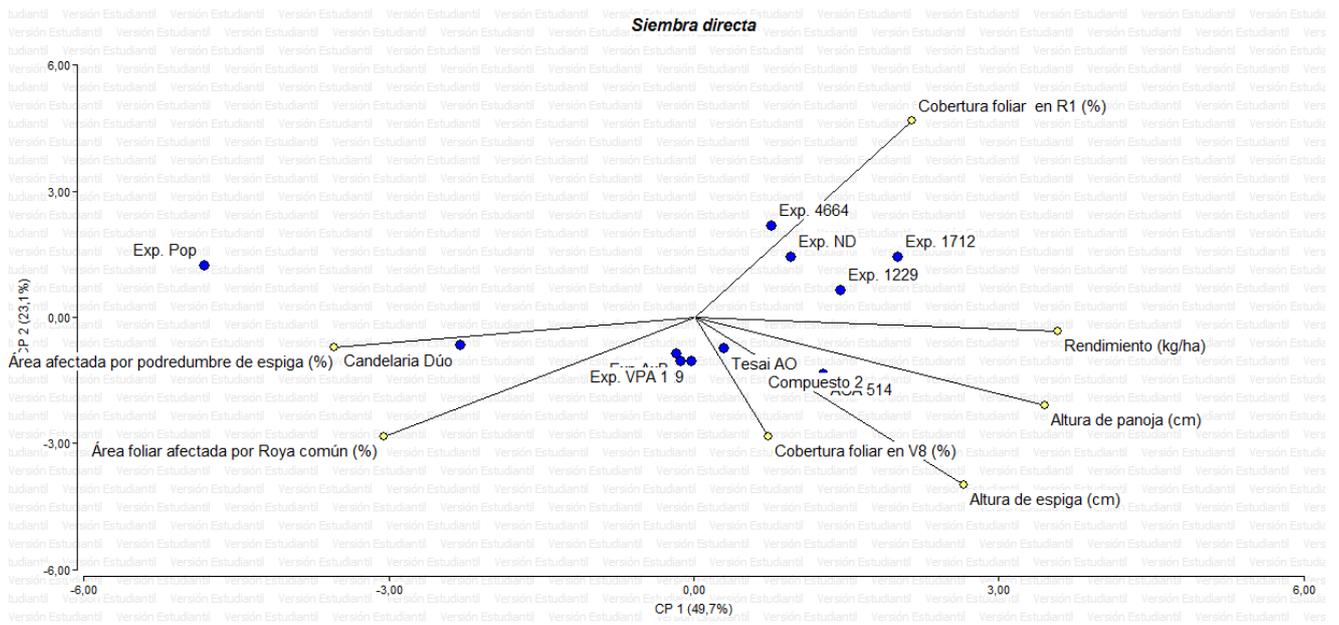


Figura 6. Biplot conformado por las dos primeras componentes principales en el ensayo en siembra directa.

Tabla 4. Comportamiento de genotipos de maíz evaluados en un ambiente de agricultura en sistema de siembra directa.

Híbridos	Cobertura foliar en V ₈ (%)	Cobertura foliar en R ₁ (%)	Altura de panoja (cm)	Altura de espiga (cm)	Área foliar afectada por roya común (%)	Área afectada por podredumbre de espiga (%)	Rendimiento (kg/ha) ajustado a 14,5% de humedad	Humedad (%)
Exp. 1712	44,30	80,20	177,5	82,5	1,0	2,3	11771	14,55
Tesai AO	32,80	56,65	177,5	82,5	1,8	3,4	10440	13,75
Exp. 2329	31,90	52,55	175,0	80,0	3,0	4,2	11814	14,30
Exp. 1229	30,80	65,00	175,0	80,0	1,0	3,7	13028	14,40
Cand. Dúo	30,80	58,15	165,0	79,0	3,5	5,8	9847	14,65
ACA 514	30,00	60,55	174,0	85,0	1,2	3,3	11581	14,60
Exp. VPA 1	29,55	55,50	172,5	85,0	2,6	4,8	10613	15,05
Comp. 2	28,90	60,65	187,5	87,5	2,6	2,7	8900	14,86
Exp. 4664	27,55	76,80	172,5	75,0	1,4	2,5	12053	15,56
Exp. AxB	26,70	56,80	182,5	82,5	3,2	9,2	9688	14,95
Exp. ND	25,95	70,80	175,0	80,0	1,0	2,5	11652	14,26
Exp. Pop	29,00	56,15	137,5	70,0	3,2	4,4	4239	14,85
Promedio	30,68	62,48	172,63	80,7	2,1	4,1	10469	14,64
DMS [†]	10,39	11,35	5,8	4,7	2,7	3,5	1546	0,58

