

Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila

ISSN: En trámite

Publicada desde 2009

JBCT-JOURNAL OF BIOPROCESS AND CHEMICAL TECHNOLOGY, año 2021 Volumen 13, No. 26, julio - diciembre 2021, es una publicación semestral editada por la Universidad Autónoma de Coahuila. Boulevard Venustiano Carranza s/n colonia República Oriente, C.P. 25380, tels.: (844) 4-14-85-82 y 4-10-02-78, <http://www.biochemtech.uadec.mx>, jbct@uadec.edu.mx. Editor Responsable Mónica L. Chávez González. Reserva de Derechos al uso exclusivo No. 04-2019-011112445500-203 **ISSN:** (en trámite), ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Departamento de Divulgación Científica de la Dirección de Investigación y Posgrado UA de C, Ing. Carlos Federico Robledo Flores, Edificio "D" planta alta, unidad Camporredondo, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280, fecha de última modificación, agosto de 2021.

CONSEJO EDITORIAL**Editores en jefe:**

Dra. Mónica L.
Chávez González
Dra.
Adriana C. Flores
Galleos
Dr. Juan A.
Ascacio Valdes

Consejo Editorial:

Dr. Cristóbal N. Aguilar González, Dr. José Luis Martínez Hernández, Dr. David Castro Lugo.

Comité editorial:

Dra. Claudia Magdalena López Badillo, Dra. Anilu Rubio Ríos, Dra. Aidé Sáenz Galindo, Dr. Leonardo Sepúlveda Torre

Comité técnico editorial nacional e internacional

Dr. Damaso Navarro Rodríguez (Materiales Avanzados Centro de Investigación en Química Aplicada); Dr. Sylvain Guyot Agroquímica (INRA-Unité de Recherches Cidricoles, Biotransformation des Fruits et Légumes. Francia); Dra. Arely Prado Barragán (Bioreactores y Fermentaciones Universidad Autónoma Metropolitana); Dr. Deepak Kumar Verma (Department of Agricultural and Food Engineering. Indian Institute of Technology); Dra. Virginia Nevárez Moorillón (Biotecnología Universidad Autónoma de Chihuahua); Dr. Zainul Akmar Zakaria (Chemistry & Engineering. Universiti Teknologi Malaysia); Dra. Anna Iliina Dimitrevna (Nanomateriales y Biotecnología Universidad Autónoma de Coahuila); Dra. Liliana Serna (Ciencia y Tecnología de Alimentos Universidad Nacional de Colombia); Dr. Romeo Rojas Molina (Ciencia y Tecnología de Alimentos Universidad Autónoma de Nuevo León); Dra. Gisela Tubio (Biotecnología Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad Nacional de Rosario); Dr. José Juan Buenrostro Figueroa (Ciencia y Tecnología de Alimentos Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.); Dr. Miguel Cerqueira (Nanomateriales International Iberian Nanotechnology Laboratory. Portugal); Dr. Miguel Ángel Aguilar González (Materiales Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-IPN); Dr. Sócrates Palacios (Revalorización de residuos Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Ecuador); Dr. Miguel Velázquez Manzanares (Química Analítica Universidad Autónoma de Coahuila); Dra. Alessandra Napolitano (Biomateriales University of Naples Federico II. Italia); Dr. Nagamani Balagurusamy (Catálisis enzimática y fermentaciones Universidad Autónoma de Coahuila); Dr. José A. Teixeira (Ingeniería Bioquímica University of Minho. Portugal); Dr. Luis Víctor Rodríguez Durán (Bioprocesos Universidad Autónoma de Tamaulipas); Dr. Sevastianos Roussos (Biotecnología y Biorremediación Université Paul Cezanne, Francia); Dr. Jorge Enrique Wong Paz (Bioprocesos Instituto Tecnológico de Ciudad Valles); Dr. Luis Bermudez Humarán (microbiología e Inmunología MICALIS Institute. INRA, Francia); Dr. Shiburaj Sugathan (Microbiology Jawaharlal Nehru Tropical Botanic Garden and Research Institute. India.); Dr. Sabu Abdulhameed (Biotecnología y Microbiología. Kannur University)

Journal of BioProcess and Chemical Technology Revista
Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila
Volumen13, No. 25 enero – junio de 2021

Contenido

Editorial No. 26

Dra. Mónica L. Chávez González

Tecnología de Plasma No Térmico en la Industria Agrícola-Alimentaria y Una Breve Descripción Sobre Sus Posibles Efectos En La Germinación de Semillas: Revisión

Non-Thermal Plasma Technology in The Agricultural-Food Industry and a Brief Description of its Possible Effects on Seed Germination: Review

De La Rosa-Esteban, A.K., Reyna-Martínez, R., Reyes-Acosta, A.V., Reyes-Acosta, Y.K.

Editorial julio - diciembre 2021

Al equipo Editorial de JBCT nos es grato presentarles el número 26 del Journal of BioProcess and Chemical Technology, en esta ocasión se presenta una revisión acerca de la tecnología de plasma no térmico en el área de alimentos, sabemos que en los últimos años se ha venido presentando una escasez e alimentos debido a la sobrepoblación y falta de recursos naturales por el cambio climático. Una de las tecnologías mas actuales y que presentan un desarrollo en la innovación es el plasma frío el cual si es aplicado en la superficie de diversis sustratos puede conducir a la mejora de las propiedades en el caso del sector agrícola es posible que esas propiedades sean en las semillas de algunos granos de esta forma se puede traducir a la mejora en la captación de agua y así en los contenidos nutricionales.

Esperamos que sea de su agrado la lectura el más reciente número de la revista.

