



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

VIABILIDAD Y CAPACIDAD GERMINATIVA EN SEMILLAS DE MAÍZ: DETERMINACIÓN RÁPIDA MEDIANTE UNA NUEVA METODOLOGÍA LÁSER EJE 6: INNOVACIÓN

Munner^a, M. G.; Dolinko^b, A. E.; Caputo, C^c.

^aCátedra de Física, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (FAUBA). Av. San Martín 4453, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Catedra de Nutrición FEMED UBA
mmunner@agro.uba.ar

^bCátedra de Física, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (FAUBA). Av. San Martín 4453, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. adolinko@agro.uba.ar

^cCátedra de Bioquímica, INBA, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (FAUBA). Av. San Martín 4453, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. caputo@agro.uba.ar

VIABILITY AND GERMINATION CAPACITY IN MAIZE SEEDS: RAPID DETERMINATION USING A NEW LASER METHODOLOGY

Abstract: The physiological quality of seeds is a critical factor for the sustainability of organic and agroecological agricultural systems. This work presents a technological innovation based on an optoelectronic device called CHLM Biolaser, developed at the Physics Department of the Faculty of Agronomy at the University of Buenos Aires (UBA). The method uses the biospeckle laser activity (BSLA) phenomenon to evaluate the viability of seeds from two maize varieties of significant productive importance in Argentina: Flint corn (conventional) and Popcorn (organic). A total of 960 seeds were analyzed, including control groups and seeds subjected to accelerated aging to simulate deterioration conditions. The results obtained with the CHLM Biolaser were validated using the Tetrazolium test and germination capacity assays, demonstrating a high visual and quantitative correlation between the laser activity maps and the staining patterns. The laser technology allowed for viability diagnosis in just 9 seconds, without requiring chemical inputs or complex laboratory analyses. This tool shows promise in accelerating the determination of seed viability and in strengthening the autonomy of producers by allowing a rapid, objective and sustainable intra-farm diagnosis, aligned with the principles of organic and agroecological agriculture, contributing to the efficiency and sustainability of production systems.

Palabras Clave: Calidad de semillas, CHLM Biolaser, viabilidad, Maíz Flint, Maíz Pisingallo, agricultura orgánica.

Keywords: Seed quality, CHLM Biolaser, viability, Flint corn, Popcorn, organic agriculture.

Introducción

En el contexto actual de la agricultura orgánica y agroecológica, la calidad de las semillas constituye un factor crítico para garantizar la sustentabilidad y el éxito productivo de los sistemas de cultivo. La calidad de las semillas no solo representa el inicio del ciclo agrícola, sino que también determina la uniformidad, el vigor y la capacidad de adaptación de las plantas frente a condiciones ambientales cambiantes.



Para los productores que buscan independencia tecnológica y autonomía en la gestión de sus predios, disponer de herramientas accesibles que permitan evaluar la viabilidad y el poder germinativo de sus propias semillas resulta esencial.

El cultivo de maíz (*Zea mays*) constituye uno de los pilares fundamentales de la actividad agropecuaria argentina, no solo por su volumen de exportación, sino por su rol en el empleo rural y la seguridad alimentaria. Dentro de esta cadena, cobran especial relevancia los maíces de especialidad, representados principalmente por el Maíz Flint (*Zea mays* var. *indurata*) y el Maíz Pisingallo (*Zea mays* var. *everta*). El maíz Flint es altamente valorado por su endosperma vítreo y su dureza, características que lo posicionan como un producto premium para la molienda seca industrial, con cultivos concentrados históricamente en la Zona Núcleo de Argentina. Por su parte, el Maíz Pisingallo se distingue por su capacidad de expansión elástica, una propiedad física dependiente de la integridad estructural del grano, usada para la producción del conocido pochoclo, siendo Argentina uno de los principales exportadores mundiales de este cereal (Borras, 2020).

Para los productores orgánicos y agroecológicos, resulta de gran utilidad contar con tecnologías rápidas y que no requieran insumos costosos para garantizar la calidad de la semilla, promoviendo prácticas que reduzcan los riesgos de contaminación. La calidad de la semilla influye directamente en la productividad; un material deficiente limita el rendimiento incluso cuando se optimizan los demás recursos. Sin embargo, en Argentina, especialmente en los segmentos de menor escala, la elección de semillas suele basarse en el costo antes que en sus atributos fisiológicos, situación agravada por la escasez de asesoramiento técnico especializado.

