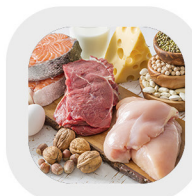
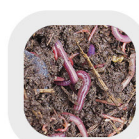




# FRONTERA BIOTECNOLÓGICA



Revista Digital del IPN, CIBA Tlaxcala - No. 14 septiembre - diciembre 2019



EL AGAVE PULQUERO  
LA NUEVA FUENTE  
DE PROBIÓTICOS  
VEGANA

PROTEÍNAS EN  
ALIMENTOS ¿BUENAS  
Y ... MALAS?

USO DE  
FERTILIZANTES,  
SUSTRATOS Y  
ENMENDADORES  
PARA INCREMENTAR  
LA PRODUCTIVIDAD  
AGRÍCOLA, PARTE 2

EVALUACIÓN  
CITOTÓXICA DE  
HIERRO CONTENIDO  
EN NANOPARTÍCULAS

# Directorio Institucional

## IPN

MARIO ALBERTO RODRÍGUEZ CASAS  
DIRECTOR GENERAL

MARÍA GUADALUPE VARGAS JACOBO  
SECRETARIO GENERAL

JORGE TORO GONZÁLEZ  
SECRETARIO ACADÉMICO

JUAN SILVESTRE ARANDA BARRADAS  
SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

LUIS ALFONSO VILLA VARGAS  
SECRETARIO DE EXTENSIÓN E INTEGRACIÓN SOCIAL

ADOLFO ESCAMILLA ESQUIVEL  
SECRETARIO DE SERVICIOS EDUCATIVOS

REYNOLD RAMÓN FARRERA REBOLLO  
SECRETARIO DE GESTIÓN ESTRATÉGICA

JORGE QUINTANA REYNA  
SECRETARIO DE ADMINISTRACIÓN

ELEAZAR LARA PADILLA  
SECRETARIO EJECUTIVO DE LA COMISIÓN DE OPERACIÓN  
Y FOMENTO DE ACTIVIDADES ACADÉMICAS

H. GUILLERMO ROBLES TEPICHÍN  
SECRETARIO EJECUTIVO DEL PATRONATO DE OBRAS E  
INSTALACIONES

JOSÉ JUAN GUZMÁN CAMACHO  
ABOGADO GENERAL

MODESTO CÁRDENAS GARCÍA  
PRESIDENTE DEL DECANATO

## CIBA IPN

DIANA VERÓNICA CORTÉS ESPINOSA  
DIRECTORA DEL CIBA-IPN, TLAXCALA

MARÍA DEL CARMEN CRUZ LÓPEZ  
SUBDIRECTORA ACADÉMICA DEL CIBA-IPN, TLAXCALA

ERIK OCARANZA SÁNCHEZ  
SUBDIRECTOR DE VINCULACIÓN DEL CIBA-IPN, TLAXCALA

MIGUEL ÁNGEL PLASCENCIA ESPINOSA  
SUBDIRECTOR DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DEL CIBA-IPN, TLAXCALA

VÍCTOR ERIC LÓPEZ Y LÓPEZ  
EDITOR EN JEFE

GONZALO PÉREZ ARAIZA  
SOPORTE TÉCNICO

PEDRO RAMÍREZ CALVA  
DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN FRONTERA BIOTECNOLÓGICA

ISMAEL SÁNCHEZ GONZÁLEZ  
DESARROLLO WEB

LILIA ESPINDOLA RIVERA  
COORDINADORA ADMINISTRATIVA

## CINTILLO LEGAL

FRONTERA BIOTECNOLÓGICA, año 7, número 14, septiembre - diciembre 2019, es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto Politécnico Nacional a través del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac - Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, México. Tels.: 01-248-48707-65 y 66 Conmutador IPN: 57296000, Ext. 87816. <http://www.revistafronterabiotecnologica.cibatlaxcala.ipn.mx/>, Editor responsable: Dr. Víctor Eric López y López. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2015-120313501700-203, ISSN: 2448-8461, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsable de la última actualización de este número, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Dr. Víctor Eric López y López., Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac - Tepetitla Km 1.5, Tlaxcala C.P. 90700, fecha de última modificación, 17 de diciembre de 2019.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Politécnico Nacional.

# CONTENIDO

MENSAJE EDITORIAL 3

EL AGAVE PULQUERO LA NUEVA  
FUENTE DE PROBIÓTICOS VEGANA 4

PROTEÍNAS EN ALIMENTOS  
¿BUENAS Y ... MALAS? 9

EVALUACIÓN CITOTÓXICA  
DE HIERRO CONTENIDO EN  
NANOPARTÍCULAS 14

USO DE FERTILIZANTES, SUSTRATOS  
Y ENMENDADORES PARA  
INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD  
AGRÍCOLA, PARTE 2 18



# MENSAJE EDITORIAL

Diciembre del 2019

Estimados lectores.

En este número se abordarán temas diversos relacionados con la salud humana y medio ambiente. Debido a los cambios que la salud humana y nutrición ha tenido en los últimos años se buscan alternativas para mejorarla sin el uso desmedido de productos farmacéuticos. Un ejemplo es el consumo de probióticos, aunque la mayoría son obtenidos de una base láctea lo cual es limitante para individuos que presentan problemas ligados a intolerancias y/o aquellos que eligen una dieta vegana.

Sin embargo, existe el planteamiento de la producción de probióticos a partir de fuentes vegetales como el aguamiel, promoviendo el uso del maguey, el cultivo de importancia prehispánica que pretende resurgir en el desarrollo de nuestra agroindustria.

Por otro lado, a pesar de que las proteínas son de gran importancia en la alimentación por su aporte de aminoácidos y tienen una amplia aplicación en la industria de alimentos gracias a sus características estructurales; hay algunas proteínas que pueden ocasionar reacciones alérgicas por lo que se revisan cualidades de las proteínas y algunas causas del porqué producen alergias en unas personas.

También conoceremos que el hierro es fundamental en diversas actividades biológicas tal como la síntesis de ADN y cofactor de enzimas. Algunos componentes de la dieta pueden reducir su absorción en el cuerpo causando anemia.

Para aumentar la biodisponibilidad del hierro puede encapsularse en nanopartículas. Para realizar lo anterior debemos conocer si estas nanopartículas tienen algún efecto citotóxico para brindarnos el beneficio.

Por último nos darán noción de como aumentar la productividad agrícola con la utilización de fuentes alternas de fertilizantes particularmente el compost, vermicompost y bokashi que son fáciles de elaborar y aplicando mínimos conocimientos, además de ser ambientalmente amigables.

“La Técnica al Servicio de la Patria”.

Dr. Víctor Eric López y López  
Editor en Jefe



# EL AGAVE PULQUERO LA NUEVA FUENTE DE PROBIÓTICOS VEGANA

Oxana Lazo Zamalloa

Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional.

Carretera estatal Sta. Inés Tecuexcomac Km. 1.5 Tepetitla, Tlaxcala CP 90700.

Correo electrónico: [oxanalazo@hotmail.com](mailto:oxanalazo@hotmail.com) [olazoz@ipn.mx](mailto:olazoz@ipn.mx)



## RESUMEN

La salud y nutrición ha cambiado drásticamente durante las últimas décadas con lo que actualmente la gente se preocupa más por su salud y por tanto buscan maneras de mejorarla sin hacer uso de farmacéuticos. Una alternativa al uso de fármacos para prevenir problemas gastrointestinales es el consumo de probióticos. Sin embargo, la mayoría de estos están elaborados con una base láctea lo que representa una limitante para individuos con padecimientos ligados a intolerancias y a aquellos que eligen seguir una dieta vegana. Por esta razón una alternativa a la ingesta de probióticos de base láctea (origen animal) es el uso de probióticos generados en una base vegetal como lo es el aguamiel, la savia de agave pulquero, el cual además de ser la alternativa al uso de probióticos lácteos contribuye a mantener un uso de una planta nativa cuyo cultivo ha disminuido por falta de consumo.

Palabras clave: Aguamiel, Probióticos, Productos Veganos

## Abstract

Health and nutrition has changed dramatically during the last decades. Nowadays, people care more about their health and seek ways to improve it without using pharmacists. An alternative to the use of medications to prevent gastrointestinal problems, is the probiotics consumption. However, most of these are made with a dairy base, which represents a limitation to individuals who have conditions linked to intolerances or those who have chosen to follow a vegan diet. For this reason, an alternative to the intake of dairy-based probiotics is the use of probiotics, generated on a vegetable basis such as aguamiel, the sap from agave *Atrovirens karw* (usually used to make pulque a traditional fermented beverage). In addition of being the alternative to the use of dairy probiotics, aguamiel contributes to maintain the use of a native plant whose cultivation has decreased due to a lack of consumption.