Dra. Mónica L. Chávez González
Editor

Tecnología de Plasma No Térmico en la Industria Agrícola-Alimentaria y Una Breve Descripción Sobre Sus Posibles Efectos En La Germinación de Semillas: Revisión

Non-Thermal Plasma Technology in The Agricultural-Food Industry and a Brief Description of its Possible Effects on Seed Germination: Review

De La Rosa-Esteban, A.K.¹, Reyna-Martínez, R.², Reyes-Acosta, A.V.³, Reyes-Acosta, Y.K.^{1*}

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, 25280 Saltillo, Coahuila, México

² CECyTEC, Plantel Joaquín Arizpe de la Maza, 25076, Saltillo, Coahuila, México

³ Facultad de Sistemas, Universidad Autónoma de Coahuila, 25350, Saltillo, Coahuila, México

*Autor por correspondencia: ykreyes@uadec.edu.mx

Recibido: Mayo 2021

Aceptado: Junio 2021

Resumen

En los últimos años se ha registrado una escasez de alimentos debido a la sobrepoblación, falta de recursos naturales, cambio climático, entre otros factores. La carencia de alimentos ha sido uno de los mayores problemas a nivel mundial, por lo que sustentar a millones de personas es un reto. En la actualidad existen una gran variedad de tecnologías emergentes que pueden ayudar a mejorar los procesos en el sector agroalimentario. Una de las tecnologías más novedosas es el plasma frío el cual si es aplicado en la superficie de diversos sustratos puede conducir a la mejora de las propiedades o aplicaciones que se estén buscando. Esta tecnología podría resultar de gran interés en el sector agroalimentario debido a que si se busca la modificación superficial de semillas esta podría traducirse a la mejora de captación de agua y de contenido nutricionales y de esta manera lograr una mayor organización en estos procesos, lo que se podría reflejar en una mayor producción de vegetales y el combate a la insuficiencia de alimentos.

Palabras clave: Agricultura, alimentos, modificación superficial, plasma frío, tecnología emergente.

Abstract

In recent years there has been a shortage of food due to overpopulation, lack of natural resources, climate change, among other factors. Lack of food has been one of the biggest problems in the world, so supporting millions of people is a challenge. Currently there are a wide variety of emerging technologies that can help improve processes in the agri-food sector. One of the newest technologies is cold plasma which, if applied to the surface of various substrates, can lead to the improvement of the properties or applications that are being sought. This technology could be of great interest in the agri-food sector because if the superficial modification of seeds is sought, this could be translated into the improvement of water uptake and nutritional content and thus achieve a greater organization in these processes, which It could be reflected in a greater production of vegetables and the fight against insufficient food.

Keywords: Agriculture, cold plasma, emerging technology, food, surface modification.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la sociedad se enfrenta a múltiples desafíos en materia agrícola y escasez de alimentos. Por un lado, están aquellos retos derivados del aumento de la población mundial, que sigue creciendo a tasas importantes y derivado de esto, las personas afectadas por el hambre siguen en aumento.

Para enfrentar y superar estos retos, la tecnología es un aliado clave, debido al avance de esta, hoy en día es más fácil contar con información precisa sobre todos los factores que pueden afectar un cultivo, gracias a lo cual los agricultores cuentan con nuevas herramientas que los pueden guiar en sus procesos de producción.

Otros elementos clave para entender la importancia de la tecnología en el campo es el impacto que tiene en ella el cambio climático, la urbanización, entre otros factores, estas son algunas de las circunstancias que influyen en la producción de alimentos. Por ello la tecnología de plasma resulta ser una herramienta de interés debido a que se pueden obtener las características deseadas con el mínimo uso de recursos contaminantes y con tratamientos relativamente cortos a comparación de otras tecnologías emergentes, a continuación, se da una breve descripción de algunos conceptos sobre agricultura, tecnologías emergentes y el plasma aplicado a la industria agrícola-alimentaria.

Agricultura

La agricultura es una de las actividades que se encarga principalmente de proveer alimentos, materias primas y productos industriales, sin embargo, uno de los mayores retos que enfrentará en los próximos 35 años es asegurar el abasto de alimentos a nivel mundial (Bertran, 2017). Existen diversos factores que afectan la escasez de alimentos como la urbanización, economía, entre otros como se muestra en la figura 1 (Rifna y col., 2019).

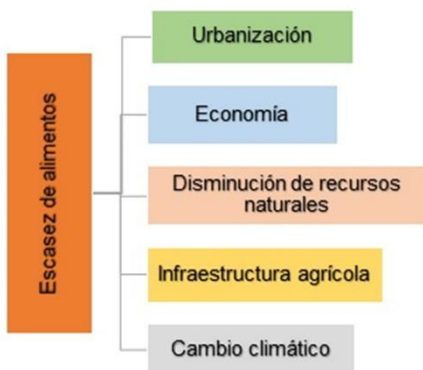


Figura 1. Diagrama de los factores que influyen en la generación de escasez de alimentos (Rifna y col., 2019).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) para alimentar a una población de millones de habitantes, la producción agrícola deberá aumentar un 70 por ciento, por lo que deberá incrementar el rendimiento de los cultivos (Sivachandiran y Khacef, 2017). Para asegurar el abasto de alimentos en México en los próximos años es un reto, por lo que aumentar la producción agrícola incluye el uso de: cultivares mejorados, fertilizantes, irrigación, entre otros como se muestra en la figura 2 (Baldivia e Ibarra, 2017).



Figura 2. Diagrama de factores que aumentan la producción agrícola (Baldivia e Ibarra, 2017).

Para la obtención de un aumento en la producción agrícola es necesaria la introducción de nuevas tecnologías emergentes con el fin mejorar el rendimiento de los cultivos, debido a que ofrecen ventajas en cuanto a tratamientos químicos y físicos, por ejemplo: se reduce la cantidad de pesticidas para disminuir un impacto en el medio ambiente y los seres vivos, ofrece una baja desviación genética en las semillas y se pueden emplear en semillas para un mayor tiempo de vida y evitar alguna infección antes de ser sembradas (Ojha y col., 2021; Rifna y col., 2019).

Germinación

La germinación es el proceso fisiológico donde se desarrollan las estructuras indispensables para la formación de la nueva planta (Morales-Santos y col., 2017). El agua, la temperatura, la luz, la composición de la atmósfera son factores externos primordiales que influyen en la germinación dado que son el arranque del metabolismo embrionario, su control en el proceso y el comportamiento y composición espectral (Morales-Santos y col., 2017; Rodríguez y col.,

2010). Así mismo el diámetro de la semilla repercute dentro de las características en vista de que algunas semillas con diámetro más grande obtienen una mayor resistencia a condiciones ambientales y presentan un ideal porcentaje de germinación, sin embargo, otros estudios revelaron que las semillas con diámetro pequeño muestran un mejor porcentaje de germinación (Espinosa-Calderón y col., 2014).

