



ISSN: 2448-8461

FRONTERA BIOTECNOLÓGICA



Revista Digital del IPN, CIBA Tlaxcala - No. 15 enero - abril 2020



Cúrcuma, la raíz de oro: aplicaciones y beneficios a la salud

Cultivo por lote alimentado de *saccharomyces cerevisiae* para obtener un cultivo a alta densidad celular

Selección de un medio de cultivo para la producción de biosurfactantes y la influencia de la aireación sobre el crecimiento celular y la tensión superficial en cultivo en biorreactor

Comportamiento exponencial del nuevo coronavirus COVID-19 en México, función del distanciamiento social para disminuir su propagación

Maestría en Biotecnología Productiva un posgrado cercano a la industria en México

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 8, número 15, enero - abril 2020, 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, 28 de abril de 2020.

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
Cúrcuma, la raíz de oro: aplicaciones y beneficios a la salud	4
Cultivo por lote alimentado de <i>saccharomyces cerevisiae</i> para obtener un cultivo a alta densidad celular	9
Selección de un medio de cultivo para la producción de biosurfactantes y la influencia de la aireación sobre el crecimiento celular y la tensión superficial en cultivo en biorreactor	13
Comportamiento exponencial del nuevo coronavirus COVID-19 en México, función del distanciamiento social para disminuir su propagación	18
Maestría en Biotecnología Productiva un posgrado cercano a la industria en México	24

MENSAJE EDITORIAL

Abril del 2020

Estimados lectores, en este número que se publica en una época que quedará en nuestra memoria colectiva como aquella en la que el ser humano enfrenta uno de los retos más importantes de su vida moderna... la Pandemia por el nuevo coronavirus COVID-19 o SARS-CoV-2. Sin embargo, trabajemos con responsabilidad y entusiasmo ante dicho reto. En este número los invitamos a que conozcan a la cúrcuma, sus propiedades y beneficios a la salud en su incorporación a los alimentos. Por otro lado, sabremos como lograr por medio de una estrategia robusta un cultivo a alta densidad celular de levadura, a nivel piloto, mediante la técnica del cultivo por lote alimentado, un reto tecnológico que pocos llegar a realizar en bioprocesos. Conoceremos algunas nociones de producción de unas moléculas muy interesantes conocidas como biosurfactantes, las cuales tienen aplicaciones en diferentes industrias, donde se expondrán las limitantes de producción en comparación de los surfactantes obtenidos por síntesis química. Se presenta un artículo donde se explica el cómo las medidas de prevención y distanciamiento social implantadas por la autoridad sanitaria de México sirvieron para disminuir la velocidad de infección y por lo tanto disminuir el número de casos del nuevo coronavirus que se tenían hasta la publicación de este número. Y por último conoceremos la historia y el potencial del Programa de Maestría en Biotecnología Productiva que inició desde el 2012 en el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional, el cual tiene una estrecha relación con la Industria.

“La Técnica al Servicio de la Patria”

Dr. Victor Eric López y López

Editor en Jefe

CÚRCUMA, LA RAÍZ DE ORO: APLICACIONES Y BENEFICIOS A LA SALUD

Aztatzi-Ruggerio L.¹, Granados-Balbuena S.Y.¹,
Juárez-Flores M.A.², Ocaranza-Sánchez E.^{1*}

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

² Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala, San Diego Xocoyucan, 90122, México.

^{1*} E mail: erikocaranza@hotmail.com

RESUMEN

La cúrcuma es una raíz nativa de India, cuyo color dorado característico es proporcionado por la presencia de curcumina (ácido turmérico), a dicho componente se le han atribuido propiedades que aportan beneficios a la salud. Por tal razón, lo hace un potencial candidato para sustituir a los colorantes artificiales de tonalidades amarillo-anaranjado, principalmente a la tartrazina. Sin embargo, su incorporación en matrices alimenticias es complicada por ser un compuesto lipofílico. Por lo tanto, existen diferentes estrategias para su incorporación en alimentos como por ejemplo a través de emulsiones, micelas o microgeles. En la presente revisión se describen aspectos generales de esta peculiar raíz, los beneficios de la curcumina a la salud, su incorporación y aplicación en alimentos.

Palabras clave: Cúrcuma, curcumina, antioxidante.