Key words: Agave sap, Probiotics, Vegan products





# I. INTRODUCCIÓN

## I.1 El agave

El agave, pertenece a la familia agavaceae, son plantas monocotiledóneas y mono-carpicas. Estas plantas han jugado un papel importante para los habitantes de México en el pasado y continúan teniendo un impacto ecológico importante en diferentes partes del mundo. Este agave se ha cultivado por su capacidad de crecer bajo condiciones de tierras áridas y semi-áridas y ayuda a la tierra a no convertirse en un desierto (Ortíz et al., 2009). Existen ciertas especies de agave conocidas como agaves pulqueros, los cuales incluyen los géneros *Agave americana*, *A. atrovirens*, *A. ferox*, *A. mapisaga* and *A. salmiana* (Escalante et al., 2008). El principal producto de esta planta es el aguamiel el cual se ha utilizado desde los tiempos pre-hispánicos para la elaboración de una bebida fermentada llamada pulque cuya venta hoy en día es prácticamente nula (Fig. 1). El aguamiel, es un líquido compuesto principalmente de azúcares que incluyen, gomas, minerales, proteínas aminoácidos y Fructo-oligosacáridos (FOS) (Ortiz-Basurto et al., 2008). Esta savia tiene un sabor dulce, un aroma herbal y color amarillo claro y se colecta por métodos tradicionales manuales y puede ser consumida como bebida fresca después de aplicar un proceso térmico que prolongue su vida de anaquel. Otra característica importante de esta bebida es que tiene presencia nativa de microorganismos, principalmente bacterias ácido lácticas que pueden inhibir el crecimiento de bacterias patógenas teniendo así un posible potencial probiótico.



## I.2 Los probióticos

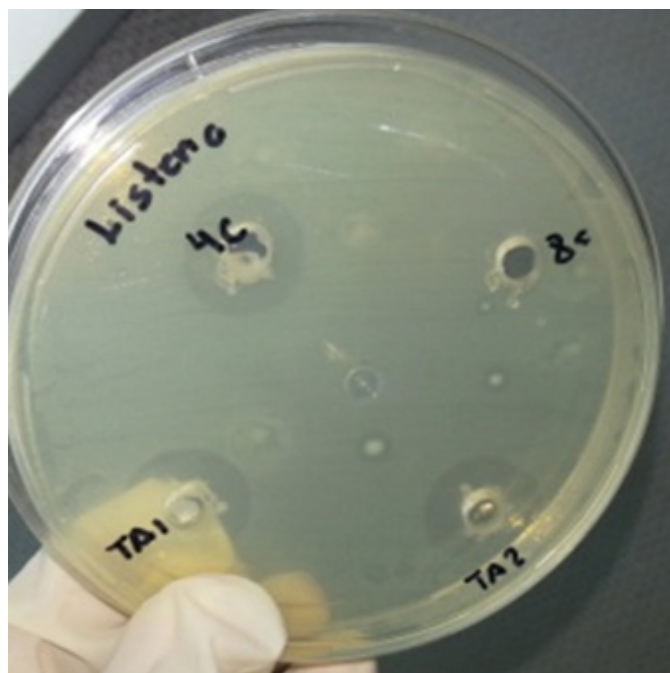
La mayoría de los productos probióticos en el mercado actual tienen una base láctea un ejemplo es el Yakult. Esta es una bebida láctea probiótica fermentada elaborada con una mezcla de leche descremada en polvo, azúcar y glucosa fermentada por el *Lactobacillus casei* Shirota (Lb. casei YIT 9018). Yakult contiene aproximadamente 14% de azúcares. La leche utilizada enriquecida con azúcares normalmente se somete a tratamiento térmico como ultrapasteurización o esterilización y por lo tanto una reacción de Maillard ocurre entre los carbohidratos y los aminoácidos presentes resultando así en una coloración ligeramente café (Surono & Hosono, 2002). La fermentación

se lleva a cabo a 37°C durante 16-18 h y el producto final contiene aproximadamente 8-log de UFC/ml de colonias de *L. casei* Shirota. Esta bebida es efectiva en la prevención de desórdenes digestivos (Preter et al., 2007).

Una alternativa de consumo de probióticos de base láctea podría ser la generación de bebidas fermentadas de origen vegetal que pudiera resultar interesante para la gente que padece de una intolerancia a la lactosa o una alergia relacionada con lácteos. Además, recientemente la demanda de productos probióticos que no provengan un derivado lácteo ha ido en aumento (Shah, 2001) y por ello se cree que los productos probióticos vegetales pueden ser una buena alternativa a futuro. Sin embargo, éste reto no es fácil, algunos trabajos como el de Sheehan et al. (2007) han identificado probióticos (*L. paracasei* NFBC43338) con gran capacidad para mantenerse viables en niveles comerciales aceptables durante varias semanas en matrices de jugo de pH ácido. Sin embargo, al ser probados en algunos jugos como el de arándanos mostraron una sobrevivencia muy baja. Esto se debe a que el pH de éste jugo puede descender a un valor de 2.5, además de contener una alta concentración de ácido benzoico (34 mg/L) que es el rango que se usa para la preservación de alimentos. Por estas razones no todos los cultivos probióticos pueden crecer en una matriz de carácter vegetal.

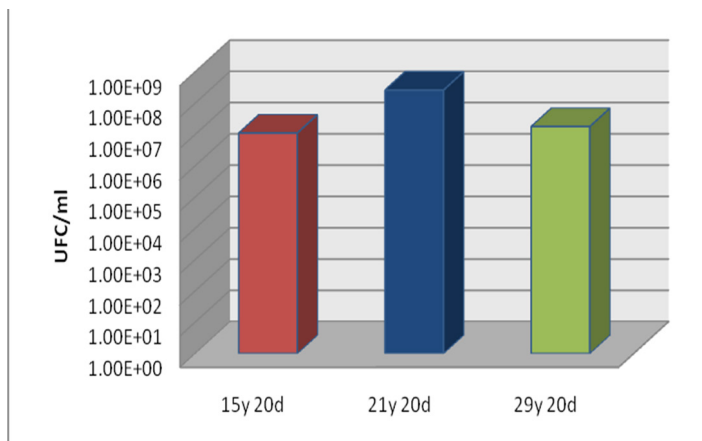
## 2. GENERACIÓN DE UNA BEBIDA PROBIÓTICA DE BASE VEGETAL

Primeramente, es necesario generar aislamientos de lactobacilos continuos hasta tener cepas puras. Estas cepas deben ser sometidas a pruebas de potencial probiótico. Una de estas pruebas es la capacidad antagonista contra microorganismos patógenos (Fig. 2).





Una siguiente fase es realizar pruebas que permitan analizar la tolerancia de las cepas a condiciones de pH bajo y presencia de jugos biliares. En esta etapa se debe valorar la cuenta viable de las bacterias ácido lácticas en el tiempo (Fig. 3).



Después de escoger las cepas del aguamiel que reúnan características probióticas se puede iniciar el proceso de fermentaciones dirigidas para poder valorar si sus características sensoriales resultan agradables (Fig. 4).



### 2.1 Características sensoriales

Las características sensoriales de una bebida deben ser evaluadas por triplicado en tres sesiones diferentes por un grupo de catadores entrenados en atributos de bebidas fermentadas antes de iniciar el análisis. Además se debe evaluar la aceptabilidad general de la bebida en una escala hedónica de nueve puntos, en una secuencia que incluye 9 = me agrada extremadamente, 5 = me es indiferente, hasta 1 = me desagrada extremadamente.

### 2.2 Características fisicoquímicas

Una forma de valoración de los atributos generados en una fermentación es comparar la bebida fermentada generada con productos existentes en el mercado, para ello se pueden comparar los parámetros fisicoquímicos de un producto comercial con los generados en la investigación, de esta manera se logra conocer cómo se encuentra el prototipo en desarrollo con respecto a un producto en puntos de venta. En la tabla I se pueden observar las características fisicoquímicas de las fermentaciones dirigidas, el metabolito principal generado, la cantidad de células viables que prevalecen a lo largo de la fermentación y finalmente la aceptabilidad sensorial observada por los catadores

entrenados.

**Tabla I.** Comparación de Cepas de Lactobacilos en 28 días de fermentación.

Cepa o producto	°Brix	pH	ART	Ácido láctico g/L	UFC/ml	Valoración Sensorial
A	12.366	3.49	0.76020043	19.356	11.20x10 <sup>6</sup>	9
B	12.164	3.38	0.85915187	5.242	264.80x10 <sup>6</sup>	8
C	12.158	3.54	1.01618741	2.694	18.05x10 <sup>6</sup>	8
Producto comercial	19	3.58	1.737	0.350	4.21x10 <sup>6</sup>	7

## 3. CONCLUSIONES

La preparación de bebidas fermentadas no lácteas tiene un gran potencial para convertirse en un producto funcional. Existen algunas especies de lactobacilos que tienen una importante tolerancia a ambientes acidificados que pueden ser utilizados en matrices de base vegetal como lo es el aguamiel de agave pulquero. El éxito de producción de una bebida probiótica radica en la habilidad de los probióticos seleccionados a crecer y sobrevivir durante una determinada vida de anaquel. Sin embargo, la evaluación sensorial del producto es muy importante ya que también tiene una asociación directa con la calidad del producto, las características de su proceso y la aceptabilidad del consumidor. Por ello es necesaria una adecuada selección del sustrato empleado así como de las cepas adecuadas para él mismo.

A diferencia de otros lactobacilos que han presentado dificultades para crecer en jugos con pH bajo, los aislamientos generados en esta investigación han demostrado un crecimiento igual o superior al de productos comerciales. Esto convierte al aguamiel en una fuente de carbono ideal para el crecimiento de lactobacilos probióticos aunado a la generación de una bebida con características sensoriales agradables que además, es capaz de satisfacer las nuevas tendencias de consumidores veganos.