†: Diferencia mínima significativa, prueba t a un nivel de probabilidad < 0,05.

Tabla 5. Comportamiento de genotipos de maíz evaluados en un ambiente de agricultura agroecológica.

Híbridos	Cobertura foliar (%) en V ₈	Cobertura foliar (%) en R ₁	Altura de panoja (cm)	Altura de espiga (cm)	Área foliar afectada por roya común (%)	Área afectada por podredumbre de espiga (%)	Rendimiento (kg/ha) ajustado a 14,5% de humedad	Humedad (%)
Exp. 1712	30,85	73,75	110,0	52,5	1,0	2,3	7180	14,90
Tesai AO	31,65	66,88	115,0	55,0	1,4	2,5	6907	14,50
Exp. 2329	29,20	66,88	114,0	51,0	1,6	4,6	7734	14,00
Exp. 1229	20,80	61,25	107,5	47,5	1,0	8,2	5496	15,15
Cand. Dúo	29,15	54,38	108,0	53,0	1,9	2,9	6126	14,75
ACA 514	25,00	64,38	102,5	49,0	1,0	2,9	7115	14,75
Exp. VPA 1	30,80	64,38	113,5	55,0	1,4	3,0	6246	14,60
Comp. 2	30,00	62,50	135,0	62,5	2,2	3,1	5509	14,55
Exp. 4664	26,70	68,13	107,5	49,0	1,0	2,6	7477	15,00
Exp. AxB	20,00	51,25	112,5	56,5	1,4	5,5	6185	15,10
Exp. ND	25,00	62,50	110,0	50,0	1,0	2,5	6870	14,55
Exp. Pop	22,50	49,38	97,5	41,0	2,2	3,0	3055	14,60
Promedio	26,80	62,1	111,0	51,8	1,4	3,6	6325	14,70
DMS [†]	19,70	9,0	8,5	4,4	0,9	4,2	1365	1,15

†: Diferencia mínima significativa, prueba t a un nivel de probabilidad < 0,05.

DISCUSIÓN:

Los rendimientos en el ensayo agroecológico fueron menores a los reportados previamente por el autor citado en la bibliografía (Jacquelin, 2018). Una posible explicación para las diferencias en este comportamiento puede deberse a las precipitaciones que recibieron los cultivos en el momento crítico en los dos años que se estudiaron, ya que en la campaña 2019-20 las lluvias fueron escasas en el momento de la floración (Figura 3 y Figura 4). Si bien el manejo propuesto por el autor mencionado en la bibliografía fue diferente, ya que los maíces fueron sembrados luego de una pastura a base de alfalfa, recordando que esta leguminosa fija nitrógeno del ambiente dejándolo disponible para el próximo cultivo. En cambio, en el trabajo propuesto, se sembró maíz luego de soja de segunda, laboreado en dos oportunidades, y los nutrientes disponibles, se pudieron haber perdido por lixiviación o por erosión del suelo.

Se observaron diferencias de rendimiento entre materiales que no fueron consistentes a través de ambientes. Por ejemplo, el Exp. 1229, de alta productividad en siembra directa, fue uno de los que menos se adaptó al sistema agroecológico. Por otro lado, el híbrido Exp. 1712 presentó buen comportamiento en ambas condiciones. Como era esperable, las variedades de polinización abierta tendieron a rendir menos que los híbridos. Estos materiales generalmente se usan en ambientes bajo estrés en los que la productividad es muy variable y el costo de la semilla de híbridos pone en riesgo la rentabilidad. Sería recomendable obtener rendimientos en sistemas reales de producción y realizar los estudios económicos correspondientes.