ABSTRACT

Turmeric is a native root from India, which characteristic golden color is provided by the presence of curcumin (turmeric acid). Some properties with benefits to human health has been attributed to this component. For this reason, it makes curcumin a potential candidate in order to substitute yellow-orange artificial tone colors, given mainly by tartrazine. However, its incorporation into food matrixes is complicated because of its lipophilical composition. Therefore, there are different strategies for their incorporation into food, such as: emulsions, micelles or microgels. This review describes general aspects of this peculiar root; health benefits of curcumin, as well as its incorporation and application in food products.

Keywords: Turmeric, curcumin, antioxidant

I. INTRODUCCIÓN

La *Curcuma longa linn* pertenece a la familia Zingiberaceae (tabla 1), su nombre deriva del arábico antiguo Kurkum, más conocida como el azafrán asiático por su peculiar tonalidad semejante al oro (Food-info, 2017).

Tabla 1. Clasificación taxonómica de *Curcuma longa linn*

Clasificación Taxonómica	
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Zingiberales
Familia	Zingiberaceae
Género	Cúrcuma
Especie	<i>C.longa</i>

Es una planta herbácea perenne que alcanza hasta 1 metro de altura, despliega hojas largas color verde uniforme con anchos de 38 a 45 cm que se estrechan en la punta. Presenta flores de color blanco amarillento, las raíces o tubérculos son oblongo-palmeados de exterior áspero arrugado, mientras que por dentro estos son lisos y de un color anaranjado profundo. Los tubérculos son la fuente del compuesto conocido como curcumina ver figura 1 (Tung et al. 2019). Esta planta crece en zonas cálido-húmedas con alta pluviosidad, se cultiva en India, China y el sudeste asiático, siendo India el productor principal. En México se cultiva en Veracruz y Puebla, aunque su producción no abastece el mercado nacional, (Prasad y Simental 2019).



Figura 1. Planta de cúrcuma.

A lo largo de la historia, la cúrcuma ha sido utilizada principalmente como colorante, condimento y conservante para alimentos, además se ha aplicado en el ámbito medicinal y cosmético. Antiguamente, fue empleado como colorante amarillo para teñir el bindi, el cual es el elemento decorativo de la frente utilizado en Asia meridional y el sudeste asiático para representar el símbolo de prosperidad. Sin embargo, su uso más extendido fue como colorante textil, puesto que se empleó para teñir algodón, lana, seda, cuero, papel, lacas, barniz y ceras. En la industria alimentaria es conocida como el aditivo E-100. Su oleoresina rica en curcumina, se utiliza como aditivo saborizante y colorante de color anaranjado, el cual aromatiza y da color a mantequillas, quesos, conservas, mostaza, palomitas de maíz, cereales, sopas, caldos, productos cárnicos y lácteos (Benavides et al. 2010). La FDA (Administración de Drogas y Alimentos por sus siglas en inglés) ha declarado a la curcumina como “un producto considerado seguro” (Generally Regarded as Safe GRAS) y aceptado como colorante alimenticio y saborizante (Grynkiewicz y Ślifirski 2012).

La curcumina (1,7-bis (4-hidroxi-3-metoxifenil) -1,6-heptadieno-3,5-diona) también conocida como ácido turmérico es el componente responsable de la tonalidad amarillo-anaranjado de la cúrcuma (Slika y Patra 2020). Es un polifenol constituido por dos anillos aromáticos unidos por una cadena de siete carbonos. Tiene varios grupos funcionalmente activos: dos grupos fenólicos o-metoxi, dos restos enone y un resto ceto-enol, (Lestari y Indrayanto 2014). Ver figura 2 los cuales dan la capacidad de ser un antioxidante natural. El mercado global de la curcumina se estimó en alrededor de medio billón de dólares en 2016 y se proyecta que registre una tasa de crecimiento anual de 13% durante el periodo 2018-2025 (Kotha y Luthria 2019)

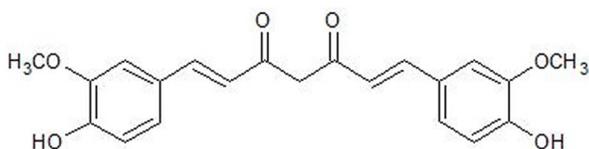


Figura 2. Estructura química de la curcumina, adaptado de (Kotha y Luthria 2019).