## 4. AGRADECIMIENTOS

La autora de este trabajo agradece a la Secretaría de Investigación y Posgrado del IPN por haber otorgado parte de los recursos para ejecutar este proyecto.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Basurto, R.I., Williams, P., and Doco, T. (2009). Presence of rhamnogalacturonan II in the juices produced by enzymatic liquefaction of Agave pulquero stem (*Agave mapisaga*). *Carbohydrate Polymers* 77 (4), 870-875.

Escalante, A., Giles Gomez, M., Hernandez, G., Cordova Aguilar, M.S., Lopez Munguia, A., Gosset, G., Bolivar, F., (2008). Analysis of bacterial community during the fermentation of pulque, a traditional Mexican alcoholic beverage, using a polyphasic approach. *Int. J. Food Microbiol.* 124 (2), 126–134.

Granato, D., Branco, G.F., Cruz, A.G., Faria, J.A.F. and Shah, N.P. (2010), Probiotic dairy foods as functional foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 9 , 455-470.

Ortiz-Basurto, R.I., Pourcelly, G., Doco, T., Williams, P., Dornier, M., Belleville, M.- P., 2008. Analysis of the main components of the aguamiel produced by the maguey-pulquero (*Agave mapisaga*) throughout the harvest period. *J. Agric. Food Chem.* 56 (10), 3682–3687.

Özer, B. and Kirmaci, H.A. (2010). Functional milks and dairy beverages. *International Journal of Dairy Technology* 63, 1-15.

Preter, V., Vanhoutte, T., Huys, G., Swings, J., De Vuyst, L., Rutgeerts, P. and Verbeke, K. (2007). Effects of *Lactobacillus casei* Shirota, *Bifidobacterium breve*, and oligofructose-enriched inulin on colonic nitrogen-protein metabolism in healthy humans. *American Journal of Physiology, Gastrointestinal and Liver Physiology* 292, 358-368.

Radnitz, R., Beezhold, B. and DiMatteo, J. (2015). Investigation of lifestyle choices of individuals following a vegan diet for health and ethical reasons. *Apetite* 90, 31-36.

Shah, N. P. (2001). Functional foods from probiotics and prebiotics. *Food Technology* 55, 46–53

Sheehan, V.M., Ross, P. and Fitzgerald, G.F. (2007). Assessing the acid tolerance and the technological robustness of probiotic cultures for fortification in fruit juices. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 8, 279-284.

Turkmen, N., Akal, C. and Özer, B. (2019). Probiotic dairy-based beverages : A review. *Journal of Functional Foods* 53, 62-75.

Villarreal, I.S.L., Muñoz, D.B., †Michel, M., González, A.M., Escobedo, S., Salas, J.A., Flores, A. and Rodríguez, R. 2019. *Natural Beverages. The Science of Beverages* 13, 179-208.







# PROTEÍNAS EN ALIMENTOS ¿BUENAS Y ... MALAS?

Jara-Romero G.J.<sup>1</sup>, López-Valdez F.1, Maldonado-Torres D. A.1, Huerta-González L. <sup>1</sup>, Luna-Suárez S.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional (CIBA-IPN), Tlaxcala, 90700, México.

\* E mail: silvials2004@yahoo.com.mx



## RESUMEN.

Las proteínas tienen una amplia aplicación en la industria de alimentos, por sus propiedades funcionales, otorgando cualidades organolépticas a los alimentos, se emplean en bebidas, sopas, productos de horneado, entre muchos otros. Además, son de gran importancia en la alimentación por sus aportes de aminoácidos, esenciales para el mantenimiento del organismo, debido a la degradación y síntesis constantes de proteínas en el cuerpo. Estas propiedades dependerán de las características estructurales como de los aminoácidos presentes. Sin embargo, no todo en las proteínas es benéfico ya que ciertas proteínas pueden ocasionar reacciones alérgicas en algunas personas, proteínas en su mayoría altamente estables a la degradación enzimática y a cambios en su estructura debido al procesamiento de los alimentos. En el presente trabajo se revisan las cualidades de las proteínas en los alimentos y se da un panorama general sobre algunas proteínas que pueden ser causa de reacciones alérgicas en algunas personas.

Palabras clave: proteína, aminoácidos, propiedades funcionales, alergenicidad.

## ABSTRACT.

Proteins have a wide application in the food industry due to their functional properties giving organoleptic qualities to food, so they are used in drinks, soups, baked goods, among many others. In addition, they are of great importance in food because of their contributions of amino acids, essential for the maintenance of the body, due to the constant degradation and synthesis of proteins in the body. These properties will depend on both the structural characteristics and the amino acids present. However, not everything in proteins is beneficial since certain proteins can cause allergic reactions in some people, mostly proteins highly stable to enzymatic degradation and changes in their structure due to food processing. In this work, the qualities of proteins in food are reviewed and an overview is given about some proteins that can cause allergic reactions in some people.

Keywords: protein, amino acids, functional properties, allergenicity.

## I. INTRODUCCIÓN

Las proteínas son compuestos orgánicos complejos, formadas por aminoácidos en cadena de dos hasta miles de ellos, como cadenas entrecruzadas, unidas por enlaces peptídicos, sulfhidrilo, puentes de hidrógeno y fuerzas de van der Waals. Las proteínas cuentan con una estructura

bien definida y su conformación estructural es de gran importancia, ya que de ésta depende la función que cada una de ellas ejerce en la célula.

Las proteínas son componentes estructurales en todas las células humanas, vegetales, microbianas, etc., y están involucradas en la mayoría de los procesos fisiológicos a través de sus funciones como enzimas, hormonas, proteínas de transporte, de defensa, y su función estructural (que dan estructura a los músculos y hacen posible el movimiento). Casi todas las proteínas del cuerpo humano se someten a un continuo proceso de degradación y síntesis como mecanismo para reemplazar a las proteínas dañadas o defectuosas en caso de daño por estrés oxidativo, mal plegamiento de la proteína o algún otro proceso (Phillips 2017). La esperanza de vida o recambio de una proteína varía de minutos (enzimas), meses (proteína muscular) o prácticamente puede ser indefinida (proteínas de las neuronas y del cristalino del ojo) (Embleton y van den Akker 2019). Por ejemplo, la proteína muscular se obtiene si las tasas de síntesis de proteína muscular exceden la degradación, denominado balance positivo neto de proteínas musculares, mientras que en la pérdida de masa muscular ocurre a viceversa, donde la proteína se pierde si la degradación excede la síntesis de proteína como un estado de balance neto negativo de proteínas musculares (Witard et al. 2019). Dado este mecanismo constante de síntesis y degradación de proteínas en el cuerpo, es que se requiere la ingesta de proteínas en la dieta diaria (Embleton y Van den Akker 2019).

## 2. PROTEÍNAS EN LA ALIMENTACIÓN

Las proteínas juegan un rol importante en los seres humanos ya que contribuyen a los requerimientos nutricionales del cuerpo, el consumo de proteína tiene dos componentes importantes que aportan al cuerpo, el nitrógeno total y los aminoácidos esenciales (Tomé 2018). Estos componentes mediante el metabolismo se convierten en proteínas corporales y varios intermediarios involucrados en el metabolismo por ejemplo el carbono liberado por la oxidación de aminoácidos puede ser utilizado en el hígado para producir glucosa y función de diferentes células, como las proteínas neuronales vitales para el funcionamiento de las neuronas (Embleton y van den Akker 2019).

Estos procesos requieren fuentes de energía obtenidas a partir de la dieta, por ello es importante una dieta apropiada en calidad y cantidad de proteína. De acuerdo a la FAO/WHO/UNU (2000), el requerimiento de proteínas de un individuo se define como la cantidad de proteínas en la dieta que equilibrará las pérdidas de nitrógeno del cuerpo de una persona. El requerimiento dependerá de la edad, actividad física y de su condición, si es una persona sana o enferma.

En general la cantidad diaria recomendada de proteínas para un adulto sano con actividad física mínima actualmente es de 0.8 g de proteína por kg de masa corporal por día (FAO/WHO/UNU, 2007). En la Tabla 1 se presentan los requerimientos de proteína para cada grupo de edades.

Cabe resaltar que la deficiencia de proteínas en la dieta puede conducir a una enfermedad llamada desnutrición proteica, provocando la pérdida de grasa, retraso en el crecimiento, anemia, debilidad física, edema, disfunción vascular, inmunidad deteriorada y atrofia muscular, llegando a ocasionar la muerte (Hoffer 2017). La ingesta de proteínas debe garantizar una provisión equilibrada de aminoácidos ya que son los determinantes del valor nutricional de una proteína, el consumo adecuado de aminoácidos puede garantizar el mantenimiento del tejido muscular y la estimulación de la oxidación de sustratos energéticos (ácidos grasos y glucosa) en adipocitos, hígado, músculo esquelético y corazón, ayudando a reducir la obesidad (de Sousa et al. 2019; Wu 2016). Por otro lado, la ingesta de una cantidad excesiva de proteínas, también puede causar problemas en la salud. Se han hecho estudios para conocer cuál es la cantidad que tolera el cuerpo humano (Bilsborough y Mann, 2006) y hay diferentes resultados. Sin embargo, la cantidad que puede tolerar el organismo depende, como ya se mencionó, de la actividad física, la edad, y la adaptación, es decir, si el organismo está habituado a concentraciones relativamente altas de proteína, podría tolerar un poco más, tal es el caso de los deportistas de alto rendimiento (Antonio et al. 2014; Witard et al. 2011). En la Tabla 2 se muestran los valores máximos recomendables de proteínas para cada grupo de personas.

