

## Maíz criollo del suroeste de São Paulo, Brasil: diversidad y calidad de semillas

Laís Stefany De Carvalho Falca Lima<sup>1</sup>  
Cristina Fachini<sup>2</sup>  
Victor Roberto da Silva<sup>1</sup>  
Janice Rodrigues Placeres Borges<sup>1</sup>  
Victor Augusto Forti<sup>1§</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Tecnología Agroindustrial y Economía Social Rural (DTAiSeR-Ar)-Universidad Federal de São Carlos (UFSCar). Carretera Anhanguera km 174, Araras, São Paulo, Brasil. CEP. 13604-900. (lah.cfl@hotmail.com; victor.ufscar@outlook.com; janice@ufscar.br). <sup>2</sup>Instituto Agronómico de la Secretaría de Agricultura del Estado de São Paulo. Carretera Sebastião Ferraz de Camargo Penteado km 232, Caitê, Capão Bonito, São Paulo, Brasil. CP. 62. CEP. 18300-970. (cfachini@iac.sp.gov.br).

§Autor para correspondencia: viaugu@ufscar.br.

### Resumen

El mantenimiento de semillas criollas promueve la preservación de la agrobiodiversidad y la autonomía familiar. Por este motivo, la calidad de las semillas es fundamental, en el contexto de las semillas criollas, porque impacta directamente en la permanencia de esas semillas. El estudio evaluó la diversidad y la calidad de las semillas de maíces criollos, en dos cosechas en el suroeste de São Paulo, Brasil. Las semillas de ambas cosechas (2019 y 2020) se evaluaron en los aspectos físicos (masa de las semillas y prueba de infestación), fisiológicos (prueba de germinación, emergencia de plántula en suelo, índice de velocidad de emergencia y prueba de frío) y salud potencial (prueba de papel secante). Entre los 20 lotes recolectados, las semillas se clasificaron en cinco variedades según la percepción de los agricultores familiares. Se observó una variación de calidad física, fisiológica y sanitaria entre los lotes de semillas. Los lotes cosechados en 2020 tuvieron los valores más elevados en cuanto a tamaño, masa de 1 000 semillas, germinación y vigor. La prueba secante identificó para ambas cosechas, principalmente en 2019, una alta incidencia de *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp., considerados hongos de almacenamiento. Consecuentemente, la variación en la calidad de las semillas se debe a las características del proceso de almacenamiento. No obstante, resultan necesarios más estudios sobre estrategias de almacenamiento de semillas de maíces criollos para garantizar la calidad de las semillas, ya que la baja calidad de estas representa un riesgo de pérdida de estos materiales.

**Palabras clave:** *Zea mays*, análisis físico, potencial fisiológico, variedad criolla.

Recibido: octubre de 2021

Aceptado: enero de 2022

## Introducción

La producción de maíz (*Zea mays*) se emplea principalmente para la alimentación animal y en la industria alimentaria. Incluso entre las demandas de producción de cultivos comerciales del mercado de commodities, debido a la globalización, el maíz criollo se ha mantenido por la producción y consumo en la agricultura familiar, responsable de la preservación, mantenimiento y propagación de semillas criollas vinculadas a las tradiciones, historias, cultura y alimentación (Antonello *et al.*, 2014).

Las semillas criollas tienen características peculiares de gran importancia para la preservación de la biodiversidad, el mantenimiento de la variabilidad genética, la adaptación a las condiciones de producción, lo que proporciona mayor resistencia a la aparición de patógenos y una tolerancia superior a las variaciones climáticas (Catão *et al.*, 2013). Además, el mantenimiento de estos materiales promueve la autonomía del agricultor, permitiendo la generación de ingresos y reduciendo el costo de producción, ya que cuentan con material propio para la siembra.

La calidad de la semilla impacta directamente en la mejora del campo productivo y, en consecuencia, en su existencia continua. Por lo tanto, la comprensión de la calidad de las semillas se vuelve crucial tanto para la mejora de la productividad (Finch-Savage y Bassel, 2016) como para el mantenimiento de la diversidad agrícola en el contexto de la agricultura familiar. El concepto de calidad de la semilla se refiere a la determinación de atributos físicos, fisiológicos, genéticos y sanitarios para encontrar los mejores materiales para la propagación de las plantas.

Las pruebas para la determinación de estos atributos se realizan para la comercialización de semillas con el objetivo de controlar y estandarizar los materiales que se comercializarán (Brasil, 2009). Sin embargo, para las semillas criollas, la propuesta de evaluación de calidad no se refiere al potencial de comercialización, sino a garantizar semillas capaces de generar un alto porcentaje de plántulas, promoviendo un rodal adecuado y asegurando altas productividades. La calidad física se refiere a la integridad de las semillas y lotes de semillas, considerando la pureza y los daños físicos causados en las diferentes etapas de producción (De Medeiros *et al.*, 2019).

La calidad fisiológica, que incluye atributos relacionados con la germinación y el vigor, demuestra qué semillas presentan viabilidad y potencial para generar plántulas de una manera más rápida y uniforme incluso en condiciones adversas de campo (Han *et al.*, 2014). El potencial sanitario está relacionado con la presencia o ausencia de patógenos de campo y almacenamiento (Santos *et al.*, 2014). Así, las pruebas de calidad aportan información para ayudar en la diferenciación de lotes y en la toma de decisiones de los agricultores familiares, como cuáles son las mejores estrategias de almacenamiento (Da Silva *et al.*, 2019). Por lo tanto, es posible garantizar un mejor control de calidad de estos materiales utilizados por los agricultores familiares.