II. BENEFICIOS A LA SALUD

En los últimos años, se han puesto los reflectores sobre esta peculiar raíz, debido a que posee propiedades que pueden beneficiar a la salud, ya que es considerado antioxidante natural con capacidades antiinflamatorias. Por lo que, puede funcionar como agente preventivo en las enfermedades cardiovasculares, visuales, Alzheimer y cáncer, (Wiggers et al. 2017). Existen diferentes hipótesis que tratan de explicar la razón de los beneficios del consumo de la cúrcuma como proveedor de curcumina (ácido turmérico), por un lado, se considera que la actividad antioxidante se debe a una particularidad de su propia estructura; ya que como es un compuesto β -dicetona este puede encontrarse en su forma *cis* o *trans*. y cuando entra en solución adopta la forma cis-enol, cuya parte de la molécula dicetona enolizada se le atribuye la eliminación de especies reactivas de oxígeno. Por otro lado, se ha considerado que la actividad antioxidante puede deberse también a los fenoles o metoxilos presentes en la estructura, (Wright 2002).

En cuanto a su aporte para prevenir ciertas enfermedades, a continuación, se describen algunas generalidades de las aportaciones del ácido turmérico a la salud. Por ejemplo, en el monitoreo contra la

enfermedad de Alzheimer, recurrentemente emplean péptidos (A β), ya que la agregación de estos compuestos están asociados con dicha enfermedad. En varios estudios se ha visto la disminución de (A β) e incluso la inhibición de especies reactivas de oxígeno cuando se emplea curcumina, (Farkhondeh et al. 2019). Esta última cualidad está asociada con la mejora de la vista, puesto que se conoce que los fotoreceptores y células ganglionares de la retina son muy susceptibles al estrés oxidativo, (López et al. 2020). Por otro lado, se ha comprobado su actividad anticancerígena, ya que ha resultado tener un potente efecto inhibitorio sobre la carcinogénesis en tres etapas: agiogénesis, formación de tumores y crecimiento de tumores, (Aderibigbe et al. 2019). Con respecto al efecto antidiabético, en experimentos *in vivo*, cuando se les induce diabetes a ratones Wistar y se suministran dosis de curcumina, se ha visto una disminución en glucosa, colesterol, triglicéridos, e incluso una mejora renal, (Tsiani et al. 2019).

Debido al conjunto de todos estos beneficios potenciales que puede aportar a la salud el consumo de ácido turmérico, en los últimos años ha surgido la tendencia por incorporar a este pigmento natural en los alimentos; como sustituto principal a la tartrazina. La tartrazina es un colorante artificial perteneciente a la familia de los colorantes azo. Brinda tonalidades amarillo-anaranjado con aplicaciones en diversos sectores como el alimentario, textil y farmacéutico. Sin embargo, se le ha relacionado con alergias, asma, urticaria e hiperactividad, (Siddiquee et al. 2017).

III. APLICACIONES EN LOS ALIMENTOS

La incorporación de la curcumina en los alimentos y bebidas es limitada debido a su poca solubilidad en agua, fácil oxidación, baja estabilidad química, rápido metabolismo, baja disponibilidad oral y la limitada miscibilidad que presenta con los componentes de los alimentos (Kotha y Luthria 2019). Para mejorar estas deficiencias se han desarrollado sistemas de administración coloidal, entre las que se encuentran: emulsiones, micelas, microemulsiones, nanoemulsiones, nanopartículas sólidas lipídicas, portadores lipídicos nanoestructurados y microgeles. En un estudio realizado por Park et al (2019) se evaluó el uso de nanoemulsiones obtenidas a partir

de extracto de cúrcuma en alimentos tipo coloide, la leche fortificada con nano emulsión mostró estabilidad durante el tiempo de almacenamiento de 21 días a 4 °C, ya que el contenido de curcumina permaneció estable. Además, en un estudio realizado por Kumar et al (2016), la aplicación de nanoencapsulados de curcumina dio buenos resultados para ser aplicado en la elaboración de helados, ya que no existieron cambios sensoriales perceptibles.