La alta ingesta de proteínas provoca efectos adversos tales como molestias intestinales, hiperaminoacidemia, hiperamonemia, hiperinsulinemia, deshidratación,

**Tabla 1.** Requerimientos dietarios de proteína en humanos sanos en los diversos grupos de edades.

Grupo	Edad (años)	Requerimientos dietarios de proteína (g/kg de masa corporal por día)*
Infantes	0.3 - 0.5	1.31
	0.75 - 1	1.14
Niños	1 - 3	1.02
	4 - 8	0.92
Adolescentes	9 - 13	0.90
	14 - 18 (hombres)	0.87
	14 - 18 (mujeres)	0.83
Adultos	≥ 19	0.83

\*FAO/WHO/UNO (Organización mundial de la salud/Organización de agricultura y alimentos/Universidad de las naciones unidas)

irritación, náuseas, diarrea, lesiones hepáticas y renales, fatiga, dolor de cabeza, convulsiones, alto riesgo de enfermedad cardiovascular o incluso de muerte (Santesso et al. 2012). Además, los problemas de alto consumo de proteínas pueden verse agravados por el bajo consumo de carbohidratos, debido a cargas adicionales en el hígado y riñón para producir grandes cantidades de glucosa a partir de aminoácidos, además de sus funciones en la eliminación de amoníaco excesivo y urea (Wu 2016).

**Tabla 2.** Valores máximos seguros de proteína en la dieta de humanos sanos en los diversos grupos de edades.

Grupo	Límites superiores seguros de proteína ingerida (g/kg de masa corporal por día)
Infantes (0.3 a 1 año)	4.7
Niños (1 a 3 años)	5.1
Adultos (> 18 años)	3.5

Tomada y adaptada de Wu (2016).



## 2.1 Aminoácidos en la dieta

Los aminoácidos son precursores de la síntesis de proteínas, además de que pueden actuar como moléculas de señalización (Atherton et al. 2010), por lo que el contenido de aminoácidos es importante para determinar la calidad de la proteína a consumir y también la cantidad necesaria en la dieta. La mayoría de los aminoácidos también tienen una función individual, por ejemplo, la arginina es un precursor del óxido nítrico, el glutamato es un neurotransmisor, la metionina es donador de grupos metilo en la metilación del ADN y la tirosina es un precursor de dopamina; además, los aminoácidos también contribuyen al suministro de energía si estos se oxidan (Fuchs et al. 2019). De los aminoácidos conocidos nueve son considerados esenciales, ya que no son sintetizados por el cuerpo humano y se requieren para la síntesis de proteínas, estos son: histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, tirosina, triptófano y valina; por lo que son forzosamente tomados de los alimentos de la dieta. Hay dos aminoácidos que son considerados semiesenciales, ya que no son sintetizados por el humano en ciertas etapas de la vida, estos son: histidina y arginina (Hoffer 2017)

Diversos estudios se han dedicado a comprobar la importancia del consumo de estos aminoácidos demostrando que el músculo senescente es menos sensible a las propiedades anabólicas de los aminoácidos. Un estudio realizado por Markofski et al. (2019) en adultos mayores de entre 65 y 82 años muestra que la fuerza muscular y la función física incrementa al adicionar suplementos diarios de aminoácidos esenciales combinado con ejercicio aeróbico a pesar no existir aumento de masa muscular. Por otro lado, Fuchs et al. (2019) observaron que la ingesta de aminoácidos de cadena ramificada (leucina, isoleucina y valina) y aminoácidos cetogénicos de cadena ramificada en adultos mayores ( $71 \pm 1$  años) aumenta la síntesis de proteínas miofibrilares, lo que hace que las personas tuvieran una mejor movilidad.

## 3. PROTEÍNAS ALERGÉNICAS

Hasta el momento hemos revisado algunos de los beneficios de las proteínas. Sin embargo, estas también pueden ser perjudiciales para un sector de la población, ya que algunos de los alimentos que contienen proteínas pueden ser potencialmente alergénicos. Se define como alergia alimentaria a la reacción adversa a las proteínas de los alimentos mediada por el sistema inmune (Nowak-Węgrzyn 2006). Los principales alérgenos de clase I se han identificado en su mayoría como glicoproteínas de 10 a 70 kDa, estables al calor, ácidos y proteasas, dentro de los más destacados son la caseína y  $\beta$ -lactoglobulina en la leche, ovoalbúmina de huevo, paralbúmina de pescado, vicilina y conglutina de cacahuate, además de proteínas inespecíficas de transferencia de lípidos presentes en vegetales.

Casi cualquier alimento puede causar una reacción alérgica, pero más del 90% de las alergias en bebés son ocasionadas por la leche de vaca, huevo, cacahuate, soya, trigo, nueces, pescados y mariscos; mientras que en adultos es más común mostrar reacción alérgica con mariscos, huevo, cacahuate, nueces y pescado (Nowak-Węgrzyn 2006). Los síntomas más comunes por reacciones alérgicas son: vómitos, diarrea, pérdida de sangre, urticaria aguda, angioedema, dermatitis atópica y anafilaxia, esta última es la reacción alérgica más grave y a menudo mortal, que implica el colapso total cardiovascular y respiratorio (Flaherty 2012). Lo recomendable es evitar el contacto con el alérgeno ya sea por ingesta, contacto con la piel, mucosa o inhalación. Por ello, varios estudios han investigado la probabilidad de que una proteína actué como alergénico, demostrando que el procesamiento de los alimentos puede alterar la alergenicidad de las proteínas dadas las modificaciones fisicoquímicas en ellas (Cabanillas y Novak 2019). Para alimentos sometidos a tratamientos térmicos, se ha reportado que la alergenicidad disminuye, aunque no completamente. Algunas proteínas poseen esta indeseable propiedad alergénica aún después de tratamientos térmicos, como el blanqueo, el asado, el hervido, la pasteurización o la ultrapasteurización debido a varias causas, ya sea que los epítopes (causantes de las reacciones alérgicas) se expongan, a que la desnaturalización de la proteína no es completa, o a que se formen complejos con carbohidratos y esto haga que la digestión no alcance a hidrolizar completamente la proteína y se expongan los epítopes, causando alergenicidad (Verhoeckx et al. 2015). Más de 170 alimentos en todo el mundo son causa de reacciones alérgicas (Boyce et al. 2011), por esta razón es necesario que se declare en las etiquetas los posibles alérgenos encontrados en los alimentos procesados. Un inadecuado etiquetado de productos que revele la presencia de potenciales alérgenos ha sido causa de que cerca de 68 productos hayan sido sacados del mercado, en su mayoría derivados de la leche, huevo, trigo, cacahuate y algunos mariscos, esto de acuerdo al listado que proporciona la FDA (Food and Drug Administration, Agencia del gobierno de los Estados Unidos responsable de la regulación de alimentos, medicamentos, cosméticos, aparatos médicos, productos biológicos y derivados sanguíneos).

## 4. CONCLUSIÓN

Las proteínas juegan un papel de primordial importancia en nuestra dieta, ya que son las responsables de llevar a cabo todas las reacciones y funciones necesarias en nuestras células, y en conjunto como un todo que es el cuerpo. Es por esto que se debe consumir la cantidad necesaria de ellas diariamente y tomar en cuenta que deben ser proteínas de calidad, es decir, que contengan un buen balance de aminoácidos esenciales y que sean de fácil digestión.



También, debemos cuidar no ingerir una gran cantidad de estas macromoléculas, ya que el exceso es causa de diferentes padecimientos. Por otro lado, debemos tener cuidado con algunas proteínas contenidas en algunos alimentos, sobre todo las personas sensibles, ya que una importante variedad de alimentos puede ser causa de alergias alimentarias. Si bien, ya se puede predecir hasta cierto punto la alergenicidad de una proteína, esto depende del organismo consumidor, porque ésta no actúa por igual en todos los organismos.

## REFERENCIAS

Antonio J, Peacock CA, Ellerbroek A, Fromhoff B, Silver T (2014) The effects of consuming a high protein diet (4.4 g/kg/d) on body composition in resistance-trained individuals. *J. Int. Soc. Sports Nutr.*: 11-19.

Atherton PJ, Smith K, Etheridge T, Rankin D, Rennie MJ (2010) Distinct anabolic signalling responses to amino acids in C2C12 skeletal muscle cells. *Amino Acids* 38: 1533-1539. [10.1007/s00726-009-0377-x](https://doi.org/10.1007/s00726-009-0377-x)

Bilsborough S, Mann N (2006) A review of issues of dietary protein intake in humans. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 16: 129-152.

Boyce J, Assa'ad A, Burks W, Jones S, Sampson H, Wood R, et al. (2011). Guidelines for the Diagnosis and Management of Food Allergy in the United States: Summary of the NIAID-Sponsored Expert Panel Report. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 64:175-192.

Cabanillas B, Novak N (2019) Effects of daily food processing on allergenicity *Food Science and Nutrition*: 31-42.

Embleton N, van den Akker C (2019) Protein intakes to optimize outcomes for preterm infants. *Seminars in Perinatology*, 43. <https://doi.org/10.1053/j.semperi.2019.06.002>

FAO/WHO/UNU (2007) Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition. Technical Report Series 935. WHO Press, Geneva, Switzerland: 1-265.