La región suroeste de São Paulo en Brasil fue elegida como el lugar para la adquisición y análisis de las semillas de maíz criollo, ya que tiene visibilidad agrícola y fuerte presencia de la agricultura familiar, que constituye el escenario de las semillas de maíz criollo. Esta cultura se destaca por el sesgo económico, histórico, cultural y es considerada un ícono indemnizatorio debido a la relación íntima presentada por los habitantes de la región (Fachini y Mariuzzo, 2019). Por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la diversidad de la producción de semillas de maíz criollo en el Suroeste de São Paulo, Brasil, y evaluar su calidad física, fisiológica y sanitaria.

## Materiales y métodos

Las semillas de maíz criollo recolectadas para este estudio fueron de predios de agricultores familiares del Suroeste de São Paulo, Brasil, en los municipios relacionados con el proyecto 'Roteiro do Milho' (Fachini y Mariuzzo, 2019), a saber, Capão Bonito, Guapiara, Itapeva, Ribeirão Branco y Ribeirão Grande. Para la cosecha de 2019, los lotes se almacenaron de manera diferente para cada agricultor, excepto el lote APA 2, cuyas semillas se recolectaron directamente del campo. Para la cosecha de 2020, el análisis se realizó inmediatamente después de la cosecha, sin almacenamiento. El acceso a los materiales fue autorizado por SISBIO (n° 70283-1) y contó con el consentimiento previo, firmado por todos los agricultores participantes en esta investigación, (CAAE n° 22150919.7.0000.5504) que aportan alguna información esencial como la clasificación de variedades y las condiciones de almacenamiento para cada lote.

Después de que se recolectaron los materiales, los lotes se colocaron en empaques de plástico y las semillas se mantuvieron en condiciones de laboratorio, sin control de temperatura y humedad relativa del aire, durante aproximadamente dos semanas. Antes de los análisis, las semillas fueron fotografiadas para obtener información sobre la caracterización física, como evaluación de color, tamaño y forma. El tamaño de la semilla se determinó mediante una escala de patrón de tablero de ajedrez, con dimensiones de 0.5 centímetros en un papel azul. Después del acondicionamiento fueron evaluados en cuanto al potencial físico, fisiológico y sanitario mediante las pruebas que se describen a continuación.

Masa de mil semillas: realizada en cuatro repeticiones de 100 semillas por lote, en las que las semillas fueron pesadas en una balanza analítica de cuatro dígitos decimales (0.0001g), con los resultados extrapolados a mil semillas, ajustando el contenido de agua a 13% (Brasil, 2009).

Prueba de infestación: se remojaron cuatro repeticiones de 25 semillas por muestra en un sustrato de papel humedecido con agua a una proporción de 2.5 veces la masa de papel, durante 3 h, en un ambiente controlado de DBO a 25 °C. Cada semilla fue cortada, y las que presentaron túneles o larvas se consideraron infestadas (Brasil, 2009).

Contenido de agua: se realizó en un horno a  $105 \pm 3$  °C durante 24 h (Brasil, 2009).

Germinación y primer conteo de germinación: se distribuyeron cuatro repeticiones de 50 semillas en dos hojas de papel tipo germitest, humedecidas con agua en un volumen equivalente a 2.5 veces la masa seca de papel, y posteriormente se cubrieron con una hoja adicional para la elaboración de los rollos. Los rollos se mantuvieron en una cámara de germinación, del tipo DBO, a la temperatura de 25 °C y fotoperiodo de 8 h durante siete días. Los conteos de plántulas normales se realizaron en el cuarto día, determinando el primer conteo de germinación, y en el séptimo día, para determinar la germinación total (Brasil, 2009).

Emergencia de plántulas en el suelo: el suelo fue tamizado y almacenado en cajas de plástico (40x22x7 cm) y humedecido con 60% de la capacidad de retención de agua. La prueba se realizó considerando cuatro repeticiones con 50 semillas para cada lote, las cuales fueron sembradas a 1 cm de profundidad, mantenidas en ambiente abierto, sin control de temperatura y humedad relativa del aire, durante 14 días, calculando el porcentaje de plántulas emergidas.

Índice de velocidad de emergencia-IVE: se realizó junto con la prueba de emergencia de plántulas en suelo, calculando el número de plántulas emergidas para cada uno de los lotes en el período de 14 días intercalados. El índice fue calculado por la fórmula de Maguire (1962), considerado como la relación entre el número de plántulas emergidas cada día en el día de la evaluación.  $IVE = E1/N1 + E2/N2 + E3/N3 + \dots + En/Nn$ . Donde: E1, E2, E3..., En = número de plántulas emergidas el día de la observación y N1, N2, N3, ..., Nn = número de días después de la siembra.

Prueba de frío en rollo con tierra: realizada con cuatro repeticiones de 50 semillas para cada lote, en la que las semillas se colocaron en un rollo de papel del tipo germitest, compuesto por tres hojas y humedecido con un volumen de agua equivalente a 2.5 veces su masa seca, añadiendo un volumen de 0.2 L rollo<sup>-1</sup> de suelo tamizado. Los rollos se mantuvieron inicialmente en una cámara fría a la temperatura de 10 °C durante un periodo de siete días. Después de este período, los rollos se transfirieron a una cámara de germinación, del tipo DBO, a 25 °C con fotoperiodo de 8 h durante siete días adicionales (De Almeida Silva *et al.*, 2008). Después de este período, se evaluaron los rollos, calculando el porcentaje de plántulas normales.