Diferentes estudios se han realizado para evaluar los complejos de cúrcuma con polisacáridos. En un estudio realizado por Marcolino et al. (2011), se acomplejo cúrcuma con betaciclodextrina y se empleó en la elaboración de helado. De acuerdo con los resultados se determinó que la adición de este complejo intensificó el sabor y mejoró la estabilidad. Por otro lado, Marcolino et al. (2011) utilizó el complejo de curcumina con beta-ciclodextrina para su aplicación en la elaboración de queso y yogurt, de acuerdo con los resultados el uso del complejo favorece su uso en la elaboración de alimentos con bajo contenido de grasa, lo que amplía su campo de aplicación. Por otro lado, para evaluar la absorción de los compuestos de cúrcuma, se realizó un estudio de digestión in vitro, en el cual se concluyó que el uso de nanoportadores mejoró la liberación controlada de los compuestos en un 70 por ciento (Park et al. 2019). Pedrosa Silva Clerici (2018), utilizó harina de cúrcuma en la elaboración de pastas de harina de trigo. Determinó que la presencia de cúrcuma modifica el color de las pastas, acentúa la tonalidad amarilla y mantiene las propiedades de cocción. Por otro lado, con el propósito de reemplazar el uso de antioxidantes sintéticos, se aplicaron microcristales de curcumina en la elaboración de mortadela y de acuerdo con los resultados, se determinó que la curcumina tiene alto potencial para reemplazar los antioxidantes sintéticos, como el butilhidroxianisol, butilhidroxitolueno, galato de propilo y palmitato ascorbilo, ya que prácticamente no modifica las características fisicoquímicas, además previene la oxidación de los alimentos (Júnior et al. 2019).

En otro estudio se empleó fibra de avena enriquecida con curcumina en la elaboración de bocadillos y se determinaron las variables que generan mayor pérdida de curcuminoides, lo que significó establecer las condiciones de procesamiento adecuadas que evitaban pérdidas significativas de color (Sayanjali et al. 2019). Con base en esta información resulta evidente que la curcumina puede ser aplicada en la elaboración de diferentes productos alimenticios.

Sin embargo, es muy importante considerar el tipo de agente portador, la matriz alimenticia y las condiciones de proceso, con la finalidad de obtener los mejores resultados.

IV. CONCLUSIONES

El empleo de la cúrcuma en la formulación de alimentos tiene algunas ventajas en comparación con los colorantes sintéticos, específicamente en la tartrazina. Puesto que la curcumina posee propiedades que suman positivamente a la salud contra enfermedades como el Alzheimer, diabetes y cáncer. Y tal aspecto se ve reflejado en el aumento del consumo de esta peculiar raíz. Sin embargo, su aplicación en diversos productos alimenticios se ve mermada por el carácter lipofílico de la curcumina, por lo que actualmente, las investigaciones continúan centrando sus estudios en este objetivo.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Aderibigbe BA, Mbese Z, Khwaza V (2019) Curcumin and its Derivatives as Potential Therapeutic Agents in Prostate, Color and Breast Cancers. *Molecules*. 24: 1-23.
- Benavides A, Hernández RD, Ramírez H, Sandoval A (2010) Tratado de Botánica Económica Moderna. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 6-8 pp.
- Farkhondeh T, Samarghandian S, Pourbagher AM, Sedaghat M (2019) The impact of curcumin and its modified formulations on Alzheimer's disease. *Cellular Physiology*. 234:16953-16965.
- Gryniewicz G, Ślifirski P (2012) Curcumin and curcuminoids in quest for medicinal status. *Acta Biochim Pol* 59:201-212.
- Júnior MM, de Oliveira TP, Gonçalves OH, et al (2019) Substitution of synthetic antioxidant by curcumin microcrystals in mortadella formulations. *Food Chemistry*. 300:125231.
- Kotha RR, Luthria DL (2019) Curcumin: Biological, Pharmaceutical, Nutraceutical, and Analytical Aspects. *Molecules* 24:29-30.
- Kumar DD, Mann B, Pothuraju R, et al (2016) Formulation and characterization of nanoencapsulated curcumin using sodium caseinate and its incorporation in ice cream. *Food Funct* 7:417-424.

Lestari MLAD, Indrayanto G (2014) Curcumin. Profiles Drug Subst Excipients Relat Methodol 39:113–204.

López D, Villarón CA, Alarcón J, Miranda M, Díaz M, Romero FJ, Villar VM (2020) Curcumin as a Therapeutic Option in Retinal Diseases. Antioxidants. 9:2-15.