Tecnologías emergentes en la industria agrícola

Existen diferentes tecnologías emergentes que han brindado un impacto positivo a las semillas, estas tecnologías se han utilizado con el fin de obtener una mejor tasa de germinación, a continuación, se mencionan algunas (De Souza y col., 2014).

Campo magnético

El campo magnético es la fuerza con la capacidad de magnetizar un cuerpo, su estudio para organismos biológicos como plantas, comienza a partir de la segunda mitad del siglo XIX (Pietruszewski y Martínez, 2015). Un tratamiento con campo magnético podría llegar a cambiar los iones, cargas eléctricas y radicales libres ya sea alterando el perfil químico de la semilla debido a que las membranas de estas sean permeables (Iqbal y col., 2016b). Su aplicación en la agricultura ha logrado ser un método eficaz para conseguir una estimulación en la planta biológica, acelerar la liberación de un estado latente, aumentar la germinación y vigor de las semillas, crecimiento y su rendimiento (De Souza y col., 2014; Iqbal y col., 2016a). Hasta entonces, el tratamiento del campo magnético ha impactado no solo a los científicos, si no a los agricultores y a las diferentes áreas tales como en alimentos y medicina (Iqbal y col., 2016b; Ren y col., 2021).

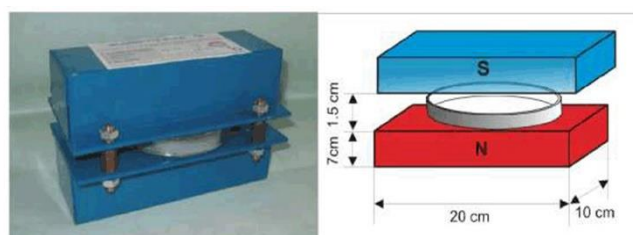


Figura 3. Equipo de tratamiento de campo magnético (Fung y col., 2010).

Radiación de microondas

El microondas no es nada más que ondas electromagnéticas con longitudes que abarcan entre 108 y 1011 Hz (Hassan y col., 2021). Los efectos de la radiación dependen de su frecuencia, periodo de exposición y sus condiciones ambientales (Naeem y col., 2013; Orsat y col., 2017). Dentro de sus factores están: la frecuencia, intensidad del campo eléctrico, propiedades dieléctricas de los

materiales, velocidad de calentamiento y contenido de humedad (Morozov y col., 2013). Su aplicación en el sector agrícola ha aumentado en los últimos 50 años (Talei y col., 2018). Para obtener un proceso acelerado de germinación se debe tomar en cuenta la energía del microondas, el tiempo de exposición, frecuencia y mantener una exposición baja ya que si no es posible esto tiende a reducir su germinación y crecimiento (Lazim y Ramadhan, 2020; Talei y col., 2018).



Figura 4. Equipo de radiación de microondas (Sahin, 2014).

Ozono

El ozono (O_3) es un oxidante muy reactivo que buscará reaccionar con la mayoría de los compuestos orgánicos e inorgánicos (Karaca y Velioglu, 2007). Fue descubierto en 1839 por Schonbein y principalmente fue utilizado para tratamiento de agua al inicio del año 1900 (Zhu, 2018). Además, se considera como un potente agente desinfectante utilizado en la industria alimentaria para asegurar la calidad de los alimentos (Prabha y col., 2015) así también influye en las propiedades fisicoquímicas de granos y semillas y producir la inactividad fúngica (Granella y col., 2018). Esta tecnología ecológica ha buscado mejorar la germinación y desinfección de las semillas pues ha dado a conocer efectos sobre el crecimiento y germinación de ellas (Pandiselvam, et al., 2020a). El uso excesivo de ozono ocasiona una mala germinación (Pandiselvam et al., 2020b).

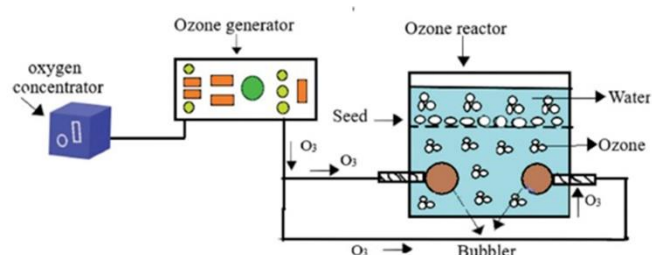


Figura 5. Equipo de tratamiento con ozono en agua para semillas (Kang y col., 2015).

Luz UV

La radiación ultravioleta o luz UV es una radiación electromagnética que está dividida en tres componentes: UV-A que comprende entre 320 a 400 nm, UV-B que va desde 280 a 320 nm y UV-C que va desde 200 a 280 nm (Díaz-Leyva y col., 2017). Se informa que la radiación UV-C es excelente para estimular la germinación de algunas semillas tales como las de maíz, sin embargo, la irradiación UV-C también es empleado para mejorar la germinación de semillas (Lazim y Ramadhan, 2020). El UV-B ha demostrado que afecta el crecimiento y la morfología de las plantas (Ma y col., 2018). Esta tecnología no solamente busca generar seguridad en alimentos, si no también mejorar su calidad para el beneficio de la salud humana (Koutchma, 2021) así como originar la inactividad de bacterias, parásitos, esporas bacterianas, entre otros (Noble, 2002).



Figura 6. Equipo de irradiación luz UV (Gutiérrez y col., 2016).

Tecnología del plasma

El plasma, conocido como el cuarto estado de la materia es un gas ionizado compuesto de fotones, iones y electrones libres, así como átomos en sus estados fundamentales o excitados con una carga neutra neta (Pankaj y Keener, 2017; Rifna y col., 2019). Este término fue utilizado por primera vez en 1928 cuando Langmuir lo describió como “una región que contiene cargas equilibradas de iones y electrones” (Ojha y col., 2021). Sin embargo, el plasma está presente en una variedad de entidades como las estrellas, tecnología de iluminación, espacio interestelar, reactores de investigación de fusión nuclear, descargas estáticas, disyuntores de energía eléctrica, entre otros (Pedrow y col., 2019). Actualmente el plasma es una tecnología emergente que ha demostrado un gran potencial en una amplia diversidad de aplicaciones como lo es en la industria alimentaria (Chaple y col., 2020), tecnologías microelectrónicas, campo de la medicina, potencia de fusión e implantación de iones hasta modificación de materiales, entre otras (Ling y col., 2015).