Prueba de papel secante: para analizar el potencial sanitario, la prueba se realizó en cuatro repeticiones de 25 semillas para cada lote. Las semillas se mantuvieron en dos hojas de papel secante, humedecidas con agua destilada, durante un periodo de siete días en ambiente controlado en DBO a 20 ±2 °C y fotoperiodo de 8 h. Después de siete días, bajo luminosidad suficiente para las observaciones de los componentes fraccionarios, con la ayuda de lupas con resolución de 10 a 40x, las semillas fueron examinadas y calculadas con respecto a la presencia de signos típicos de los principales hongos fitopatógenos vinculados a las semillas de maíz (Brasil, 2009).

### **Análisis estadístico**

El experimento se llevó a cabo con un diseño completamente al azar considerando el análisis aislado para cada una de las cosechas (2019 y 2020). Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (Anova) y cuando hubo efecto significativo, las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

## **Resultados y discusión**

Entre estos materiales producidos (15 lotes de 2019 y 5 lotes de 2020), las semillas fueron clasificadas por los productores en cinco variedades, a saber: amarilla con paja blanca (ej: Figura 1 PED), amarilla con paja morada (ej: Figura 1 LED 1), roja con paja morada (ej: Figura 1 IVO 2), rayada con paja marrón (ej: Figura 1 IVO 1) y coloreada, siendo la variedad amarilla con paja morada producida por el mayor número de agricultores (ocho agricultores).

Es importante destacar que la recolección de los lotes de semillas para las evaluaciones físicas, fisiológicas y sanitarias no se limitó a una sola variedad. Algunos agricultores, como por ejemplo; LED proporcionaron cinco lotes de semillas considerados por el cómo la misma variedad (amarilla con paja morada). Lo que diferencia a estos lotes son condiciones como el período y el lugar de siembra y el período de cosecha y la forma de almacenamiento. En general, las semillas presentaron tamaños uniformes variando entre formas redondeadas y planas, de color amarillo, naranja, rojo o rayadas en rojo y amarillo y con aspecto brillante (Figuras 1 y 2).



**Figura 1. Caracterización física de semillas de maíz criollo producidas por agricultores familiares en el suroeste de São Paulo en la cosecha de 2019.** Un cuadrado de papel mide 0.5 x 0.5 cm.



**Figura 2. Caracterización física de semillas de maíz criollo producidas por agricultores familiares en el Suroeste de São Paulo en la cosecha de 2020.** Un cuadrado de papel mide 0.5 x 0.5 cm.

El tamaño medio de la semilla varió entre 0-15 mm de largo y 6-10 mm de ancho, y en la cosecha de 2019 todos los lotes LED estuvieron compuestos por las semillas más grandes y las de PED se consideraron con la dimensión más pequeña (Figura 1). En cuanto a la cosecha de 2020, las semillas de los lotes de APA 3 y DAR se identificaron como las más grandes (Figura 2). El tamaño y la masa de la semilla están influenciados por varios procesos celulares, incluidos factores genéticos y ambientales (Zhang *et al.*, 2016).

Por lo general, para la comercialización de semillas de maíz, hay una clasificación durante el procesamiento en cuanto a forma y tamaño para estandarizar y facilitar la siembra. Para los agricultores familiares, se informó que, antes del almacenamiento, se separan las semillas en el medio de la mazorca, seleccionando así las planas y las más grandes para sembrar.

El contenido en agua de las semillas influye directamente en los aspectos relacionados con el almacenamiento y la calidad fisiológica y sanitaria. En la cosecha de 2019, antes de almacenarse, las semillas se secaron con los contenidos de agua más bajos, variaron entre 10.6 y 18.2 y en la cosecha de 2020, variaron entre 15.7 y 21.4 (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Contenido de agua (CA), masa de mil semillas (MM) e infestación de semillas (IS), de lotes de semillas criollas de maíz del suroeste de São Paulo en las cosechas de 2019 y 2020.** Las celdas con (-) indican prueba no realizada por falta de disponibilidad de semilla.

Lote	CA (%)	MM (g)	IS (%)
Cosecha 2019			
APA 1	10.6	394.18 bc*	-
APA 2	13.4	351.32 de	6 cde
CAR 1	18.2	407.7 a	33 a
CID 1	11.1	392.31 bc	0 e
IVO 1	15	357.37cd	3 cde
IVO 2	15.6	381 b	11 bc
IVO 3	14.5	372.35 bc	11 bc
LED 1	18.3	368.26 b	16 b
LED 3	14	376.41 bc	2 de
LED 4	-	348.35 e	10 bcd
LED 5	16.3	366.76 bc	4 cde
LED 6	15.7	365.21 bc	1 e
MAR 1	-	425.48 a	-
NIV 1	-	353.65 de	-
PED 1	13.1	-	1 e
CV (%)	-	2.21	48.32
Cosecha 2020			
APA 3	18.2	402.57 b	0 c
CAR 2	21.4	438.84 a	0 c
DAR 1	15.7	387.4 c	1 b
FAB 1	20.5	317.79 d	2 a
NIV 2	20.6	282.51	1 b
CV (%)	-	3.26	1.32

\*= los promedios seguidos de la misma letra en cada cosecha, para cada prueba, no difieren según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad; CV= coeficiente de variación.