Se observó asociación entre las variables estudiadas, con efectos de la podredumbre de espiga reduciendo el rendimiento en ambos sistemas y se destaca la estrecha relación entre la estructura de canopeo y el rendimiento en condiciones de agroecología. El híbrido que más pareció afectar a esta relación fue el Exp. 1712 que presenta una estructura de canopeo con hojas más anchas y planas en relación a los demás materiales (Figura 5 y Figura 6). Analizando la cobertura foliar presentada por el Exp. 1229, tanto en V_8 como en R_1 , tuvo bajo porcentaje de esta, lo que pudo haber sido un factor limitante en la competencia con las malezas y una de las razones de su baja productividad en el ensayo agroecológico. El resultado opuesto se observó en los materiales Exp. 4664 y el Exp. 1712, que tuvieron mayor % de cobertura en estado R_1 y un buen comportamiento en el ensayo

agroecológico, probablemente asociado a una mejor capacidad de competir con las malezas por la luz. Estos resultados indican que la selección por una mejor capacidad de sombreado del suelo podría ser un carácter deseable en condiciones de agroecología.

En cuanto a la altura de la planta y de espiga, el Compuesto 2, es el que se diferenció del resto de los materiales, presentando mayor altura para las dos variables en ambos ambientes. Este comportamiento no proporcionó una ventaja para la obtención de mayores rendimientos.

Los materiales con mayor resistencia a podredumbre de espiga, fueron los Exp. 1712 y Exp. 4664 en ambos ambientes. El Exp. AxB fue el que más síntomas tuvo en el ambiente bajo siembra directa, mientras que el Exp. 1229, fue el que mayor presencia de área afectada registró en el ambiente agroecológico.

Las diferencias observadas entre materiales genéticos para resistencia a enfermedades de espiga, que tuvieron alta severidad de síntomas en esos experimentos, indican que la selección por este carácter es efectiva para el manejo de estas enfermedades (Kistner *et al.*, 2019).

El híbrido simple pisingallo fue el que presentó menor rendimiento en ambos ambientes. Los resultados eran esperables ya que este maíz tiene menor productividad que los maíces de calidad no diferenciada, pero un precio superior debido a su aptitud para la alimentación humana. Este, fue incluido en los ensayos por su alta calidad de grano y si bien no se utilizaron testigos pisingallo, los resultados permitirán valorizar la alternativa de producir con este híbrido en comparación a los demás maíces no OGM utilizados en el ensayo agroecológico.

CONCLUSIONES:

Los resultados obtenidos indican una importante interacción genotipo por ambiente para rendimiento y que no todos los genotipos desarrollados bajo siembra directa, se adaptan a la agricultura agroecológica. Lo que indica que es necesario conducir experimentos bajo este tipo de sistemas para identificar los mejores materiales genéticos. En estos trabajos, los materiales destacados en condiciones de agroecología tuvieron como característica una mayor capacidad de sombreado del suelo que probablemente favoreció la competencia frente a las malezas. Esta característica podría ser incluida como variable de selección en proyectos de mejoramiento que tengan como objetivo desarrollar germoplasma adaptado a sistemas agroecológicos. Si bien se observaron algunos niveles de interacción significativos para variables como altura de planta o resistencia a enfermedades, las interacciones fueron poco relevantes y por lo tanto se esperarían comportamientos similares en ambos sistemas.

BIBLIOGRAFÍA:

AAPRESID, 2020. Manejo de Tizón foliar o Tizón común en maíz (en línea). Disponible en <https://www.aapresid.org.ar/rem/manejo-de-tizon-foliar-o-tizon-comun-en-maiz/>

Altieri, 1999. Agroecología- Bases científicas para una agricultura sustentable (en línea). Disponible en <http://www.fao.org/agroecology/database/detail/es/c/893011/>

Bontempo, 2019. Pergamino: Evalúan apelar una cautelar que limitó el uso de agroquímicos (en línea). Disponible en <https://www.lanacion.com.ar/economia/campo/pergamino-evaluan-apelar-cautelar-limito-uso-agroquimicos-nid2284210>

Bustos, D. y Ferreyra, A., 2019. Superficies alcanzadas por normativas de restricción de aplicaciones en seis partidos del norte de la Provincia de Buenos Aires, (10): 74-77.