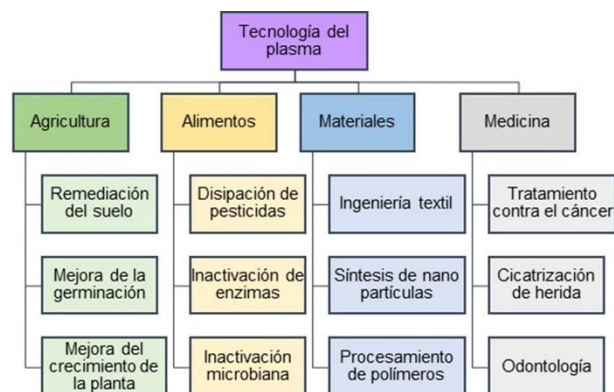


Figura 7. Aplicaciones del plasma en diferentes áreas (Misra y col., 2016).

El plasma se clasifica en plasma térmico o también llamado plasma con equilibrio termodinámico, caliente o de altas temperaturas y plasma no térmico, citado así por emplear bajas temperaturas, ser frío y no poseer un equilibrio termodinámico (Pankaj y Keener, 2017).

Plasma frío

El plasma frío es obtenido mediante descargas eléctricas de gases por radiofrecuencia (RF) u otros medios, es un gas totalmente ionizado de manera que estará impulsado por iones y fragmentos neutros, así mismo, el plasma frío posee una energía alta en el vacío ultravioleta debido a los fotones que son producidos por el desmoronamiento de los estados que son excitados (Keidar y Beilis, 2018; Misra y col., 2016). Dentro de las grandes ventajas que ofrece además de ser un gran impacto en el campo de la industria, es que sus componentes consagran una mayor densidad a diferencia de las técnicas químicas convencionales y presenta una concentración superior de especies cargadas tales como electrones, iones y radicales que busquen reducir la energía de activación de la reacción química (Sadhu y col., 2017). No obstante, el plasma frío tiene una gran variedad de aplicaciones y usos industriales como lo es en tratamiento de alimentos, materiales vegetales, campo de la medicina humana y animal, esterilización, inactivación de enzimas, tratamiento de aguas residuales, campo de la agricultura, área biomédica entre otras (Whitehead, 2016).

Actualmente dentro del sector agrícola la tecnología del plasma frío ha cautivado a científicos y agricultores por tener la capacidad de mejorar la germinación de abundantes semillas, incrementar el rendimiento de los cultivos y crecimiento de las plántulas, aparte de esterilizar la superficie de las semillas buscando eliminar bacterias y patógenos (Lee y col., 2020; Singh y col., 2019).

Fuentes de plasma frío

Existen varios tipos de sistemas de generación de plasma frío y se han utilizado para diferentes aplicaciones. En el cuadro 1 se muestran las diferentes fuentes de plasma. En general, las modificaciones del plasma se pueden clasificar en tres categorías que se muestra en la figura 8. Dependiendo de las características de modificación de la superficie, cada técnica altera las propiedades superficiales de los materiales en un grado diferente, que va desde la limpieza, funcionalización y/o adición de materiales que confieren propiedades deseadas.

Cuadro 1. Fuentes de plasma y sus aplicaciones.

Fuente de plasma	Operación	Aplicaciones
Plasma corona	Una descarga de baja corriente con un campo eléctrico no homogéneo que causa una ruptura parcial o local de la presión atmosférica del espacio de gas.	El tratamiento corona podría incrementar la biodegradabilidad de ciertos polímeros, además ha sido ampliamente utilizado en la industria textil y alimentaria.
Descarga de barrera dieléctrica (DBD)	Se produce utilizando un alto voltaje entre dos electrodos que generan el grado de ionización necesario para producir el plasma.	Ha sido ampliamente utilizado en la descontaminación de alimentos por diferentes tipos de microorganismos.
Radiofrecuencia (RF)	Es generado por una fuente de radiofrecuencia a presiones relativamente bajas creando un campo electromagnético que induce una aceleración del artículo dentro del reactor. La fuente de radiofrecuencia puede ser de 12.56 o 40.68 MHz.	Actualmente se utiliza en la síntesis de polímeros biocompatibles. También se utiliza en la mejora de las propiedades de los compuestos.
Microondas	El plasma creado se dirige contra las líneas de un campo magnético desde la fuente de resonancia hasta la zona de proceso, donde los iones energéticos y los radicales reaccionan con un sustrato superficial.	En los últimos años se ha utilizado para sintetizar nanomateriales como nanotubos de carbono y diversos tratamientos. También se ha utilizado para funcionalizar con aminas primarias la superficie de los materiales.

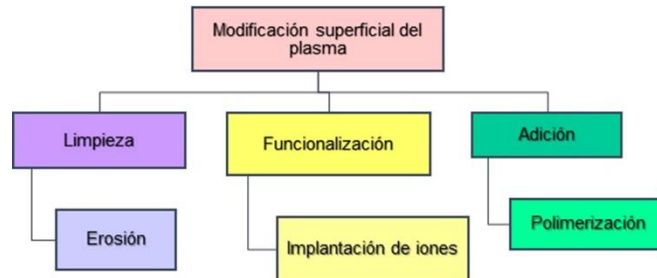


Figura 8. Características de transformación de superficie por medio del plasma (Reyna-Martínez y col., 2018).

En el cuadro 2 se muestran la aplicación de las tecnologías emergentes en diferentes tipos de semillas, sus condiciones de trabajo y resultados obtenidos.

Cuadro 2. Aplicaciones de las tecnologías emergentes en relación con la germinación.