La semilla de maíz, considerada ortodoxa, presenta mayor tolerancia a la desecación con límite de contenido de agua entre 5 y 15%, lo que permite su germinación después del almacenamiento en seco a largo plazo (Waterworth *et al.*, 2015). Por lo tanto, se recomiendan los contenidos de agua más bajos para asegurar la calidad del lote de semillas durante un período más largo. Para las semillas de maíz, los contenidos de agua considerados ideales durante el almacenamiento varían

entre 7 y 11%. La cosecha de 2020 obtuvo contenidos de agua superiores a los recomendados, una media de 13%. Sin embargo, esto no se ha convertido en un problema, ya que el análisis se produjo después de la cosecha, sin almacenamiento, un paso en el que las semillas con alto contenido de agua aumentan su proceso de deterioro.

Los resultados de la masa de mil semillas-MM (Cuadro 1) demostraron una gran variabilidad de los materiales con distintos orígenes. Los lotes de CAR 1 y MAR 1, de la cosecha de 2019, obtuvieron los valores más altos en relación con la masa de 1 000 semillas, mientras que los lotes APA 2, LED 4 y NIV 1 son los de menor masa. Para las semillas de la cosecha de 2020, que no se secaron antes de ser evaluadas, se observaron altos valores de MM para los lotes de CAR 2 y APA 3. No hubo relación directa de esta variable con la variedad o color de la semilla de maíz criollo producida. Las diferencias en la MM se deben probablemente a una característica genética y al sistema de producción de cada material.

Se logró verificar altos valores de infestación en la cosecha de 2019. La infestación se evalúa por la presencia de daños, como túneles, o larvas de insectos y adultos en las semillas, que pueden aparecer principalmente durante el almacenamiento. El insecto adulto observado durante la prueba fue el gorgojo del maíz, *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (*Coleoptera: Curculionidae*).

Según Tefera *et al.* (2016), plagas como el barrenador mayor de granos y el gorgojo del maíz pueden causar entre 14 y 36% de la pérdida de grano de maíz. En la cosecha de 2020, el porcentaje de infestación fue bajo, presentando el lote FAB el mayor porcentaje de infestación con solo 2%, seguido de los lotes DAR y NIV 2, ambos con 1%. Los valores más bajos están relacionados con la evaluación de las semillas inmediatamente después de la cosecha, evidenciando que el problema de infestación ocurre principalmente en el período de almacenamiento.

Los mayores porcentajes de germinación, en la cosecha de 2019, ocurrieron en los lotes APA 2 y PED, ambos por encima de 90% (Cuadro 2). Aunque estos dos lotes tienen la similitud de ser clasificados como maíz criollo amarillo con paja blanca, el APA 2 no se sometió a almacenamiento y el PED es diferente de los demás, ya que su almacenamiento se realizó utilizando envasado de tereftalato de polietileno (PET) y refrigeración en frigorífico (temperatura cercana a los 10 °C). La comprensión de las principales características del almacenamiento es obligatoria para la conservación, con el contenido de agua de las semillas, la temperatura y la humedad relativa del ambiente de almacenamiento como los factores clave para el mantenimiento del potencial fisiológico hasta el uso de las semillas (Da Silva *et al.*, 2019).

Los lotes IVO 1, IVO 3 y LED 4 tuvieron valores intermedios para la germinación, variando entre 70 y 80% y presentando almacenamiento común, a veces en galones de plástico de 5L y otras veces, en cajas de plástico con paja y mazorca. Ocurrió baja germinación en los lotes APA 1, CID 1, MAR 1 y NIV 1, todos en condiciones de almacenamiento inadecuadas, como en cajas de cartón (CID 1 y MAR 1), en el período de aproximadamente seis meses a temperatura ambiente o en bolsas de plástico de polietileno a temperatura ambiente (NIV 1). Si las condiciones de almacenamiento después de la cosecha no son apropiadas, esto resulta en una tasa de germinación más baja (Wang *et al.*, 2020), lo que se observó para la mayoría de los lotes de la cosecha de 2019.

Considerando las pruebas de vigor, para la cosecha de 2019, se verificó que todos certificaron la superioridad de lotes de APA 2 y PED (Cuadro 2). Para el primer conteo de germinación, solo IVO 1 se clasificó como de vigor intermedio, inmediatamente después del grupo con la mejor calidad

(APA 2 y PED). Los lotes de IVO 2, IVO 3, LED 3 y LED 4 se clasificaron justo después, considerándose de calidad intermedia. La prueba de emergencia para la cosecha de 2019 demostró el comportamiento de los lotes similar al observado en la germinación, con los valores más altos en APA 2 (73.1%), IVO 3 (73.1%) y PED (66.5%). En los demás, la emergencia fue menor, llegando a cero en la variedad CID. Cabe destacar que MAR 1 y NIV 1 no fueron evaluados debido a la falta de semillas disponibles. La germinación rápida y uniforme y la emergencia de plántulas, pueden garantizar una producción alta y estable de los campos de producción (Li *et al.*, 2016).