En este marco, la actividad de biospeckle láser (BSLA) se presenta como un método óptico no invasivo capaz de aportar gran cantidad de información sobre la calidad fisiológica de las semillas, incluyendo parámetros como viabilidad y vigor. Este enfoque se basa en la interacción de una luz coherente (láser) con superficies ópticamente rugosas, como las de los tejidos biológicos del maíz, generando patrones granulares dinámicos que reflejan la actividad metabólica de la muestra. Tras un adecuado procesamiento de estas señales, es posible correlacionarlas con procesos fisiológicos, lo que habilita una evaluación rápida, objetiva y potencialmente no destructiva (Munner & Dolinko, 2025; Rodríguez-Jimenez et al., en prensa). Comparado con métodos tradicionales, como la tinción de Tetrazolio, la BSLA ofrece una alternativa más rápida y limpia, sin el uso de insumos contaminantes. La adopción de estas tecnologías fortalece la capacidad de los productores para enfrentar los desafíos actuales, fomentando un desarrollo regional ambientalmente responsable y asegurando la autonomía en la selección de semillas intraprediales de alta calidad, fundamentales para la sostenibilidad del sistema productivo. El objetivo de este trabajo fue analizar la capacidad de esta tecnología para determinar la viabilidad en Maíz Flint convencional y Maíz Pisingallo orgánico, validando su eficacia frente a métodos tradicionales y destacando su potencial como herramienta de innovación para la agricultura sustentable.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó con semillas de dos variedades de maíz de importancia productiva en Argentina: Maíz Flint (*Zea mays* var. *indurata*) y Maíz Pisingallo (*Zea mays* var. *everta*). El diseño experimental incluyó un total de 960 cariósides, divididas en



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

cuatro grupos de estudio: Maíz Flint control, Maíz Flint envejecido, Maíz Pisingallo control y Maíz Pisingallo envejecido. El envejecimiento acelerado se indujo manteniendo las semillas a 42°C y 100% de humedad relativa durante 72 horas, un método estándar para simular el deterioro fisiológico que ocurre durante el almacenamiento prolongado y que afecta la viabilidad y el vigor de las semillas.

La viabilidad y vigor de las semillas se determinó mediante tres metodologías comparativas. Por un lado, se realizó Tinción de Tetrazolio (TZ) y poder germinativo (PG). Ambos siguiendo las directrices de la ISTA (International Seed Testing Association). Por otro lado, se realizaron las mediciones con la tecnología láser (BSLA). Para esto, se utilizó el dispositivo optoelectrónico *CHLM Biolaser*, desarrollado en la Cátedra de Física de la FAUBA. Las semillas pre-hidratadas se colocaron individualmente en un porta-muestras y se iluminaron con un láser de 650nm (rojo). Se capturaron secuencias de imágenes a una tasa de 15 cuadros por segundo durante 9 segundos. Los datos se procesaron mediante algoritmos de análisis automáticos pertenecientes al software del *CHLM Biolaser*, el cual provee 5 diferentes coeficientes de correlación de speckle, que caracterizan distintos aspectos de la actividad fisiológica de la semilla. Estos mapas, resultan de un cálculo algebraico sobre la señal óptica. Los mapas usados en este estudio se conocen como: Fujii, LASCA, FMI, DG y Bandas espectrales. Estos mapas indican un valor numérico en unidades arbitrarias para cada pixel de la imagen de acuerdo al coeficiente de correlación utilizado (D'Jonsiles, 2020). Las semillas se clasificaron como viables o no viables de acuerdo al patrón de Tinción de Tetrazolio de acuerdo a la metodología descrita en (CRIBA-CONICET; Ruiz 2009). Se aplicó un procedimiento similar para los mapas de actividad obtenidos mediante BSLA. Para obtener el porcentaje con PG, se evaluó el número de semillas germinadas respecto al total. Esto permitió obtener el porcentaje de viabilidad obtenido con PG como TZ y BSLA.

Resultados y Discusión

La comparación cualitativa entre las imágenes de tinción de Tetrazolio y los resultados obtenidos con BSLA, para el caso del coeficiente de Bandas Espectrales, reveló una correspondencia espacial notable y consistente en todas las muestras analizadas. En las semillas control de ambas variedades (Maíz Flint y Maíz Pisingallo), los mapas de actividad mostraron mayores valores (correspondientes a colores rojos en la escala de colores) en la zona del embrión, lo que se corresponde con las zonas de tinción roja de formazán observada en el test de Tetrazolio (Figura 1). Esta correlación visual subraya la capacidad del *CHLM Biolaser* para identificar las regiones metabólicamente activas del embrión, que son indicativas de viabilidad.