FAO/WHO/UNU (2000) Energy and protein requirements. [www.fao.org/3/AA040E/AA040E00.htm#TOC](http://www.fao.org/3/AA040E/AA040E00.htm#TOC)

Flaherty DK (2012) Immediate Allergic Reactions. En: DK Flaherty, *Immunology for Pharmacy*. 118-126 pp.

Fuchs CJ, Hermans WJH, Holwerda AM, Smeets JSJ, Senden JM, van Kranenburg J, Gijzen AP, Wodzig WKHW, Schierbeek H, Verdijk LB, van Loon LJC (2019) Branched-chain amino acid and branched-chain ketoacid ingestion increases muscle protein synthesis rates in vivo in older adults: a double-blind, randomized trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 110: 862-872. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqz120>

Hoffer LJ (2017) Parenteral Nutrition: Amino Acids. *Nutrients* 9(3): 257. <https://doi.org/10.3390/nu9030257>

Markofski MM, Jennings K, Timmerman KL, Dickinson JM, Fry CS, Borack MS,

Reidy PT, Deer RR, Randolph A, Rasmussen BB, Volpi E (2019) Effect of aerobic exercise training and essential amino acid supplementation for 24 weeks on physical function, body composition, and muscle metabolism in healthy, independent older adults: A randomized clinical trial. *The Journals of Gerontology: Series A*. 74:1598-1604. <https://doi.org/10.1093/geronol/gly109>

Nowak-Wegrzyn A (2006). Food allergy to proteins. Editor(s): Cooke RJ, Vandenplas Y, Wahn U. Nestle Nutrition workshop series. *Paediatric programme* 59:17-36, discussion 31-6. <https://doi.org/10.1159/000098510>

Phillips SM (2017). Current concepts and unresolved questions in dietary protein requirements and supplements in adults. *Frontiers in nutrition*, 4(13). [10.3389/fnut.2017.00013](https://doi.org/10.3389/fnut.2017.00013)

Santesso N, Akl EA, Bianchi M, Mente A, Mustafa R, Heels-Ansdell D, Schünemann HJ (2012) Effects of higher- versus lower-protein diets on health outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 66: 780-788. [10.1038/ejcn.2012.37](https://doi.org/10.1038/ejcn.2012.37)

Tomé D (2018). Protein: what's on in research on clinical nutrition. *European Journal of Clinical Nutrition* (72): 1215-1220. <https://doi.org/10.1038/s41430-018-0240-9>

Verhoeckx KCM, Vissers YM, Baumert JL, Faludi R, Feys M, Flanagan S, Herouet-Guicheney C, Holzhauser T, Shimojo R, van der Bolt N, Wichers H, Kimber I (2015) Food processing and allergenicity. *Food Chem Toxicol.* 80: 223-240.

de Sousa MV, da Silva Soares, DB, Caraça ER, Cardoso R (2019) Highlight article: Dietary protein and exercise for preservation of lean mass and perspectives on type 2 diabetes prevention. *Experimental Biology and Medicine*. 244: 992-1004. <https://doi.org/10.1177/1535370219861910>

Witard OC, Jackman SR, Kies AK, Jeukendrup AE, Tipton KD (2011) Effect of increased dietary protein on tolerance to intensified training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 43: 598-607.

Witard O, Garthe I, Philips S (2019) Dietary protein for training adaptation and body composition manipulation in track and field athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 29: 165-174. <https://doi.org/10.1123/ijsem.2018-0267>

Wu G (2016) Dietary protein intake and human health. *Food & Function*. 7: 1251. [10.1039/c5fo01530h](https://doi.org/10.1039/c5fo01530h)





# EVALUACIÓN CITOTÓXICA DE HIERRO CONTENIDO EN NANOPARTÍCULAS

Janeth A. Valadez Rodríguez<sup>1</sup>, Flor Y. Flores Hernández<sup>1</sup>, Eristeo García Márquez<sup>2</sup>, Sara E. Herrera Rodríguez<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C., Avenida Normalistas 800, Colinas de la Normal, CP 44270, Guadalajara, Jalisco, México.

<sup>2</sup>Autopista Mty-Aeropuerto, Vía de la Innovación 404, Parque PIIT, 66628 Cd Apodaca, N.L. sherrera@ciatej.mx

## RESUMEN.

El hierro es fundamental en el transporte de oxígeno a través de la hemoglobina. La deficiencia ocasiona anemia ferropénica. La deficiencia de hierro afecta a 30% de personas en el mundo. A pesar de diversas campañas implementadas en México, los progresos han sido insuficientes. Además de factores como la oxidación, efectos indeseables de color y sabor, la presencia de algunos componentes de la dieta reducen la capacidad de absorción de hierro (fitatos, polifenoles,  $\text{Ca}^{+2}$ ). Una forma de aumentar la biodisponibilidad del hierro es empleando hierro encapsulado en nanopartículas. En el presente trabajo se evaluó la viabilidad sobre células Caco-2 por efecto de la concentración de hierro contenido en nanopartículas. Se observó que las Fe-nanopartículas no generaron citotoxicidad en comparación con la sal de sulfato ferroso.

Palabras clave: hierro, anemia ferropénica, sulfato ferroso, nanopartículas.

## ABSTRACT.

Iron is fundamental in the transport of oxygen through hemoglobin. Iron deficiency causes anemia, a condition that affects around 30% of people on the wide world. Despite all the strategies implemented to avoid anemia, progress has been insufficient. In addition to factors such as oxidation, undesirable effects of color and taste, some dietary factors compounds reduce the iron absorption capacity such as phytates, polyphenols,  $\text{Ca}^{+2}$ . One way to increase bioavailability is using iron contained in nanoparticles. In this work, the viability of Caco-2 cells was evaluated under the effect of the concentration of iron contained in nanoparticles. It was observed that the Fe-nanoparticles did not generate cytotoxicity compared to ferrous sulfate salt.

Key words: iron, ferropenic anemia, ferrous sulfate, nanoparticles.

## I. INTRODUCCIÓN

El hierro es fundamental en diversas actividades biológicas, por ejemplo, síntesis de ADN, cofactor de diversas enzimas (catalasas y peroxidases), respuesta inmune, transporte de oxígeno a través de la hemoglobina, entre otras (Madrazo et al., 2010). La deficiencia de hierro es considerada por la Organización Mundial de la Salud, como el principal desorden nutricional a nivel mundial, afecta a 30% de la población mundial (De Benoist et al., 2008; Organización Mundial de la Salud, 2018). Pero, la administración de hierro es difícil, porque los compuestos solubles como el sulfato ferroso se absorben, sin embargo, causan cambios inaceptables de color y sabor en los alimentos. Mientras que,

los compuestos insolubles, causan pocos cambios sensoriales en alimentos, pero no se absorben (Hosny et al., 2015). Por otra parte, se han desarrollado diversas campañas de prevención y tratamiento de la anemia ferropénica, basadas principalmente en la suplementación con sales ferrosas o férricas. El sulfato ferroso debido a accesibilidad económica ha sido el más usado (Hurrell, 2002). Sin embargo, los progresos han sido insuficientes, diversos factores influyen e inhiben la absorción de hierro, como los componentes ubicuos en vegetales como el té y café (polifenoles, fitatos) y exceso de minerales como el calcio (Hallberg L., 1987; Zijp et al., 2000), aunado a efectos secundarios como irritación intestinal, diarrea, náusea, estreñimiento, fiebre, entre otros malestares (Hurrell, 2002; Martínez-Salgado et al., 2008; Hosny et al., 2015; Zariwala et al., 2013). Diversos reportes han mencionado que la síntesis de nanopartículas cargadas con hierro puede resolver las desventajas mencionadas. Las nanopartículas potencian la absorción de sustancias lipofílicas e hidrofílicas. Mejoran la solubilidad, mayor entrega de micronutrientes y principios activos, transporte y absorción debido a incremento de área superficial de contacto (Hosny et al., 2015; Zariwala et al., 2013; Shukla et al., 2017), reducen la oxidación, evitan el paso por el hígado, potencia la distribución y biodisponibilidad, evita la disociación y mejora la actividad biológica. Sin embargo, no se conoce el efecto citotóxico de nanopartículas que contienen hierro. No existen suficientes datos sobre su efecto en viabilidad celular y que proporcionen un panorama significativo del efecto de nanopartículas con hierro.

El presente estudio muestra el análisis de viabilidad celular en función de la concentración de hierro útil en nanopartículas usando células Caco-2 como modelo de células epiteliales humanas, en comparación con el sulfato ferroso.

## 2. Materiales y Métodos

La viabilidad celular fue evaluada usando la línea celular Caco-2 (ATCC HTB-37, ATCC) en medio esencial Eagle (EMEM; Sigma México, S.A.) suplementado con 10% de suero fetal bovino y 1% de antibióticos (penicilina, estreptomycin y anfotericina), cultivándose 10,000 células por pozo. Se evaluó la nanopartícula de hierro ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) contenida en la nano partícula de quitosano-proteína de suero-hierro (NpB), a concentraciones 2, 4, 6, 8 y 10  $\mu\text{M}$  (con base al peso molecular del  $\text{FeSO}_4$ ). Las células fueron incubadas con las nano partículas a 37 °C y 5% de  $\text{CO}_2$  del 5% durante 24 y 48 horas. El control de referencia fue  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  solo a las mismas concentraciones que NpB. Se evaluó viabilidad celular cuantificando la actividad metabólica celular mediante la reducción de Bromuro de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-ilo)-2,5-difeniltetrazol (MTT) y cuantificando por colorimetría a 570 nm.