**Cuadro 2. Germinación (G), primer conteo de germinación (PG), emergencia de plántulas (EP), índice de velocidad de emergencia (IVE) y prueba de frío (PF) de lotes de semillas de maíz criollo del Suroeste de São Paulo en las cosechas de 2019 y 2020.** Las celdas con (-) indican una prueba no realizada por falta de disponibilidad de semillas.

Lote	G (%)	PG (%)	EP (%)	IVE	PF (%)
Cosecha 2019					
APA 1	2.4 f *	0 g	-	-	-
APA 2	98.5 a	83 ab	73.1 a	12.33 ab	93.8 a
CAR 1	59 d	30 de	56.9 abc	4.62 cd	26 cd
CID 1	0 f	0 g	0 e	0 d	0 e
IVO 1	80.5 b	74 b	47.5 bcd	7.69 cd	59.5 b
IVO 2	62 cd	50.5 c	53.1 abcd	8.44 bcd	55 b
IVO 3	74.5 b	61 c	73.1 a	12.68 ab	62.5 b
LED 1	36 e	32.5 d	39.4 cd	5.19 cd	33 c
LED 3	57 d	56 c	44.4 bcd	7.77 cd	-
LED 4	70 bc	54.5 c	48.8 abcd	8.38 bcd	18.8 cd
LED 5	35 e	8 fg	30.6 d	5.2 cd	21.5 cd
LED 6	34.5 e	19 ef	38.8 cd	5.71 cd	18.5 d
MAR 1	0 f	0 g	-	-	-
NIV 1	0 f	0 g	-	-	-
PED	93 a	86.5 a	66.5 ab	12.81 a	88.5 a
CV (%)	9.11	12.22	21.16	46.71	14.74
Cosecha 2020					
APA 3	90.5 a	66.5 a	100 a	13.87 a	93.5 a
CAR 2	98 a	69.5 a	100 a	12.76 ab	100 a
DAR 1	88 a	51 a	100 a	10.93 c	98.5 a
FAB 1	96 a	51.5 a	100 a	12.07 bc	97.5 a
NIV 2	84 a	59.5 a	100 a	11.57 bc	96.5 a
CV (%)	23.67	21.99	0	5.71	3.64

\*= los promedios seguidos de la misma letra en cada cosecha, para cada prueba, no difieren según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

En la evaluación del índice de velocidad de emergencia (IVE), para la cosecha de 2019, el énfasis fue para los lotes PED, APA 2 y IVO 3 (Cuadro 3), demostrando que las semillas tienen mayor velocidad en relación con la emergencia de sus plántulas, lo que indica mayor vigor (Mavi *et al.*, 2010). En los demás, los valores fueron significativamente inferiores, llegando de nuevo a cero, para CID 1, en el que no hubo emergencia. La germinación y la emergencia de plántulas son dos etapas independientes y vulnerables en el ciclo de vida de una planta, determinadas tanto por la calidad de la semilla como por la variación genética y los factores ambientales (Zhang *et al.*, 2019).

**Cuadro 3. Incidencia de hongos *Acremonium sp.*, *Fusarium sp.*, *Aspergillus sp.* y *Penicillium sp.* en lotes de semillas de maíz criollo del suroeste de São Paulo en cosechas de 2019 y 2020.**

Código	<i>Acremonium sp.</i>	<i>Fusarium sp.</i>	<i>Aspergillus sp.</i>	<i>Penicillium sp.</i>
Cosecha 2019				
APA 1	7 bc*	13 cde	31 c	100 a
APA 2	4 bc	0 e	0 f	74 b
CAR 1	12 ab	0 e	40 c	57 c
CID	2 bc	5 de	12 de	100 a
IVO 1	2 bc	28 cd	57 b	97 a
IVO 2	1 bc	28 cd	79 a	93 ab
IVO 3	5 bc	3 e	0 f	98 a
LED 1	17 a	54 ab	2 ef	98 a
LED 3	4 bc	14 cde	0 f	98 a
LED 4	5 bc	23 cde	5 ef	91 ab
LED 5	8 b	47 bc	5 ef	89 ab
LED 6	7 bc	58 ab	0 f	88 ab
MAR	8 b	47 bc	5 ef	89 ab
NIV 1	0 c	64 a	18 d	100 a
PED	1 bc	3 e	65 b	67 b
CV (%)	61.83	29.78	23.37	126.91
Cosecha 2020				
APA 3	0 b	0 c	1 b	81 ab
CAR 2	0 b	0 c	2 b	61 c
DAR	0 b	2 b	1 b	94 a
FAB	4 a	13 a	40 a	71 bc
NIV 2	3 a	4 b	3 b	72 bc
CV (%)	40.32	22.78	76.21	12.39

\*= los promedios seguidos de la misma letra en cada cosecha, para cada hongo, no difieren según la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

Utilizando la prueba de frío (Cuadro 2) se pudo observar, en la cosecha de 2019, mayores porcentajes para los lotes APA 2 (93.8%) y PED (88.5%). Los otros lotes quedaron por debajo con 62.5%. La prueba de frío forma parte de los parámetros más utilizados en relación con el vigor de las semillas de maíz (Gu *et al.*, 2017). Las semillas de alto vigor tienen ventajas obvias en términos

de germinación y emergencia de plántulas, incluso en condiciones de estrés de campo (Zhang *et al.*, 2019). Se puede entender que los lotes más vigorosos son más capaces de soportar condiciones adversas en el campo, como el estrés hídrico o las bajas temperaturas.