Marcolino VA, Zanin GM, Durrant LR, et al (2011) Interaction of Curcumin and Bixin with β -Cyclodextrin: Complexation Methods, Stability, and Applications in Food. Journal of Agriculture and Food Chemistry 59:3348–3357.

Park SJ, Hong SJ, Garcia C V., et al (2019) Stability evaluation of turmeric extract nanoemulsion powder after application in milk as a food model. Journal of Food Engineering. 259:12–20.

Pedrosa MT (2018) Turmeric (*Curcuma longa* L.): new application as source of fiber and antioxidants in pasta with whole wheat flour. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 71:8423–8435.

Prasad N, Simental E (2019) Cúrcuma: Un cultivo técnicamente factible, económicamente viable y financiable. TecnoAgro. 130: 20-28.

Sayanjali S, Sanguansri L, Ying D, et al (2019) Extrusion of a Curcuminoid-Enriched Oat Fiber-Corn-Based Snack Product. Journal Food Science 84:284–291.

Slika L, Patra D (2020) A short review on chemical properties, stability and nano-technological advances for curcumin delivery. Expert Opinion on Drug Delivery. 17:61-75.

Siddiquee S, Rovina K, Shaarani SM (2017) A Review of Extraction and Analytical Methods for the Determination of Tartrazine (E102) in Foodstuffs. Critical Reviews in Analytical Chemistry. 47: 309-324.

Tsiani E, Den DJ, Gabriel A (2019) Antidiabetic Properties of Curcumin II: Evidence from In Vivo Studies. Nutrients. 12:1-27.

Tung B. T., Nham D. T., Hai N. T., Thu, D. K. (2019). Curcuma longa, the Polyphenolic Curcumin Compound and Pharmacological Effects on Liver. In Dietary Interventions in Liver Disease. pp. 125–134.

Turmerico (*Curcuma longa* L.) (2017) FOOD-INFO [online] Disponible en <http://www.food-info.net/es/products/spices/turmeric.htm> [fecha de revisión 1 Julio 2017].

Wiggers HJ, Zaioncz S, Cheleski J, Mainardes RM, Khalil NM (2017) Curcumin: A Multitarget Phytochemical. Studies in Natural Products Chemistry. 243-256 pp.

Wright JS (2002) Predicting the antioxidant activity of curcumin and curcuminoids. Journal of Molecular Structure. Theochem. 591:207-217.



The background image shows a laboratory or industrial facility with several large, cylindrical stainless steel bioreactors. The bioreactors are connected by a network of blue pipes and have yellow safety railings around them. The scene is lit with blue and white lights, creating a clean, technical atmosphere.

**CULTIVO POR LOTE
ALIMENTADO DE
Saccharomyces cerevisiae
PARA OBTENER UN CULTIVO
A ALTA DENSIDAD CELULAR**

Ortega M. C., Melchy A. O., Martínez R. A.,
Gómez G. O., de la Torre M. M.

Cinvestav-IPN, Av. IPN, # 2508, Col. San Pedro Zacatenco, C.P. 07360,
Ciudad de México, México.; cortega@cinvestav.mx.

RESUMEN

En el presente trabajo, se estableció un cultivo por lote alimentado de *Saccharomyces cerevisiae* para obtener alta densidad celular. Se utilizó un biorreactor de tanque agitado de esterilización *in situ* marca Chemap de volumen nominal de 30 litros. Para la estrategia de alimentación se aplicó el método de modelo adelantado con parámetros cinéticos determinados previamente iniciando con un volumen de 16 litros y una edad de 16 h. Se logró obtener una densidad celular de 120 g/l evitando de esta manera el efecto Crabtree.

Palabras clave: *Saccharomyces cerevisiae*, cultivo por lote alimentado, alta densidad celular, formación aeróbica de etanol.

ABSTRACT

In the present work, a fed-batch culture of *Saccharomyces cerevisiae* was established to obtain high cell density. Chemap brand stirred tank bioreactor of sterilization *in situ* with a nominal volume of 30 liters was used. For fed strategy, the advanced model method was used with kinetic parameters previously determined and starting volume of 16 liters at 16 h. We obtained 120 g/l of cell density avoiding in such way the Crabtree effect.