En contraste, las semillas sometidas a envejecimiento acelerado mostraron una disminución significativa tanto en la tinción de Tetrazolio como en la actividad láser. En estas muestras, los mapas de actividad de banda espectral mostraron valores bajos (colores azul-verdosos en la escala de color), indicando una baja o nula actividad metabólica (Figura 2). Esta reducción de actividad se correlacionó directamente con la ausencia de tinción o la presencia de tinción irregular y débil en el test de Tetrazolio, lo que es consistente con tejidos muertos o dañados por el envejecimiento. La sensibilidad del *CHLM Biolaser* para detectar estos cambios fisiológicos tempranos es crucial, ya que el envejecimiento acelerado es un modelo ampliamente utilizado para simular condiciones de almacenamiento prolongado y predecir la longevidad de las semillas.

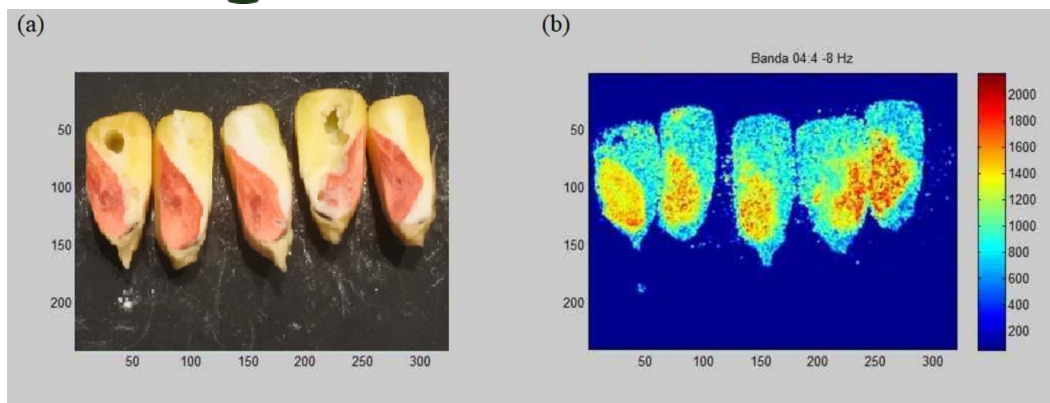


Figura 1: Maíz Flint control: (a) Tetrizolium, (b) Mapa de actividad BSLA previa a la tinción con Tetrizolium.

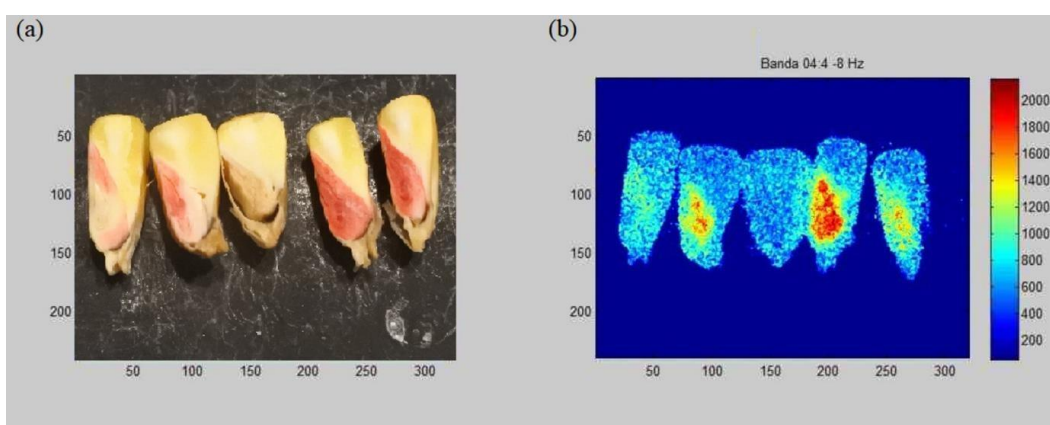


Figura 2: Maíz Flint envejecidas: (a) Tetrizolium, (b) Mapa de actividad BSLA previa a la tinción con Tetrizolium.