Observando los datos de germinación y vigor juntos, en la cosecha de 2019, los lotes estudiados se pueden agrupar en superior (APA 2, PED, IVO 1), intermedio (IVO 1, IVO 2, IVO 3, LED 3, LED 4) e inferior (APA 1, CID 1, LED 1, LED 5, LED 6, MAR 1, NIV 1) en cuanto al potencial fisiológico. Es posible destacar que los lotes superiores presentaron aspectos comunes en algunos factores esenciales para obtener mejores resultados. Las condiciones de almacenamiento similares, como el uso de polietileno (PET) y un menor índice de infestación son ejemplos de esto.

Para la cosecha de 2020, todos los lotes evaluados se clasificaron como de alto potencial fisiológico, con germinación superior al 84%, emergencia de plántulas de 100% y resultado de la prueba de frío superior al 93% (Cuadro 2). Solo el índice de velocidad de emergencia permitió una clasificación entre los lotes; sin embargo, dado que el vigor debe evaluarse considerando un conjunto de pruebas, y no un resultado aislado (Marcos Filho, 2015), esta clasificación no fue considerada. En esta cosecha, el alto potencial fisiológico de los materiales está relacionado con la falta de almacenamiento. Esto indica que las condiciones de campo en las que se produjeron las semillas son apropiadas y favorables para producir semillas con calidad. Por lo tanto, las condiciones de almacenamiento pueden señalarse como el factor prioritario en la reducción del potencial fisiológico en las semillas de maíz criollo en el Suroeste de São Paulo.

En la prueba de papel secante (Cuadro 3), se verificó la incidencia de hongos de campo (*Acremonium* sp. y *Fusarium* sp.) y almacenamiento (*Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp.) con los hongos de almacenamiento observados en mayor cantidad. Un comportamiento similar fue observado por Ferreira *et al.* (2013), que trabajó con semillas de maíz y concluyó que los hongos de campo asociados con las semillas disminuyeron durante el período de almacenamiento, mientras que los hongos de almacenamiento aumentaron.

Los hongos asociados a las semillas pueden promover una caída en la calidad fisiológica y una emergencia poco uniforme, lo que conduce a una pérdida parcial o total de productividad (Parsa *et al.*, 2016). Stefanello *et al.* (2015) también identificó una reducción de la calidad fisiológica de las semillas de maíz criollo almacenadas debido al deterioro causado por *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. y *Fusarium* sp.

En la cosecha de 2019, el lote LED 1 presentó el mayor porcentaje de presencia del hongo *Acremonium* sp., con un 17%, seguidos de los lotes LED 5 y MAR con 8%, y APA 1 y LED 6 con 7%. Las plantas atacadas por *A. strictum* tienen paralizado su desarrollo y los daños causan síntomas de pudrición radicular en las plantas (Goswami *et al.*, 2008).

La mayor ocurrencia de *Fusarium* sp. se observó en los lotes NIV 1 (64%), LED 6 (58%) y LED 1 (54%). Los otros lotes tuvieron valores inferiores, llegando a cerca de cero para APA 3. Este hongo se asocia con el maíz en la mayoría de las etapas del ciclo de crecimiento de esta planta, es un parásito, saprófito y causa pudrición severa en el tallo de la planta (Lanubile *et al.*, 2014). La detección de hongos fitopatógenos en las semillas es muy importante, ya que pueden causar reducción en la germinación y desarrollo inicial de plántulas, además de proporcionar una propagación eficiente de enfermedades a otros cultivos.

*Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp., se consideran hongos de almacenamiento y causan la pudrición de granos y semillas de maíz, y promueven la pérdida del poder germinativo y la raíz de la masa de las semillas debido al aumento en la tasa respiratoria. Para *Aspergillus* sp., la mayor ocurrencia se observó en los lotes de IVO 2 (79%), PED con (65%) y IVO 1 con (57%) (Cuadro 3).

El mayor porcentaje de ocurrencia entre todos los hongos se confirmó para *Penicillium* sp., con 100% en los lotes APA 1, CID 1 y NIV 1 y el porcentaje más pequeño fue de (67%) del lote PED. Estos valores sugieren que el alto porcentaje de presencia de hongos de almacenamiento es causado por condiciones favorables de humedad, temperatura a la que se mantienen las semillas justo después de la cosecha y durante el almacenamiento.

En la cosecha de 2020, el lote FAB presentó el mayor porcentaje de presencia del hongo *Acremonium* sp., con 4%, seguido por el lote NIV 2 con 3% y los otros lotes tuvieron valores en cero (Cuadro 3). La mayor ocurrencia de *Fusarium* sp. se observó en los lotes FAB (13%), NIV 2 con (4%) y DAR con (2%). Los otros lotes, APA 3 y CAR 2, tuvieron valores en cero. Para *Aspergillus* sp., la mayor ocurrencia se observó en el lote FAB (40%), seguido de NIV 2 con (3%), CAR 2 con (2%), APA 3 y DAR, ambos con (1%). El mayor porcentaje de ocurrencia de todos los hongos se confirmó nuevamente para *Penicillium* sp., en lotes de DAR con (94%), APA 3 con (81%), NIV 2 con (72%) y FAB con (71%).