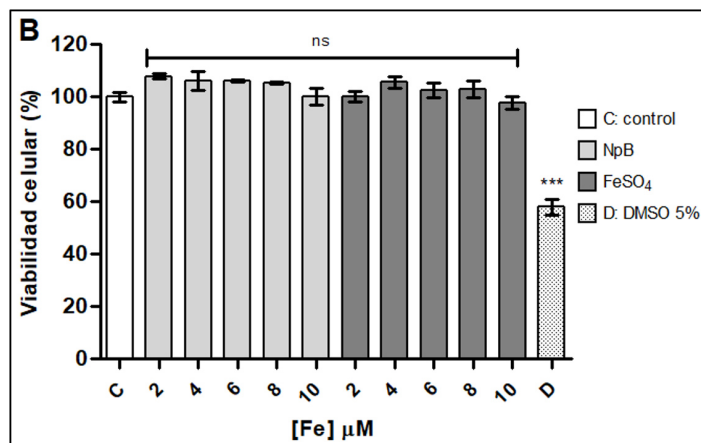
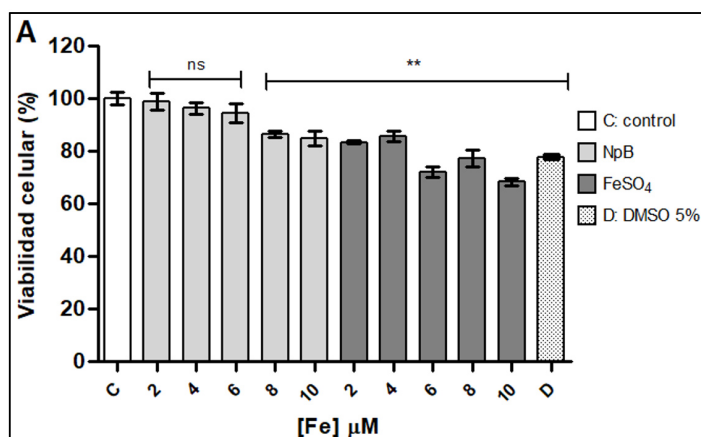
Se emplearon controles de citotoxicidad negativo y positivo, células sin tratamiento y células tratadas con DMSO 5% (dimetil sulfoxido), respectivamente. Cada tratamiento se realizó por triplicado. Para determinar diferencias estadísticamente significativas, se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de una vía y pruebas de comparación de medias por Dunnet y Tuckey ( $\alpha=0.05$ ) usando el software GraphPad Prism 5.

### 3. Resultados y Discusión

Se observó que NpB presentó disminución de viabilidad celular estadísticamente significativa, con respecto al control negativo de citotoxicidad, a partir de 8  $\mu\text{M}$ . La viabilidad disminuyó 14%. Mientras que,  $\text{FeSO}_4$  disminuyó la viabilidad celular a partir de 2  $\mu\text{M}$ , con una disminución de viabilidad celular de 17%, a las 24 horas de cultivo (gráfica A). A mayor tiempo (48 h) de exposición no se observó diferencia significativa de viabilidad celular (gráfica B). El efecto citotóxico a las 24 horas y su recuperación a las 48 horas probablemente fue debido a disponibilidad de hierro de ambos compuestos. Los resultados concuerdan con Natoli y colaboradores (2009), ellos observaron fase aguda de exposición (2 horas) y tardía (24 horas) con  $\text{Fe(II)}$  a 15  $\mu\text{M}$ . Concluyen que, el efecto tóxico en células Caco-2, ocurre adaptación en función del tiempo. Mientras que, concentraciones de 50  $\mu\text{M}$ , el efecto tóxico aumenta conforme al tiempo de exposición. Los resultados del compuesto evaluado NpB indican que el efecto de las nanopartículas sobre las células es menos letal. Se observó mayor diferencia usando concentración de 6  $\mu\text{M}$  (22% mayor viabilidad celular con NpB respecto a  $\text{FeSO}_4$ ). Posiblemente porque la ionización de hierro es controlada en comparación con  $\text{FeSO}_4$  control. Se observó mayor citotoxicidad a las 24 h con el sulfato ferroso, posiblemente indica que, el hierro debe ser suministrado en forma de complejo y no en forma iónica.

**Gráficos A y B.** Efecto de viabilidad celular y citotoxicidad de células

Caco-2 en función de concentración de hierro contenido en NpB y  $\text{FeSO}_4$  durante 24 y 48 h de exposición. La viabilidad celular decrece a 80% usando  $\text{FeSO}_4$ , cuando la concentración de hierro es mayor a 6  $\mu\text{M}$ , Mientras que NpB no reduce la viabilidad celular a más de 85% en todas las concentraciones de hierro estudiadas.



El empleo de nanopartículas que contienen hierro tiene un efecto protector en la mucosa del intestino de ratas expuestas a agentes tóxicos (Wardani et al., 2018). El empleo de nanopartículas del conjugado quitosano-proteína-hierro posiblemente pueda ayudar a resolver la deficiencia de hierro y controlar la anemia. Nosotros mostramos que se requieren dosis mínimas para mantener la viabilidad celular y reducir efectos tóxicos. Presentamos una visión significativa del efecto de nanopartículas con hierro y posible exceso de dosis de hierro, que parece que no es necesario.

### 4. CONCLUSIONES

El efecto de las NpB sobre la viabilidad celular de Caco-2 no es citotóxica de acuerdo al estándar internacional 10993-5, los resultados puede ser una visión general que proporcione el inicio de mayores estudios y rediseñar las dosis de NpB. Especialmente, como alternativa que sirva para reducir los efectos secundarios del hierro durante el tratamiento para lograr la salud en personas anémicas.

### PERSPECTIVAS

La síntesis de nanopartículas de quitosano-proteína de suero- $\text{FeSO}_4$  no presentaron efecto tóxico en células Caco-2. Pensamos que debe plantearse estudios en modelos animales con anemia ferropénica y la posterior suplementación de las nanopartículas en humanos para observar el efecto anti-anémico.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al fondo de Proyectos de Desarrollo Científico para Atender Problemas Nacionales -2015-01-1470- por el financiamiento de este trabajo de investigación, así como el apoyo de la beca número 488438 de posgrado.

## REFERENCIAS

De Benoist, B., McLean, E., Egli, I., & Cogswell, M. (2008). Worldwide prevalence of anemia 1993-2005: WHO global database on anemia.

Hallberg, L. (1987). Wheat fiber, phytates and iron absorption. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 22(sup129), 73-79.

Hosny, K. M., Banjar, Z. M., Hariri, A. H., & Hassan, A. H. (2015). Solid lipid nanoparticles loaded with iron to overcome barriers for treatment of iron deficiency anemia. *Drug design, development and therapy*, 9, 313.

Hurrell, R. (2002). How to Ensure Adequate Iron Absorption from Iron-fortified Food. *Nutrition Reviews*. 60, S7-S15

Madrazo González, Z., García Barrasa, A., & Rafecas Renau, A. (2010). Anemia, hierro, transfusión y alternativas terapéuticas. Revisión desde una perspectiva quirúrgica. *Cirugía Española*, 88(6), 358-368.

Madrazo González, Z., García Barrasa, A., & Rafecas Renau, A. (2010). Anemia, hierro, transfusión y alternativas terapéuticas. Revisión desde una perspectiva quirúrgica. *Cirugía Española*, 88(6), 358-368.

Martínez-Salgado, H., Casanueva, E., Rivera-Dommarco, J., Viteri, F. E., & Bourgues-Rodríguez, H. (2008). La deficiencia de hierro y la anemia en niños mexicanos. Acciones para prevenirlas y corregirlas. *Bol Med Hosp Infant Mex*, 65, 86-99.

Natoli, M., Felsani, A., Ferruzza, S., Sambuy, Y., Canali, R., & Scarino, M. L. (2009). Mechanisms of defence from Fe(II) toxicity in human intestinal Caco-2 cells. *Toxicology in Vitro*. 23(8), 1510-1515.