Carmona, M., 2008. ¿Cómo medir la Roya Común del Maíz? (en línea). Disponible en <https://www.buenastareas.com/ensayos/Como-Medir-La-Roya-Com%C3%BAAn-Del/54764622.html>

Carmona, M. y Bade, C.I., 2008. Comparison of methods to assess severity of common rust caused by *Puccinia sorghi* in maize. *Tropical Plant Pathology* (36) : 264-266.

Carta de suelo de la Rep. Argentina. Hoja 3360-32-2, Pergamino. INTA. 1972.

CIMMYT, 2004. Enfermedades del maíz: una guía para su identificación a campo. Cuarta edición. D.F, México. p. 9.

Cirilo, A. G. e Izquierdo, N. G., 2013. Usos del maíz. Efectos del ambiente y del manejo sobre la composición del grano (en línea). Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/47599#:~:text=Tambi%C3%A9n%20se%20emplea%20este%20grano,se%20le%20dar%C3%A1%20al%20producto.>

De Bernardi, L., 2017. Perfil del maíz pisingallo (*Zea mays L. var. everta*) (en línea). Disponible en https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/areas/granos/ archivo_s/000061_Informes/ 899991_Perfil%20del%20Ma%C3%ADz%20Pisingallo.pdf

De Souza, J., 2007. Enfermedades del maíz en Entre Ríos. Actualización Técnica Maíz, Girasol y Sorgo. INTA EEA Paraná. Serie Extensión (44): 80-85.

Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C.W, 2015, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Programa de investigación y desarrollo de una aplicación informática para análisis estadístico. <http://www.infostat.com.ar>

FAO, 2020. Consultado en noviembre de 2020 (en línea). Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

Formento, A.N., 2001. El Tizón Foliar del Maíz en Siembras de Segunda, (en línea). Disponible en http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/enfermedades/20314_011001_tizo.htm

Galiano-Carneiro, A. L., y Miedaner, T. 2017. Genetics of resistance and pathogenicity in the maize/*Setosphaeria turcica* pathosystem and implications for breeding. *Frontiers Plant Science*. 8: 1490.

García, R.; Galletti, L; Prado, D. y Oakley, L., 2008. Botánica Sistemática Agronómica. Rosario, Argentina. p. 135-150.

García-Lara, S. y Serna-Saldívar, S.O., 2019. Corn history and culture. In corn p. 1-18. AACC International Press.

González, M., 2005. Roya común del maíz: altos niveles de severidad en la zona maicera núcleo (campana 04/05). *Revista Agromensajes FCA-UNR*. Vol. 15. Consultado en octubre de 2020. Disponible en <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/15/2AM15.htm>

Hernández, D.S.; Reyes, L.A.; Reyes, M.C.A.; García, O.J.G. y Mayek, P.N., 2007. Incidencia de hongos potencialmente toxígenos en maíz (*Zea mays* L.) almacenado y cultivado en el norte de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* (25):127-133.

Informe USDA, 2020. Informes USDA (en línea). Disponible en <https://www.granar.com.ar/index.php/informes/informes-usda-granar>

InfoStat, 2008. InfoStat, versión 2008. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas Argentina.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 2021. Estación meteorológica EEA INTA Pergamino. (en línea). Disponible en <http://siga2.inta.gob.ar/#/data>

Jacquelin, 2018. Comportamiento de sistemas mixtos agrícolas pecuarios en la zona norte de Región Pampeana; El suelo como reactor de los procesos de regulación funcional de los agroecosistemas; Ediciones INTA, Argentina; p.156-160.

Kistner, M.B.; Lavilla, M. A.; Montenegro, L. ; Zelada, V.D.; e Iglesias, J., 2019. Leaf blights that affect maize: a short guide for identification and differentiation.