Es posible verificar que los hongos de campo tuvieron la menor ocurrencia, lo que evidencia la buena calidad de la semilla derivada del campo, como el resultado observado en APA 2 de la cosecha de 2019. Por el contrario, las condiciones de almacenamiento son las principales interferencias en la baja calidad de las semillas, ya que las semillas de la cosecha 2020 se recolectaron directamente del campo, no se sometieron al proceso de almacenamiento y obtuvieron un alto índice de hongos de almacenamiento a partir de este paso. Según Khosravi *et al.* (2007), los hongos son una de las principales causas de deterioro y pérdida de calidad en las semillas de maíz, junto con el ataque de insectos. Dado que las condiciones de almacenamiento están directamente relacionadas con la incidencia de hongos y con la calidad fisiológica de las semillas, es extremadamente importante intervenir para garantizar el mantenimiento de semillas de calidad y originar campos para producir semillas con calidad. Esto es posible, dado el desempeño del lote PED, en el que el agricultor logró un mejor manejo de las semillas criollas durante el almacenamiento, obteniendo resultados superiores en las pruebas en relación con los otros materiales analizados.

Por lo tanto, un material de calidad, independientemente del propósito de uso del maíz criollo, es esencial en varios aspectos que son vitales para la agricultura, como el mantenimiento de la biodiversidad, el aumento de la productividad y la adquisición de sanidad en los campos de producción. Es evidente que el uso de semillas criollas también se combina con menores costos de producción, lo que se convierte en una gran alternativa para permitir la adquisición de insumos, promover el patrimonio agrícola y cultural, generar ingresos, promover la inocuidad de los alimentos, además de contribuir al patrimonio genético brasileño. Por lo tanto, la garantía de la calidad de estas semillas criollas mejora el manejo agrícola y promueve la autonomía requerida para la agricultura familiar en el Suroeste de São Paulo.

## Conclusiones

Las semillas de maíz criollo en el Suroeste de São Paulo presentan variación en cuanto a la calidad física, fisiológica y sanitaria, y esta variación se refiere principalmente a las características del proceso de almacenamiento realizado. Es necesario profundizar en estudios que apunten a mejores técnicas de almacenamiento para mantener la calidad de las semillas, además de promover actividades de extensión rural que concienticen a los agricultores respecto a la calidad de las semillas. La implementación de estrategias de asistencia técnica especializada para materiales criollos potenciará el fortalecimiento de los agricultores familiares relacionados con los sistemas tradicionales y desencadenará un mejor desarrollo rural de la región Suroeste de São Paulo.

El riesgo de perder semillas de maíz criollo se da debido a factores como la baja calidad de las semillas, la contaminación de los materiales por hongos y los ataques de insectos. El lote que se acercó a las mejores condiciones de almacenamiento fue el almacenado en empaques herméticos (botellas de PET) y en condiciones de baja temperatura, lo que podría asegurar la existencia continua de las semillas de maíz criollo del Suroeste de São Paulo.

## Agradecimientos

Este trabajo fue desarrollado con el apoyo de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES)-Código de Financiamento 001. A los agricultores familiares del Suroeste de São Paulo, por la disponibilidad de tiempo y de las semillas de maíz criollo estudiadas en esta investigación.

## Literatura citada

- Antonello, L. M.; Muniz, M. F. B.; Brand, S. C.; Rodrigues, J.; Menezes, N. L. and Kulczynski, S. M. 2014. Significance and relations of differentially expressed genes in response to *Aspergillus flavus* infection in maize. *Scientific Reports*. 4(1):4815. Doi: 10.1038/srep04815.
- Brasil. 2009. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para Análise de Sementes. Brasília. 395 p.
- Catão, H. C. R. M.; Magalhães, H. M.; Sales, N. L. P.; Brandão-Junior, D. S. and Rocha, F. S. 2013. Incidência e viabilidade de sementes crioulas de milho naturalmente infestadas com fungos em pré e pós-armazenamento. *Ciência Rural*. 43(5):764-770. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000500002>.
- Da Silva, G. H.; Toledo, M. Z.; Teixeira, R. N.; Rossi, R. F. and Nakagawa, J. 2019. Influence of the storage environment on the physiological quality of millet seeds (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). *J. Seed Sci.* 41(3):286-292. Doi: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n3208200>.
- De Almeida Silva, T. T.; Von Pinho, E. V. R.; Cardoso, D. L.; Ferreira, C. A.; Alvim, P. O. and Costa, A. A. F. 2008. Physiological quality of corn seeds in the presence of biostimulants. *Ciência e Agrotecnologia*. 32(3):840-846.
- De Medeiros, A. D.; Zavala-León, M. J.; Silva, L. J.; Oliveira, A. M. S. and Dias, D. C. F. S. 2019. Relationship between internal morphology and physiological quality of pepper seeds during fruit maturation and storage. *Agron. J.* 112(1):25-35.