Keywords: *Saccharomyces cerevisiae*, fed-batch culture, high cell density, ethanol aerobic synthesis.

INTRODUCCIÓN

El proceso de fermentación por lote alimentado se utiliza para prevenir o minimizar la inhibición del crecimiento asociada a la producción aeróbica de etanol¹ (efecto Crabtree) como consecuencia de una elevada concentración de sustrato, además esta técnica es aprovechada para obtener una alta concentración celular³. Al mantener una velocidad específica de crecimiento baja, se evita la producción de etanol. La solución para la etapa de alimentación debe ser lo más concentrada posible para reducir el efecto de dilución.

La alimentación se incrementa exponencialmente considerando una velocidad específica de crecimiento $\mu = 0.18 \text{ h}^{-1}$, hasta alcanzar un punto en que no sea posible mantener nuestro cultivo sin limitación por transferencia de Oxígeno, (alimentación máxima), a

partir de este momento, la alimentación se mantendrá constante¹. Al considerar el modelo adelantado, se logra mantener una velocidad específica de crecimiento constante para minimizar la formación de un subproducto no deseado, este modelo se determina con base en el balance de materia y la acción de control es la velocidad de alimentación de sustrato. Existe cierto flujo de fuente de carbono y energía, (FCE), que se destina al mantenimiento celular y es proporcional a la cantidad de biomasa.

OBJETIVO

Desarrollar una estrategia de alimentación simple para un proceso por lote alimentado⁴ de *Saccharomyces cerevisiae*, con el fin de controlar la velocidad específica de crecimiento, además evitar se presente el efecto Crabtree y lograr una alta concentración celular.

DESARROLLO

Se empleó un cultivo puro de levadura *Saccharomyces cerevisiae* (ATCC 9763) y sacarosa como sustrato en un medio de cultivo similar al descrito por Verduyn². Los procesos de fermentación se realizaron en un biorreactor Chemap de 30 litros, como se muestra en la figura 1.

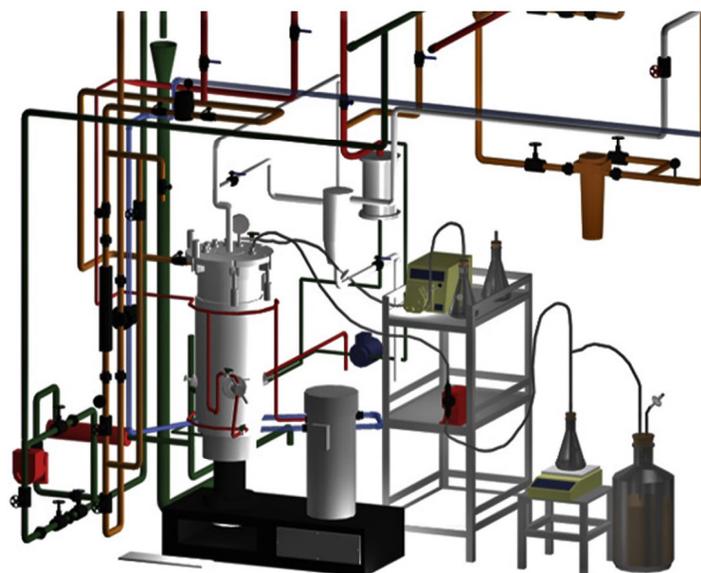


Figura. 1. Reactor Chemap de esterilización *in situ*.

Lote

La etapa en lote se inicia con un volumen de 16 litros y $0.25 \text{ g}_{\text{biomasa}} \text{ l}^{-1}$, y con una concentración de sustrato de $10.48 \text{ g}_{\text{biomasa}} \text{ l}^{-1}$, en el transcurso de las primeras siete horas de edad del cultivo, la sacarosa

prácticamente se agotó, ($0.44 \text{ g}_{\text{sacarosa}} \text{ l}^{-1}$), mientras que la concentración de biomasa se incrementó hasta los $2.8 \text{ g}_{\text{biomasa}} \text{ l}^{-1}$, sin embargo a esa edad, también se determinó una concentración para etanol de $3.1 \text{ g}_{\text{etanol}} \text{ l}^{-1}$, se continúa esta etapa hasta que disminuye la concentración de etanol hasta un valor menor o igual a $1.0 \text{ g}_{\text{etanol}} \text{ l}^{-1}$, condición que se cumple a las 15 horas de edad.