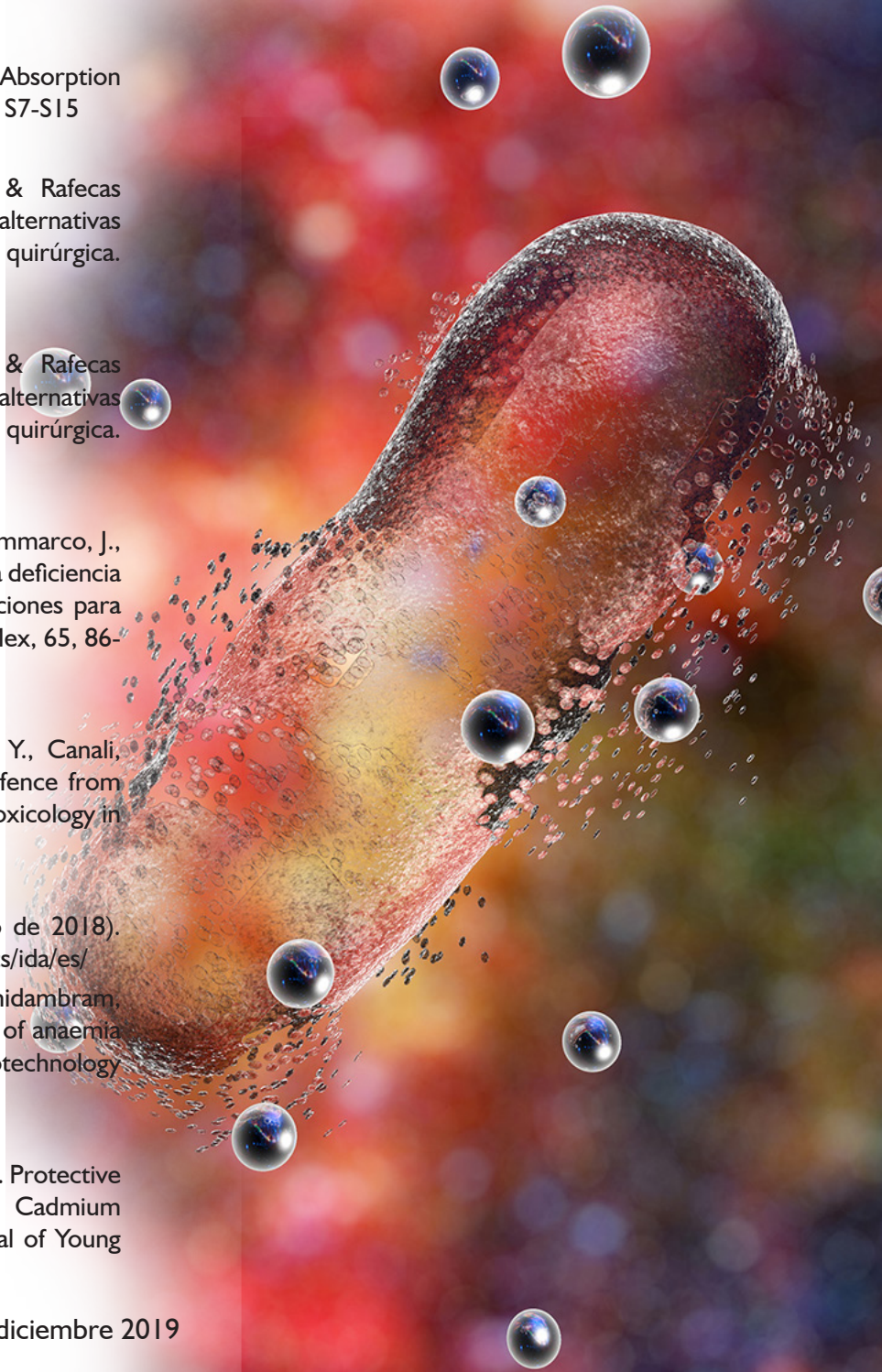
Organización Mundial de la Salud. (12 de Julio de 2018). Obtenido de <http://www.who.int/nutrition/topics/ida/es/>

Shukla, A., Dasgupta, N., Ranjan, S., Singh, S., & Chidambaram, R. (2017). Nanotechnology towards prevention of anaemia and osteoporosis: from concept to market. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 31(5), 863-879.

Wardani, G., Eraiko, K., & Sudjarwo, S. A. (2018). Protective Activity of Chitosan Nanoparticle against Cadmium Chloride Induced Gastric Toxicity in Rat. *Journal of Young Pharmacists*, 10(3), 303.

Zijp, I. M., Korver, O., & Tijburg, L. B. (2000). Effect of tea and other dietary factors on iron absorption. *Critical reviews in food science and nutrition*, 40(5), 371-398.

Zariwala, M. G., Elsaid, N., Jackson, T. L., López, F. C., Farnaud, S., Somavarapu, S., & Renshaw, D. (2013). A novel approach to oral iron delivery using ferrous sulphate loaded solid lipid nanoparticles. *International journal of pharmaceutics*, 456(2), 400-407.





# USO DE FERTILIZANTES, SUSTRATOS Y ENMENDADORES PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA, PARTE 2

Rigoberto Castro-Rivera <sup>1</sup>, Fabián Fernández-Luqueño <sup>2</sup>, Silvia Luna-Suárez <sup>2</sup>, Mariana Miranda-Arámbula <sup>1</sup>, Erick R. Bandala <sup>3</sup>, Fernando López-Valdez <sup>1\*</sup>.

<sup>1</sup> Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Agrícola. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala. 90700. México.

<sup>2</sup> Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Agrícola. Sustainability of Natural Resources and Energy Program. Cinvestav Unidad Saltillo. Saltillo, Coahuila. 25900. México.

<sup>3</sup> Division of Hydrologic Sciences. Desert Research Institute. Las Vegas, Nevada. 89119. USA.

\* Dr. Fernando López. Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Agrícola. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional. Carr. Estatal Sta. Inés Tecuexcomac – Tepetitla, km 1.5 s/n, Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, 90700. México. Tel.: +52 (55) 5729-6000 / 6300, ext. 87814. E-mail: flopez2072@yahoo.com



## RESUMEN.

Para incrementar la productividad agrícola es necesario la utilización de fuentes alternas de fertilizantes, esto se puede hacer mediante la adición de fertilizantes químicos como frecuentemente se hace. Sin embargo, esto trae diversos problemas al ambiente, como alternativa se pueden utilizar diversas fuentes, como los obtenidos por previa descomposición de la materia orgánica por acción microbiana como el compost, vermicompost o bokashi. Utilizando así fuentes naturales que se consideran residuos o desperdicios, y obteniendo productos que en la actualidad tienen cada vez más aceptación entre los productores agrícolas. Otra forma de obtener productos orgánicos es empleando microorganismos que tienen la capacidad de proporcionar nutrientes esenciales a las plantas mediante la digestión de la materia orgánica, a través de procesos de fermentación, lo que aumenta la disponibilidad de minerales en el suelo. Por otro lado, se pueden realizar cultivos sin suelo, como la hidroponía, donde con una tecnología básica se convierte en una importante alternativa de cultivo. En el presente trabajo se habla sobre la importancia de la utilización de las diferentes formas de fertilización orgánica e hidroponía para poder incrementar la productividad agrícola.

Palabras clave:

Compost · Vermicompost · Bokashi · Hidroponía.

## ABSTRACT.

In order to increase agricultural productivity, it is necessary to use alternative sources of fertilizers, this can be done by adding chemical fertilizers as frequently do. However, this brings various problems in the environment, as an alternative it can be harnessed several sources, such like the previously obtained from microbial decomposition of organic matter, in particular, compost, vermicompost or bokashi. Thus, using natural sources that are considered waste, and obtaining products that are nowadays increasingly accepted among agricultural producers. Another way to obtain organic products is the use of microorganisms that have the ability to provide essential nutrients to plants by digestion of organic matter such fermentation processes, increasing the mineral availability into the soil. On the other hand, crops can growth without soil, hydroponics, which is a basic technology and its become an important crop alternative. This paper discusses the importance of using the different forms of organic fertilization and hydroponics in order to increase agricultural productivity.

Keywords:

Compost · Vermicompost · Bokashi · Hydroponics.

## INTRODUCCIÓN

Como se mencionó en la primera parte, la agricultura ha tomado relevancia en los últimos tiempos, particularmente a lo que se refiere a fertilización de los cultivos (Fernández-Luqueño et al., 2019), por ser un pilar en la economía y autonomía de un país. La investigación en fertilización ha tomado diferentes tendencias, como se puede ver en el artículo anterior, donde se abordaron temas como: los lodos residuales, cenizas de lodos, zeolitas, nanopartículas y fertilizantes minerales. En esta segunda entrega, continuamos explorando otras técnicas como mejoradores o enmendadores del suelo, con la finalidad de incrementar la productividad y la calidad de los alimentos, asimismo, la restauración de suelos agotados o erosionados. En este artículo se abordarán algunos tópicos como son el *compost*, *vermicompost*, *bokashi*, e *hidroponía*. Sin mayor introducción, abordemos estos importantes tópicos.

### **Compost, vermicompost y bokashi.**

Para asimilar mejor esta sección es conveniente hablar de los procesos de *descomposición por microorganismos* (como bacterias) presentes en el suelo o los sustratos, como un factor muy importante en los procesos que estamos por discutir.

### **Procesos de descomposición microbiana.**

Es de conocimiento común el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos mediante procesos de descomposición microbianos que se llevan a cabo de manera aeróbica (en presencia de aire). Al emplear estas técnicas, se reducen los costos de producción por la compra de fertilizantes químicos para los cultivos, mediante el aprovechamiento y aplicación de los residuos orgánicos debidamente tratados en las superficies de cultivo. Entonces, la materia orgánica, contenida en los residuos orgánicos, es cualquier tipo de material de origen animal o vegetal que regresa al suelo después de un proceso de descomposición en el que participan activamente organismos y pasan de la forma orgánica a la mineral (minerales solubles e insolubles) por la acción de bacterias, hongos, y anélidos (como las lombrices), principalmente. Existen técnicas que ayudan a acelerar este proceso biológico.