Tecnología	Semilla por tratar	Condiciones de tratamiento	Resultados	Referencia
			El tratamiento de 80 mT con un tiempo de 5 y 10 minutos produjo mayor porcentaje de germinación, por otro lado, se mejoró el crecimiento en altura y raíz de la planta.	(ul Haq y col., 2012)
	Rábano (<i>Raphanus sativus</i>)	Se expusieron a ondas magnéticas sinusoidales rectificadas de onda completa, con campos de MF de resistencias de 40, 80 y 110 mT durante 2.5, 5 y 10 minutos cada uno.		
Campo magnético			El tratamiento con MF mejoró la germinación aplicando ambos tratamientos de resistencia y tiempo, las raíces y longitudes	(Iqbal y col., 2016a)
	Melón (<i>Cucumis melo L.</i>)	Se evaluaron los contenidos y las actividades enzimáticas a una fuerza de 100 y 200 mT durante 5 a 20 minutos.		

			de la planta aumentaron de un 14.6 a 80.9 %.				germinación, sin embargo, disminuyó de un 93.33 % a un 66.67 %		
	Calabaza amarga (<i>Momordica charantia</i> L.)	Las semillas fueron expuestas a 25.50 y 75 mT generados por un electroimán (sinusoidal rectificada no uniforme) en un tiempo de 15, 30 y 45 minutos cada uno.	Al aplicar una resistencia de 75 mT en un tratamiento de 15 y 30 minutos mostro un mejor rendimiento en la germinación. Se reveló que la germinación aumento hasta un 54.52 %. Se observó una germinación del 100 %, sin embargo, se registró una germinación mínima del 25 % en semillas expuestas durante 3 segundos.	(Iqbal y col., 2016b)	Ozono	Trigo (<i>Triticum</i>) Garbanzo (<i>Cicer arietinum</i>)	Se realizó utilizando un analizador de gases Cyclone -5.41. Las semillas fueron expuestas a un generador de ozono que mantuvo un flujo de aire constante de 2 L/min y una concentración de ozono en aire de 150 ppm. Las semillas fueron colocadas a un generador de ozono que mantuvo un aire constante de 2 L/min y una concentración de ozono en aire de 40 ppm.	Aumentó hasta un 94.5% en germinación. Se demostró que el tratamiento con ozono no afectó, por lo que mejoró las condiciones de germinación.	(Avdeeva y col., 2018) (Valdés y col., 2012)
	Okra (<i>Abelmoschus esculentus</i> L.)	Las semillas fueron sembradas a una misma profundidad. Se expusieron a microondas durante 126, 70 y 50 segundos.	Las semillas fueron expuestas de una radiación de microondas de 2450 MHz durante 0, 1, 2, 3 y 5 segundos.	(Naeem y col., 2013)		Sorgo (<i>Sorghum</i>)	El porcentaje de germinación fue de 87 %		(Machado-Montalvo, 2015)
Microondas	Berro (<i>Nasturtium officinale</i>)	Las semillas fueron expuestas a radiaciones de microondas de 2450 MHz durante 0, 5 y 20 segundos.	Las semillas fueron sembradas a una misma profundidad. Se expusieron a microondas durante 126, 70 y 50 segundos. Empleando un tratamiento con un tiempo de 126 segundos. Mostraron una germinación del 95 % al emplear un tratamiento con un tiempo de 126 segundos. Empleando un tratamiento con un tiempo de 5 segundos logró mejorar el porcentaje de	(Sahin, 2014)	Luz UV	Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	Las semillas se expusieron a una radiación UV-C a 254 nm durante 0, 30, 60, y 120 minutos	El tratamiento de 120 minutos resultó ser eficaz para el porcentaje de germinación por lo que aumentó hasta un 83.33 % Se obtuvo un 100 % de germinación con un tratamiento de 5 y 10 minutos, sin	(Lazim y Ramadhan, 2020)
	Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	Las semillas fueron expuestas a radiaciones de microondas de 2450 MHz durante 0, 5 y 20 segundos.	Las semillas estuvieron expuestas a radiaciones de microondas de 2450 MHz durante 0, 5 y 20 segundos.	(Lazim y Ramadhan, 2020)		Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	Se expusieron a radiación ultravioleta a 253.7 nm durante 0, 5, 10, 30 y 60 minutos.		(Naeem y col., 2013)

		embargo, se redujo entre un 20 y 40 % La irradiación con 5.4 kJ/m2 favoreció la germinación, y crecimiento de las plántulas. Se mostró que con el plasma frío aumentó significativamente la tasa de germinación en un 36.2 %	(Díaz-Leyva y col., 2017)
	Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	Se evaluó la germinación utilizando los tratamientos de irradiación de 1.8, 5.4, 10.8, 16.2, 21.6, 27 y 32.4 kJ/m2	
	Frijoles mung (<i>Vigna radiata</i>) (Plasma frío)	Resistencia 10 k, la corriente era de 30 mA	(Jiang y col., 2014) (Li y col., 2014)
Plasma	Grano negro (<i>vigna mungo</i> L.) (Plasma DBD)	Las semillas fueron tratadas con una presión de 400 torr, el voltaje de descarga de plasma, frecuencia, espaciado de electrodos, temperatura del gas y la potencia fueron de 5kV, 4.5 kHz, 60 mm, 310 K, y 45 W. Se aplicó la exposición de la semilla a plasma frío con diferentes potencias de RF: 30, 90, 150, 210 y 270 W.	Se encontró que la tasa de germinación aumentó de un 13.57 a 51.71 % (Billah y col., 2020)
	Albahaca dulce (<i>Ocimum basilicum</i> L.) (Plasma RF)	Se aplicó la exposición de la semilla a plasma frío con diferentes potencias de RF: 30, 90, 150, 210 y 270 W.	Se obtuvo una mayor tasa de germinación al aplicar una potencia de 150 W (Singh y col., 2019)

Aplicaciones del plasma frío

La tecnología de plasma frío ha demostrado ser muy eficaz como una herramienta alternativa para la descontaminación de los alimentos y la extensión de la vida útil. El impacto del plasma en la calidad de los alimentos es muy crucial para su aceptación como una tecnología alternativa de procesamiento de alimentos. Debido a la naturaleza no térmica, los tratamientos de plasma han

mostrado no tener impactos negativos en los atributos físicos, químicos, nutricionales y sensoriales de varios productos. La versatilidad del diseño, la naturaleza no térmica, económica y respetuosa con el medio ambiente de plasma ofrece ventajas únicas sobre las tecnologías de procesamiento tradicionales. Sin embargo, esta tecnología todavía está en su forma naciente y necesita más investigación para alcanzar su potencial (Deng y col., 2020; Hati y col., 2018).