- Fachini, C.; Mariuzzo, P. and Cerdan, L. M. I. 2019. O roteiro do milho: a construção do turismo gastronômico no Vale do Paranapanema-SP. Em: Lavandoski, J.; Brambilla, A. y Vanzella, E. (Org.). Alimentação e turismo: oferta e segmentos turísticos. 1ª (Ed.). João Pessoa. Editora do CCTA. 1(1):251-278.
- Ferreira, V. F.; Oliveira, J. A.; Ferreira, T. F.; Reis, L. V.; Andrade, V. and Neto, J. M. 2013. Quality of maize seeds harvested and husked at high moisture levels. *J. Seed Sci.* 35(3):276-277. Doi: <https://doi.org/10.1590/S2317-15372013000300001>.
- Finch-Savage, W. E. and Bassel, G. W. 2016. Seed vigor and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *J. Exp. Bot.* 67(3):567-591. Doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv490>.
- Goswami, J.; Pandey, R. K.; Tewari, J. P. and Goswami, B. K. 2008. Management of root knot nematode on tomato through application of fungal antagonists, *Acremonium strictum* and *Trichoderma harzianum*. *J. Environ. Sci. Health Part B.* 43(3):237-240. Doi: <https://doi.org/10.1080/03601230701771164>.
- Gu, R.; Li, L.; Liang, X.; Wang, Y.; Fan, T.; Wang, Y. and Wang, J. 2017. The ideal harvest time for seeds of hybrid maize (*Zea mays* L.) XY335 and ZD958 produced in multiple environments. *Scientific reports.* 7(1):1-9. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16071-4>.
- Han, Z.; Ku, L.; Zang, Z.; Zang, J.; Gou, S.; Liu, H.; Zhao, R.; Ren, Z.; Zhang, L.; Su, H.; Dong, L. and Chen, Y. 2014. QTLs for seed vigor-related traits identified in maize seeds germinated under artificial aging conditions. *PloS One.* 9(3):1-13. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092535>.
- Khosravi, A. R.; Mansouri, M.; Bahonar, A. S. and Shokri, H. 2007. Mycoflora of maize harvested from Iran and imported maize. *Pakistan J. Biol. Sci. PJBS.* 10(24):4432-4437. Doi: [10.3923/pjbs.2007.4432.4437](https://doi.org/10.3923/pjbs.2007.4432.4437).
- Lanubile, A.; Ferrarini, A.; Maschietto, V.; Delledonne, M.; Marocco, A. and Bellin, D. 2014. Functional genomic analysis of constitutive and inducible defense responses to *Fusarium verticillioides* infection in maize genotypes with contrasting ear rot resistance. *BMC Genomics.* 15(1):710-726. Doi: [10.1186/1471-2164-15-710](https://doi.org/10.1186/1471-2164-15-710).
- Li, Z.; Wang, X.; Liao, T.; Feng, Q. and Zhang, D. 2016. A self-developed system for visual detection of vegetable seed vigor index. *Int. J. Agric. Biol.* 18(1):86-91. Doi: [10.17957/IJAB/15.0066](https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0066).
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* 2(2):176-77. Doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>.
- Marcos-Filho, J. 2015. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina. Abrates. 459-497 pp.
- Mavi, K.; Demir, I. and Matthews, S. 2010. Mean germination time estimates the relative emergence of seed lots of three cucurbit crops under stress conditions. *Seed Sci. Technol.* 38(1):14-25. Doi: <https://doi.org/10.15258/sst.2010.38.1.02>.
- Parsa, S.; García-Lemos, A. M.; Castillo, K.; Ortiz, V.; López-Lavalle, B.; Braun, J. and Vega, F. E. 2016. Fungal endophytes in germinated seeds of the common bean, *Phaseolus vulgaris*. *Fungal Biology.* 120(5):783-790. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2016.01.017>.
- Santos, G. R.; Tschoeke, P. H.; Silva, L. G.; Silveira, M. C. A. C.; Reis, H. B.; Brito, D. R. and Carlos, D. S. 2014. Sanitary analysis, transmission and pathogenicity of fungi associated with forage plant seeds in tropical regions of Brazil. *J. Seed Sci.* 36(1):54-62. Doi: <https://doi.org/10.1590/S2317-15372014000100007>.

- Stefanello, R.; Muniz, M. F. B.; Nuner, U. R.; Dutra C. B. and Somavilla, I. 2015. Physiological and sanitary qualities of maize landrace seeds stored under two conditions. *Ciência Agrotecnológica*. 39(4):339-347. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542015000400004>.
- Tefera, T.; Mugo, S. and Beyene, Y. 2016. Developing and deploying insect resistant maize varieties to reduce pre-and post-harvest food losses in Africa. *Food Security*. 8(1):211-220. Doi: [10.1007/s12571-015-0537-7](https://doi.org/10.1007/s12571-015-0537-7).
- Wang, Y.; Peng, Y.; Zhuang, Q. and Zhao, X. 2020. Feasibility analysis of NIR for detecting sweet corn seeds vigor. *J. Cereal Sci.* 93(2):1-12. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102977>.
- Waterworth, W. M.; Bray, C. M. and West, C. E. 2015. The importance of safeguarding genome integrity in germination and seed longevity. *J. Exp. Bot.* 66(12):3549-3558. Doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erv080>.
- Zhang, C.; Luo, T.; Liu, J.; Xian, M.; Yuan, J.; Hu, L. and Xu, Z. 2019. Evaluation of the low-temperature tolerance of rapeseed genotypes at the germination and seedling emergence stages. *Crop Sci.* 59(4):1709-1717. Doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2019.03.0160>.
- Zhang, X.; Hirsch, C. N.; Sekhon, S. R.; Leon, N. and Kaeppler, S. M. 2016. Evidence for maternal control of seed size in maize from phenotypic and transcriptional analysis. *J. Exp. Bot.* 67(6):1907-1917. Doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erw006>.