## Compost

En el compost sucede el proceso anteriormente mencionado, donde la materia orgánica compuesta por: polímeros (cadenas) de azúcares complejos (lignina, celulosa, hemicelulosa, y almidón, presentes en los residuos vegetales), lípidos y proteínas (presentes en residuos vegetales y animales), es procesada (descompuesta) por los organismos, para formar un producto digerido que mejora las propiedades físicas (incremento en la capacidad de retención de humedad, reduce la erosión, regula la temperatura del suelo y reduce la evaporación del agua), químicas (aporta macronutrientes como N, P y K, y mejora la capacidad de intercambio catiónico), y la actividad biológica (promoviendo organismos como bacterias y hongos capaces de transformar los materiales insolubles del suelo en nutrientes para los cultivos y degradar sustancias nocivas). Mejora la aportación de carbono para mantener la biodiversidad de la micro y macrofauna (como lombrices) del suelo. En términos prácticos, el compost es un producto final obtenido mediante la descomposición biológica de la materia orgánica, es un proceso (*compostaje*) que permite la estabilización y saneamiento de residuos orgánicos a través de la descomposición microbiana aeróbica, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad; es inocuo y químicamente estable (Hernández-Cázares et al., 2016). La utilización del compost como fertilizante se recomienda en suelos con bajo contenido de materia orgánica y suelos erosionados, y la aplicación dependerá del tipo de cultivo a producir. Las transmisiones de enfermedades del suelo a la planta se presentan de manera natural o inducida por diversos factores y causan daños en los cultivos, resultando en pérdidas económicas. La aplicación de compost puede controlar y reducir este tipo de daños, por los mecanismos y el modo de acción de las comunidades microbianas presentes en las raíces, que reducen la actividad de algunos agentes patógenos.

## Vermicompost

El vermicompost es un compuesto complejo formado por las deyecciones y el fluido intestinal de la lombriz, metabolitos secundarios propios de la lombriz y los que resultan de la interacción con las bacterias, hongos u otros organismos (Pathma y Sakthivel, 2012). Desde hace más de dos décadas, se ha incrementado la cantidad de estudios que demuestran que la adición de vermicompost, incrementa la materia orgánica del suelo y mejora algunas características físicas y biológicas que favorecen el flujo de aire y agua, la actividad microbiana para la mineralización de nutrientes, y el desarrollo radicular de las plantas, además de incorporar nutrientes de fácil absorción para las plantas. Es importante mencionar que los efectos antes mencionados dependen de factores como la naturaleza bioquímica del vermicompost, el grado de humificación del mismo, las características del

suelo, la cantidad y frecuencia de aplicación, el clima y las prácticas agrícolas (Malinska et al., 2016). Estudios realizados en invernadero y campo confirman que el vermicompost contiene nutrientes, hormonas de crecimiento, ácidos húmicos, y poblaciones microbianas benéficas que actúan favoreciendo la producción de biomasa, el número de flores y frutos. Por ejemplo, Campos y Flores (2013), al evaluar albahaca en sustratos con el 25, 50 y 100% de vermicompost, reportaron mayor área foliar (36 cm<sup>2</sup>) en el sustrato con el 50%, número de hojas (24 por planta), peso seco de hoja (97 mg) y extracción de nitrógeno (2 mg por hoja), y concluyeron que este sustrato fue el mejor porque tiene propiedades físicas apropiadas para la circulación de aire y agua. Aguilar-Benítez et al. (2018) reportaron que el porcentaje de germinación de semillas de chile Mirasol (*Capsicum annum* L.) infectadas por hongos, se incrementó al adicionar del 1 al 4% de vermicompost, logrando con ello plántulas sanas para el trasplante del cultivo.

## Bokashi

El término '*bokashi*' es una palabra japonesa que significa literalmente "*materia orgánica fermentada*". Es el resultado de la fermentación aeróbica, en la cual se agrega melaza y levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) para llevar a cabo dicho proceso. Este tipo de abono se obtiene de 15 a 20 días. Dependiendo de los residuos que se utilicen, de las condiciones de estos procesos, darán como resultado diferentes propiedades de los productos obtenidos y el tiempo de obtención del abono. Éste no sólo aporta nutrimentos y materia orgánica al suelo o sustrato donde se aplican, sino que también aportan hormonas y promotores de crecimiento vegetal que influyen en un mejor desarrollo y producción de los cultivos en los que se aplican (Arancon et al., 2004). Bautista-Cruz et al. (2015), quienes al evaluar la adición de bokashi en el cultivo de maíz, tanto solo y como asociado con fertilizantes químicos de lenta liberación, concluyeron que este tipo de estrategias permiten un mayor rendimiento de grano, ya que hay una mayor disponibilidad del fósforo, lo que permite una mejor estrategia de fertilización, sin embargo, los efectos benéficos dependerán del tipo de suelo donde se aplique.





## Hidroponía

La hidroponía es un método muy atractivo para cultivar plantas empleando diluciones minerales sin la necesidad de usar suelo. Por lo que se requiere un *sustrato* o *sopORTE* como *perlita*, *lana de roca*, *cáscara de coco*, *musgo de turba* o *vermiculita*, entre otros, y su función principal es para 'anclar' las raíces de las plantas. La hidroponía se puede emplear en agricultura de traspatio e intensiva, pero requiere de sólidos conocimientos relacionados con la nutrición de cultivos, química agrícola, manejo de plagas y enfermedades y la fisiología de cada cultivo. Algunas variantes de la hidroponía son la **acuaponía** y la *agricultura interior*, en las cuales es posible obtener altos rendimientos. La hidroponía emplea una importante cantidad de sales (fertilizantes químicos) como nutrientes y ácidos o hidróxidos para modificar el pH de la solución a fin de asegurar que los 17 elementos esenciales estén biodisponibles para las plantas, es decir, que los elementos no solo estén presentes, sino que, además, estén en forma asimilable por los cultivos. Las plantas producidas en sistemas hidropónicos técnicamente bien manejados maduran 25% más rápido y producen 30% más que aquellas que se cultivan en suelo, esto obedece a que cuando se cultivan en hidroponía, las plantas no gastan energía en explorar el suelo para competir y obtener sus nutrientes. Además, que técnicamente se puede cultivar todo el año cuidando las condiciones interiores al invernadero. La hidroponía como sistema el cultivo está bien dominado para hortalizas y vegetales, principalmente; sin embargo, la creatividad es la limitante.

## CONCLUSIONES

Estas técnicas se han aplicado con éxito, son alternativas de fertilización, que sus ventajas resultan evidentes: son económicas, fáciles de elaborar y de aplicar con mínimos conocimientos, con cuantificables resultados, amigables con el ambiente, sustentables y sostenibles, pueden ser aplicadas como negocio, amplia cobertura de aplicación mínimos cambios de acuerdo a las condiciones climáticas, y con capacidad de recuperar los suelos agotados, sobre explotados o erosionados. La hidroponía se ha colocado como excelente alternativa de cultivo de diversas plantas de interés, como plantas medicinales, hortalizas, vegetales, tubérculos, principalmente. Esta técnica se puede desarrollar casi bajo cualquier condición, con sus respectivas adaptaciones, alcanzando altos rendimientos por m<sup>2</sup> en espacios reducidos. El éxito abarca la posibilidad de utilizarla en el espacio como principal técnica de cultivo.

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Politécnico Nacional por su apoyo y financiamiento, al CINVSTAV Saltillo, y al CONACYT por su apoyo para la realización del proyecto COAH-2019-C13-C006, y las líneas de investigación que aquí se

presentan.

## REFERENCIAS

- López-Valdez, F., & Fernández-Luqueño, F. (Eds.). 2014. *Fertilizers: Components, Uses in Agriculture and Environmental Impacts*. (First). Nova Science Publishers. ISBN: 978-1-63321-051-6. Pp 323.
- Aguilar-Benítez G., Castro-Rivera R., García-Barrera L.J., Ortiz-Gamino D., Lara-Avila P., Granados-Álvarez J.D. 2018. Composición bacteriana en suelo con vermicompost y su relación en la incidencia de damping-off en plátulas de chile. *Frontera Biotecnológica*. (10): 14-19.
- Arancon N.Q., Edwards C.A., Atiyeh R., Metzger J.D. 2004. Effects of vermicompost produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource Technology* (93): 139-144.
- Bautista-Cruz A., Cruz D.G, Rodríguez-Mendoza M.N. 2015. Efecto de bocashi y fertilizantes de liberación en algunas propiedades de suelo con maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(1): 217-222.
- Campos M.L, Flores S.D. 2013. Sustratos orgánicos como alternativa para la producción de albahaca (*Ocimum selloi Benth*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. (5): 1055-1061.
- Fernández-Luqueño, F., Miranda-Arámbula, M., Castro-Rivera, R., Luna-Suárez, S., Bandala, E. R., López-Valdez, F. 2019. Uso de Fertilizantes, Sustratos y Enmendadores para incrementar la productividad agrícola, parte I. *Frontera Biotecnológica*. (12): 4-9.
- Hernández-Cázares A.S., Real-Luna N., Delgado-Blancas M.I., Bautista-Hernández L., Velasco-Velasco J. 2016. Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. *Revista Agroproductividad*. Año 9, vol. 9(8): 10-17.
- Malińska K., Zabochnicka-Świątek M., Cáceres R., Marfà O. 2016. The effect of precomposted sewage sludge mixture amended with biochar on the growth and reproduction of *Eisenia fetida* during laboratory vermicomposting. *Ecological Engineering* (90): 35-41.
- Pathma J., Sakthivel N. 2012. Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. *Springer Plus*, 1, 26.



# INVESTIGACIÓN +

## POSGRADOS

- Maestría en Biotecnología Aplicada
- Maestría en Biotecnología Productiva
- Doctorado en Biotecnología Aplicada
- Doctorado en Biotecnología Productiva



**Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada**  
Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal  
Tecuexcomac - Tepetitla K. 1.5, Tlaxcala, C.P. 90700, México