Por otro lado, en un estudio, hallaron una moderna metodología para modificar los residuos de aceite de fritura en una fuente de energía potencial obteniendo como producto el biodiesel. Lo anterior, se obtiene de ácidos grasos que provienen de los desechos de una industria alimentaria utilizando la tecnología del plasma de descarga de corona ya que ofrece como ventajas la aceleración y esterificación de la reacción por lo que permite la separación del biodiesel y eliminación de residuos alternos. Las condiciones de trabajo fueron una relación molar aceite/metanol de 6:1, temperatura ambiente (25 °C), tiempo de reacción de 110 minutos y 30 mL de muestra. El índice de acidez indica el contenido de ácidos grasos libres en el biodiesel. El estudio verificó que el plasma de descarga de corona es una tecnología ecológica (Cubas y col., 2016).

Además, Pérez-Andrés y col., (2019) investigaron el efecto que tiene el plasma de aire atmosférico en las propiedades tecnofuncionales (capacidad de absorción de agua, inhibitoria de enzimas y solubilidad proteica) de dos ingredientes muy comunes en la industria alimentaria: la hemoglobina y gelatina de cerdo; además de una fuente de proteínas funcionales que fueron extraídas de un coproducto cármico (proteína del pulmón bovino). Los resultados obtenidos demostraron que existe una correlación entre acción del plasma y el incremento de las propiedades tecnofuncionales y la estructura nativa y naturaleza proteica de estos ingredientes, por lo que los cambios en la estructura de estos componentes por medio del plasma pueden ser un beneficio o perjuicio (Pérez-Andrés y col., 2019).

Plasma frío aplicado en semillas

Se ha demostrado que el tratamiento de semillas vegetales con plasma de presión atmosférica de alta frecuencia, también conocido como plasma frío, tiene un potencial para mejorar la calidad de las semillas agronómicas mediante la descontaminación superficial, la mejora de la germinación y la promoción del crecimiento de las plantas, a continuación, se muestran algunos estudios.

En otra investigación realizaron un estudio sobre el efecto del tratamiento con plasma de helio en la germinación, crecimiento y el rendimiento de semillas de trigo. Se estudiaron los efectos de diferentes potencias del plasma en la germinación. Encontraron que el tratamiento de 80 W podría mejorar significativamente el potencial de germinación de semillas (6.0 %) y una tasa de germinación (6.7 %) en comparación con el grupo de control, en comparación con el control, la altura de la planta (20,3 %), la longitud de la raíz

(9.0 %) y peso fresco (21.8 %) se mejoraron significativamente en la etapa de la plántula. En la etapa de arranque, la altura de la planta, la longitud de la raíz, el peso fresco, el diámetro del tallo, el área de la hoja y el grosor de la hoja de la planta tratada se incrementaron respectivamente en un 21.8, 11.0, 7.0, 9.0, 13.0 y 25.5 %. Al mismo tiempo, el contenido de clorofila (9,8 %), nitrógeno (10,0 %) y el contenido de humedad (10,0 %) eran superiores a los del control, lo que indica que el tratamiento con plasma frío podría promover el crecimiento del trigo (Jiang y col., 2014). Por otro lado, Li y col., (2014) estudiaron los efectos del tratamiento de plasma frío en la germinación de semillas de soja. Las semillas fueron pretratadas con 60, 80, 100 y 120 W de potencia durante 15 s. Los resultados mostraron que los tratamientos con plasma tuvieron efecto positivo sobre la germinación de semillas y el crecimiento de plántula, además, el tratamiento a 80 W tuvo el efecto estimulante más alto. Los índices de germinación y vigor aumentaron significativamente un 14.66 y 63.33 %, respectivamente. La captación de agua de la semilla mejoró un 14.03 % y el ángulo de contacto aparente disminuyó un 26.19 %. Las características del crecimiento de la plántula, incluyendo la longitud del brote, el peso seco de brote, la longitud de la raíz y el peso seco de la raíz, aumentaron significativamente en un 13.77, 21.95, 21.42 y 27.51 %, respectivamente, en comparación con el control, lo que indica que el tratamiento con plasma tuvo un mayor efecto estimulante sobre las raíces vegetales. Estos resultados indicaron que el tratamiento con plasma frío podría promover el crecimiento incluso el rendimiento de la soja.

CONCLUSIONES

De acuerdo con esta breve revisión, es notable que la tecnología de plasma se ha utilizado en años recientes para la mejora de diversos productos agrícolas y de alimentos, principalmente para la prolongación de la vida de anaquel y la mejora en las propiedades funcionales. La versatilidad del diseño, la naturaleza no térmica, económica y respetuosa con el medio ambiente del plasma ofrece ventajas únicas sobre las tecnologías de procesamiento tradicionales. En el campo del cultivo de semillas, se encontraron algunas investigaciones en las que se dilucida la potencial aplicación de esta tecnología en estos procesos, encontrando resultados como la mejora significativa del potencial de germinación de semillas y sus tasas de crecimiento, esto representa al plasma como una herramienta trascendental para lograr una mayor organización en estos procesos que impactaran directamente en una mayor producción de vegetales y por supuesto, en el combate a la insuficiencia de alimentos, la mejora y optimización de la producción agrícola y germinación de semillas, sin embargo, es notable que esta tecnología todavía está en su forma naciente y se necesita de más investigación para alcanzar su potencial.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