Klich, M.A., 2002. Identification of Common *Aspergillus* Species. First edition. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht. The Netherlands. 166p.

Kotze, R. G., van der Merwe, C. F., Crampton, B. G., y Kritzinger, Q. 2018. A histological assessment of the infection strategy of *Exserohilum turcicum* in maize. *Plant Pathology*, 68(3), 504-512.

Maddoni, G.A y Otegui, M.E, 1996. Leaf area, light interception and crop development un maize. *Field Crops Res.* (48) :81-87.

Maizar, 2020. Consultado en diciembre del 2020, (en línea). Disponible en <http://www.maizar.org.ar/estadisticas.php>

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2020. Consultado en diciembre del 2020, (en línea). Disponible en <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/>

Montes, G.N.; Reyes, M.C.A.; Montes, R.N.y Cantú, A.M.A., 2009. Incidence of potentially toxigenic fungi in maize (*Zea mays L.*) grain used as food and animal feed. *Journal of Food* (7):119-125.

Mueller, D. S.; Wise, K. A.; Sisson, A. J.; Allen, T. W.; Bergstrom, G. C.; Bosley, D. B.; Bradley, C. A.; Broders, K. D.; Byamukama, E.; Chilvers, M. I.; Collins, A.; Faske, T. R.; Friskop, A. J.; Heiniger, R. W.; Hollier, C. A.; Hooker, D. C.; Isakeit, T.; Jackson-ziems, T. A.; Jardine, D. J.; Kelly, H. M.; Kinzer, K.; Koenning, S. R.; Malvick, D. K.; McMullen, M.; Meyer, R. F.; Paul, P. A.; Robertson, A. E.; Roth, G. W.; Smith, D. L.; Tande, C. A.; Tenuta, A. U.; Vincelli, P., y Warner, F., 2016. Corn yield loss estimates due to diseases in the United States and Ontario, Canada from 2012 to 2015. *Plant Health Progress* 17(3):211–22.

Oklahoma State University, 2015. Aplicación Canopeo.

Pepper, G.E.; Perce, R.B. y Mock, J.J., 1977. Leaf orientation and yield of maize. *Crop Science*. (17): 883-886.

Pereyra, S. y Acosta, Y. , 2014. Guía para el manejo de la Fusariosis de la espiga en trigo. Uruguay. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria La Estanzuela, Uruguay.

Peterson, R.F.; Campbell, F. A. y Hannah, A. E., 1948. A diagramatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals. *Canadian Journal Research* (26): 496- 500.

Presello, D. A.; Pereyra, A. O.; Iglesias, J.; Fauguel, C. M.; Sampietro, D. A., y Eyherabide, G. H., 2011. Responses to selection of S 5 inbreds for broad-based resistance to ear rots and grain mycotoxin contamination caused by *Fusarium spp.* in maize. *Euphytica*, 178(1), 23-29.

Raven, P.; Evert, R. y Eichhorn, S. 1992. *Biología de las plantas*. Tomo II. Barcelona, España. Editorial Reverté. p. 3-30.

Reid, L. M.; Hamilton, R. I. y Mather, D. E., 1996. Screening maize for resistance to gibberella ear rot. *Agriculture and Agri-Food Canadá, Technical Bulletin*. Publication 1996-5E.

Ritchie, S.W. y Hanway, J.J., 1982. *How a Corn Plant Develops*. Iowa, Estados Unidos. Iowa State University. p. 2-17.

SENASA, 2019. Situación de la Producción Orgánica en la Argentina durante el año 2018, (en línea) Disponible en [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/situacion de la po en la argentina 2018.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/situacion_de_la_po_en_la_argentina_2018.pdf)

Servicio Meteorológico Nacional, 2021. Tiempo y Clima: Resumen 2019. (en línea), Disponible en: <https://www.smn.gob.ar/noticias/tiempo-y-clima-resumen-2019-0>

Soil Taxonomy, 2006. Décima edición. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales.

Subsecretaría de Programación Microeconómica de Argentina. Informes productivos. Consultado en noviembre de 2020. Disponible en https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sspmicro_cadenas_de_valor_maiz.pdf