Por otro lado, la Figura 3 muestra la imagen de tinción de Tetrizolium (a) y la de BSLA obtenida con el coeficiente de correlación de bandas espectrales en mismo rango frecuencial (b) para el caso de Maíz Pisingallo control. Nuevamente, se observa la correlación entre ambas imágenes.

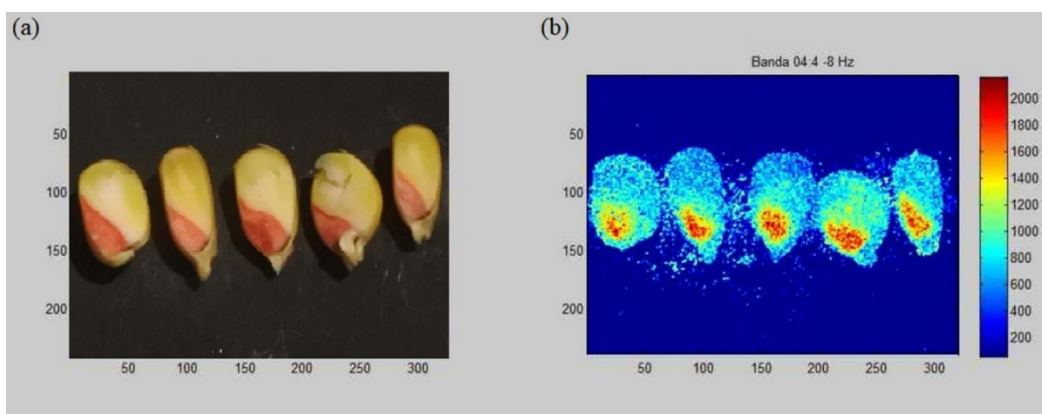


Figura 3: Maíz Pisingallo control: (a) Tetrizolium, (b) Mapa de actividad BSLA previa a la tinción con Tetrizolium.

Finalmente, la Figura 4 muestra los resultados para el último caso estudiado: Maíz Pisingallo con tratamiento de envejecimiento acelerado. En este caso, la Figura 4 (a) pone en evidencia el deterioro de los embriones. Al observar la Figura 4(b), la correspondencia es evidente. Además, puede observarse por la escala de color como en este caso la actividad general de las semillas (y del embrión en particular) es menor que en el caso control. En este caso, la actividad muestra un predominio de coloración amarilla en el área del embrión en contraste con las semillas control que muestra un color rojo-anaranjado (Figura 3(b)), en la misma escala.

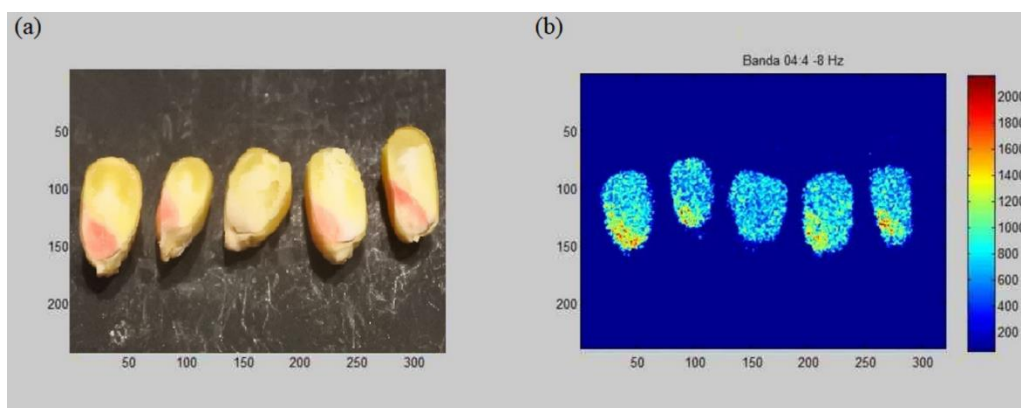


Figura 4: Maíz Pisingallo envejecidas: (a) Tetrazolio, (b) Mapa de actividad BSLA previa a la tinción con Tetrazolio.