REFERENCIAS

- Avdeeva V, Zorina E, Bezgina J y Kolosova O. 2018. Influence of ozone on germination and germinating energy of winter wheat seeds. *Eng. Rural Dev.* **17**: 543–546.
- Baldivia AS y Ibarra GR. 2017. La disponibilidad de alimentos en México: Un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050. *Pap. poblac.* **23**: 207–230.
- Bertran M. 2017. Domesticar la globalización: alimentación y cultura en la urbanización de una zona rural en México. *An Antropol.* **51**: 123–130.
- Billah M, Sajib SA, Roy NC, Rashid MM, Reza MA, Hasan MM y Talukder MR. 2020. Effects of DBD air plasma treatment on the enhancement of black gram (*Vigna mungo* L.) seed germination and growth. *Arch. Biochem. Biophys.* **681**: 108253.
- Chaple S, Sarangapani C, Jones J, Carey E, Causeret L, Genson A, Duffy B y Bourke P. 2020. Effect of atmospheric cold plasma on the functional properties of whole wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and wheat flour. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **66**: 102529.
- Cubas ALV, Machado MM, Pinto CRSC, Moecke EHS y Dutra ARA. 2016. Biodiesel production using fatty acids from food industry waste using corona discharge plasma technology. *Waste Manage.* **47**: 149–154.
- De Souza A, García D, Sueiro L y Gilart F. 2014. Improvement of the seed germination, growth and yield of onion plants by extremely low frequency non-uniform magnetic fields. *Sci. Hortic.* **176**: 63–69.
- Deng LZ, Tao Y, Mujumdar AS, Pan Z, Chen C, Yang XH, Liu ZL, Wang H y Xiao HW. 2020. Recent advances in non-thermal decontamination technologies for microorganisms and mycotoxins in low-moisture foods. *Trends Food Sci. Technol.* **106**: 104–112.
- Díaz-Leyva CE, Bacópulos-Mejía E, Ruiz-Torres NA, Ibarra-Jiménez L y Benavides-Mendoza A. 2017. Irradiación de semillas de tomate con UV-B y UV-C: impacto sobre germinación, vigor y crecimiento. *Rev Mex Cienc Pecu.* **8**: 105.
- Espinosa-Calderón A, Turrent-Fernández A, Tadeo-Robledo M, San Vicente-Tello A, Gómez-Montiel N, Valdivia-Bernal R, Sierra Macías M y Zamudio-González B. 2014. Seeds Act and Federal Plant Varieties Act and transgenic maize in Mexico. *Rev Mex Cienc Agric.* **5**: 293–308.
- Fung Y, Pimentel C, Salgueiro C, Alfarge A, Olivera R y Sato A. 2010. Efecto de la aplicación de un campo magnético sobre la germinación in vitro de semillas de *Rosmarinus officinalis* L. *Biot Veg.* **10**: 105–111.
- Granella SJ, Christ D, Werncke I, Bechlin TR y Machado Coelho SR. 2018. Effect of drying and ozonation

- process on naturally contaminated wheat seeds. *J. Cereal Sci.* **80**: 205–211.
- Gutiérrez D, Ruiz G, Sgroppo S y Rodríguez S. 2016. Uso de la radiación UV-C en el proceso de elaboración de hortalizas UV-C Radiation in the Elaboration Process of IV Gamma Vegetables. *Agrocienc Urug.* **20**: 7–13.
- Hassan AB, Pawelzik E y von Hoersten D. 2021. Effect of microwave heating on the physiochemical characteristics, colour and pasting properties of corn (*Zea mays* L.) grain. *LWT.* **138**: 110703.
- Hati S, Patel M y Yadav D. 2018. Food bioprocessing by non-thermal plasma technology. *Curr. Opin. Food Sci.* **19**: 85–91.
- Iqbal M, ul Haq Z, Jamil Y y Nisar J. 2016a. Pre-sowing seed magnetic field treatment influence on germination, seedling growth and enzymatic activities of melon (*Cucumis melo* L.). *Biocatal. Agric. Biotechnol.* **6**: 176–183.
- Iqbal M, ul Haq Z, Malik A, Ayoub CM, Jamil Y y Nisar J. 2016b. Pre-sowing seed magnetic field stimulation: A good option to enhance bitter melon germination, seedling growth and yield characteristics. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* **5**: 30–37.
- Jiang J, He X, Li L, Li J, Shao H, Xu Q, Ye R y Dong Y. 2014. Effect of cold plasma treatment on seed germination and growth of wheat. *Plasma Sci. Technol.* **16**: 54–58.
- Kang MH, Pengkit A, Choi K, Jeon SS, Choi HW, Shin DB, Choi EH, Uhm HS y Park G. 2015. Differential inactivation of fungal spores in water and on seeds by ozone and arc discharge plasma. *PLoS ONE.* **10**: 1–16.
- Karaca H y Velioglu YS. 2007. Ozone applications in fruit and vegetable processing. *Food Rev. Int.* **23**: 91–106.
- Keidar M y Beilis II. 2018. Plasma Concepts. In: *Plasma Engineering*. M. Keidar, I.I. Beilis ed. Academic Press, United Kingdom, 3–100 pp.
- Koutchma T. 2021. Global Regulations on Ultraviolet and Pulsed Light Technology for Food Related Applications. In: *Innovative Food Processing Technologies*. K. Knoerzer, K. Muthukumarappan ed. Elsevier, 311–315 pp.
- Lazim SK y Ramadhan MN. 2020. Effect of microwave and UV-C radiation on some germination parameters of barley seed using mathematical models of Gompertz and logistic: Analysis study. *Basrah J. Agric. Sci.* **33**: 28–41.
- Lee Y, Lee YY, Kim YS, Balaraju K, Mok YS, Yoo SJ y Jeon Y. 2020. Enhancement of seed germination and microbial disinfection on ginseng by cold plasma treatment. *J. Ginseng Res.* <https://doi.org/10.1016/j.jgr.2020.12.002>.
- Li L, Jiang J, Li J, Shen M, He X, Shao H y Dong Y. 2014. Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean. *Sci. Rep.* **4**: 1–7.
- Ling L, Jiangang L, Minchong S, Chunlei Z y Yuanhua D. 2015. Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress. *Sci. Rep.* **5**: 1–10.
- Ma M, Wang P, Yang R y Gu Z. 2018. Effects of UV-B radiation on the isoflavone accumulation and physiological-biochemical changes of soybean during germination: Physiological-biochemical change of germinated soybean induced by UV-B. *Food Chem.* **250**: 259–267.
- Machado-Montalvo I, Valdés-Herrera R y Cárdenas-Morales M. 2015. Efecto del ozono (O₃) sobre el vigor de las semillas de sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) variedad UDG-110. *Centro Agrícola.* **42**: 11–16.
- Misra NN, Schlüter O y Cullen PJ. 2016. Plasma in Food and Agriculture. In: *Cold Plasma in Food and Agriculture: Fundamentals and Applications*. N.N. Misra, Oliver Schlüter, P.J. Cullen ed. Academic Press, United Kingdom, 1–16 pp.
- Morales-Santos ME, Peña-Valdivia CB, García-Esteva A, Aguilar-Benítez G y Kohashi-Shibata J. 2017. Características Físicas Y De Germinación En Semillas Y Plántulas De Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Silvestre, Domesticado Y Su Progenie. *Agrociencia.* **51**: 43–62.
- Morozov GA, Blokhin VI, Stakhova NE, Morozov OG, Dorog NV y Bizyakin AS. 2013. Microwave Technology for Treatment Seed. *World J. Agric. Res.* **1**: 39–43.
- Naeem A, Saeed M, Abid M y Shaukat ASS. 2013. Effect of Uv-B and Microwave Radiation on Seed Germination and Plant Growth in Corn and Okra. *Fuuast J. Biol.* **3**: 55–62.
- Noble RE. 2002. Effects of UV-irradiation on seed germination. *Sci. Total Environ.* **299**: 173–176.
- Ojha S, Fröhling A, Durek J, Ehlbeck J, Tiwari BK, Schlüter OK y Bußler S. 2021. Principles and Application of Cold Plasma in Food Processing. In: *Innovative Food Processing Technologies*. Knoerzer, K. Muthukumarappan ed. Elsevier, 519–540 pp.
- Orsat V, Raghavan GSV y Krishnaswamy K. 2017. Microwave technology for food processing: An overview of current and future applications. In *The Microwave Processing of Foods*. M. Regier, K. Knoerzer, H. Schubert ed. Woodhead Publishing, Elsevier, United Kingdom, 100–116 pp.
- Pandiselvam R, Kaavya R, Jayanath Y, Veenuttranon K, Lueprasitsakul P, Divya V, Kothakota A y Ramesh SV. 2020a. Ozone as a novel emerging technology for the dissipation of pesticide residues in foods—a review. *Trends Food Sci. Technol.* **97**: 38–54.
- Pandiselvam R, Mayoorkha VP, Kothakota A, Sharmila L, Ramesh SV, Bharathi CP, Gomathy K y Srikanth V. 2020b. Impact of Ozone Treatment on Seed Germination—A Systematic Review. *Ozone: Sci. Eng.* **42**: 331–346.

- Pankaj SK y Keener KM. 2017. Cold plasma: background, applications and current trends. *Curr. Opin. Food Sci.* **16**: 49–52.
- Pedrow P, Hua Z, Xie S y Zhu MJ. 2019. Engineering principles of cold plasma. In *Advances in Cold Plasma Applications for Food Safety and Preservation*. D. Bermudez-Aguirre ed. Academic Press, Elsevier, 3-48 pp.
- Pérez-Andrés JM, Álvarez C, Cullen PJ y Tiwari BK. 2019. Effect of cold plasma on the techno-functional properties of animal protein food ingredients. *Innov Food Sci Emerg Technol.* **58**: 102205.
- Pietruszewski S y Martínez E. 2015. Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material: A review. *Int Agrophys.* **29**: 377–389.
- Prabha V, Barma RD, Singh R y Madan A. 2015. Ozone Technology in Food Processing: A Review. *Trends in Biosciences.* **8**: 4031–4047.
- Ren J, Zhu Z, Qiu Y, Yu F, Ma J y Zhao J. 2021. Magnetic field assisted adsorption of pollutants from an aqueous solution: A review. *J. Hazard. Mater.* **408**: 124846.
- Reyna-Martínez R, Céspedes RIN, Alonso MCI y Acosta YKR. 2018. Use of Cold Plasma Technology in Biomaterials and Their Potential Utilization in Controlled Administration of Active Substances. *Juniper Online J. Mater. Sci.* **4**: 1–9.
- Rifna EJ, Ratish Ramanan K y Mahendran R. 2019. Emerging technology applications for improving seed germination. *Trends Food Sci. Technol.* **86**: 95–108.
- Rodríguez, J., Castro, D., & Bye, R. (2010). Protocolo de germinación de dos especies de quelites: *Crotalaria pumila* “Chepil” y *Porophyllum ruderale* var. *macrocephalum* “Pápalo.” Universidad Nacional Autónoma de México, 7–8.
- Sadhu S, Thirumdas R, Deshmukh RR y Annapure US. 2017. Influence of cold plasma on the enzymatic activity in germinating mung beans (*Vigna radiate*). *LWT.* **78**: 97–104.
- Sahin H. 2014. Effects of Microwaves on the Germination of Weed Seeds. *J. Biosyst. Eng.* **39**: 304–309.
- Singh R, Prasad P, Mohan R, Verma MK y Kumar B. 2019. Radiofrequency cold plasma treatment enhances seed germination and seedling growth in variety CIM-Saumya of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *J Appl Res Med Aroma.* **12**: 78–81.
- Sivachandiran L y Khacef A. 2017. Enhanced seed germination and plant growth by atmospheric pressure cold air plasma: combined effect of seed and water treatment. *RSC Adv.* **7**: 1822–1832.
- Talei D, Mohsenkhah M y Mahzoon M. 2018. Microwave radiation, seed germination and seedling growth responses in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Hortic. Int. J.* **2**: 332–336.
- ul Haq Z, Jamil Y, Irum S, Randhawa MA, Iqbal M y Amin N. 2012. Enhancement in germination, seedling growth and yield of radish (*Raphanus sativus*) using seed pre-sowing magnetic field treatment. *Pol. J. Environ. Stud.* **21**: 369–374.
- Valdés-Herrera R, Pozo-Velázquez E, Cárdenas-Morales M, Jimenez L, Ferrer CP y Rojas RR. 2012. Efecto del ozono sobre el vigor de semillas de Garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Centro Agrícola.* **39**: 21–26.
- Whitehead JC. 2016. The Chemistry of Cold Plasma. In *Cold Plasma in Food and Agriculture: Fundamentals and Applications*. N.N. Misra, O. Schlüter, P.J. Cullen ed. Academic Press, Elsevier, 53-81 pp.
- Zhu F. 2018. Effect of ozone treatment on the quality of grain products. *Food Chem.* **264**: 358–366.