El análisis cuantitativo de los resultados (Tabla 1 y Tabla 2) demostró que los porcentajes de viabilidad obtenidos mediante la tecnología láser son altamente consistentes y comparables con los métodos tradicionales de Tetrazolio y Poder Germinativo, mostrando una alta correlación tanto para el Maíz Flint como para el Maíz Pisingallo. Cabe destacar que, como se reporta en la literatura (ISTA, 2018), el test de Tetrazolio tiende a sobreestimar ligeramente la viabilidad en comparación con el poder germinativo, lo cual fue observado en nuestros resultados. Sin embargo, la cercanía de los valores obtenidos por BSLA con ambos métodos tradicionales valida su precisión.

La principal ventaja de la innovación presentada es la velocidad y la naturaleza no contaminante del diagnóstico. Mientras que el test de Tetrazolio requiere al menos 2 horas de incubación y el uso de reactivos químicos que pueden ser contaminantes, el *CHLM Biolaser* entrega resultados en segundos y sin el uso de insumos adicionales. Además, la capacidad de realizar un diagnóstico rápido y no invasivo abre la puerta a la evaluación de grandes volúmenes de semillas y a la integración en sistemas automatizados de control de calidad, lo que representa un avance significativo para la gestión intrapredial de semillas en sistemas orgánicos y agroecológicos.

Tabla 1: Porcentaje de viabilidad en Maíz Pisingallo mediante tres metodologías.

Tratamiento	PG [%]	TZ [%]	BSLA [%]
Control	43.0 ± 1.5	50.0 ± 1.5	46.0 ± 1.3
Envejecido	18.5 ± 0.8	25.7 ± 0.3	23.7 ± 0.3

Tabla 2: Porcentaje de viabilidad en Maíz Flint mediante tres metodologías.

Tratamiento	PG [%]	TZ [%]	BSLA [%]
Control	85.5 ± 0.5	83.7 ± 0.7	83.7 ± 0.7
Envejecido	44.0 ± 0.6	43.3 ± 0.3	42.7 ± 0.3

Conclusiones

Los hallazgos de este trabajo confirman que el sistema *CHLM Biolaser* es una herramienta robusta, confiable y altamente eficiente para la evaluación de la viabilidad en semillas de maíz. La metodología basada en una tecnología láser permite discriminar con precisión entre semillas viables y deterioradas en un tiempo récord de 9 segundos, sin necesidad de reactivos químicos ni procedimientos complejos de laboratorio. Esta innovación representa un avance significativo para la agricultura orgánica y agroecológica, fortaleciendo la autonomía de los productores al facilitar la toma de decisiones basada en datos objetivos y sustentables sobre la calidad de sus semillas. La adopción de esta tecnología tiene el potencial de transformar los protocolos de control de calidad de semillas, promoviendo una agricultura más eficiente, sostenible e independiente de insumos externos, y abriendo nuevas perspectivas para la investigación en tecnología de semillas.

Bibliografía

- Borrás, L. (Ed.). 2020. Maíz Flint: Producción sustentable y calidad de grano. Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Agrarias. ISBN: 978-987-702-379-4.
- CRIBA - CONICET – Programa Mejoramiento Vegetal. (s.f.). Prueba de Tetrazolio en semillas de maíz. Recuperado <https://www.mejoravegetal.criba.edu.ar/semillap/viabilid/maizviab.htm>
- D’Jonsiles, M. F., Galizzi, G. E., Dolinko, A. E., Novas, M. V., Ceriani Nakamurakare, E., & Carmarán, C. C. (2020). Optical study of laser biospeckle activity in leaves of *Jatropha curcas* L.: a non-invasive and indirect assessment of foliar endophyte colonization. *Mycological Progress*, 19(4), 339-349.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2018. International Rules for Seed Testing. Bassersdorf, Switzerland.
- Munner, M. G.; Dolinko, A. E. 2025. Una nueva tecnología láser para la determinación de viabilidad, humedad y actividad metabólica en semillas. Congreso RaBios de Semillas, Concepción del Uruguay.
- Rodríguez Jimenez, D. M.; Dolinko, A. E.; Galizzi, G. E.; Caputo, C. 2026. Laser biospeckle imaging and mathematical modeling for comprehensive malting barley (*Hordeum vulgare* subsp. *distichum* L.) seed quality evaluation: viability, moisture and germination dynamics. *Annals of Botany* (en prensa).
- Ruiz, M. de A. (2009). El análisis de tetrazolio en el control de la calidad de semillas: caso de estudio cebadilla chaqueña (Publicación técnica N.º 77). EEA INTA Anguil. <https://inta.gob.ar/documentos/publicacion77>