Balance de materia

$$\frac{dC}{dt} = \frac{F}{V} (C_{sa} - C_s) - q_s C_x = 0 \quad \text{_____ 1}$$

C_s	Concentración de sustrato	Kg m^{-3}
C_{sa}	Concentración Sustrato en alimentación	Kg m^{-3}
F	Flujo de alimentación	$\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$
V	Volumen	m^3
Q_s	Vel. esp. consumo de sustrato	$\text{Kg}_s \text{ Kg}_x^{-1} \text{ h}^{-1}$
C_x	Concentración de biomasa	Kg m^{-3}

Si $C_s \ll C_{sa}$, la ecuación 1 se puede simplificar:

$$\frac{F}{V} C_{sa} - q_s C_x = 0; \quad \frac{F C_{sa}}{V} = q_s C_x; \quad F C_{sa} = q_s C_x V$$

$$F = \frac{q_s C_x V}{C_{sa}} \quad \text{_____ 2}$$

Pero si $(C_x V)$ se incrementa con el tiempo, F también aumentará de forma exponencial con el tiempo, así:

$$(C_x V)_t = (C_x V)_0 e^{\mu t} \quad \text{_____ 3}$$

Donde 0 y t denotan los valores iniciales y al tiempo t, respectivamente, el flujo de alimentación está en función al tiempo, de tal manera que las células están habilitadas para su crecimiento a una μ constante, al combinar las ecuaciones 2 y 3, se obtiene:

$$F_t = \frac{q_s}{C_{sa}} (C_x V)_t; \quad F_t = \frac{q_s}{C_{sa}} (C_x V)_0 e^{\mu t}$$

Que puede escribirse como:

$$F_t = F_0 e^{\mu t} \quad \text{_____ 4}$$

El rendimiento se define como

$$Y_{x/s} = \frac{\mu}{q_s}$$

Sin embargo, este rendimiento disminuye cuando la μ es muy baja, debido a la demanda de sustrato con fines de mantenimiento, (m_s), de tal manera que la velocidad específica de consumo de sustrato al considerar el mantenimiento es:

$$q_s = \frac{\mu}{Y_{x/s}} + m_s \quad \text{_____ 5}$$

Por lo tanto, la ecuación para determinar el flujo inicial es

$$F_0 = \left[\frac{\mu}{Y_{x/s}} + m_s \right] \left[\frac{C_{x0} V_0}{C_{sa}} \right] e^{\mu t} \quad \text{_____ 6}$$

μ	0.18	Velocidad específica de crecimiento	h^{-1}
$Y_{x/s}$	0.5	Rendimiento	$\text{g}_{\text{cel}} \text{ g}_{\text{sac}}^{-1}$
m_s	0.02736	Sustrato para mantenimiento	$\text{g}_{\text{sac}} \text{ g}_{\text{cel}}^{-1} \text{ h}^{-1}$
C_{x0}	3.92	Concentración celular inicial	g l^{-1}
V_0	16	Volumen inicial	l
C_{sa}	540	Concentración de sustrato en alimentación	g l^{-1}
t	0	Edad del cultivo	h
q_s	0.37	Velocidad específica de consumo de sustrato	$\text{g}_{\text{sac}} \text{ g}_{\text{cel}}^{-1} \text{ h}^{-1}$

Transformada de Laplace⁵. Es una técnica matemática que se utiliza para cambiar una función con una variable en otra función con otra variable, además se pueden resolver ecuaciones diferenciales lineales o de orden "n" con coeficientes constantes, básicamente es útil para resolver algunas ecuaciones diferenciales por medios algebraicos.

Aplicando la *transformada de Laplace*, para tener funciones con dominio de frecuencia en lugar de dominio de tiempo, tenemos:

$$F_t = F_0 e^{\mu t}$$

Cuando $D \ll \mu$, se puede considerar $a = \mu$, por definición la *transformada de Laplace* es:

$$\mathcal{L}\{f(t)\} = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt$$

Sustituyendo nuestra función:

$$\mathcal{L}\{e^{at}\} = \int_0^{\infty} e^{-st} e^{at} dt$$

$$\mathcal{L}\{e^{at}\} = \int_0^{\infty} e^{(a-s)t} dt$$

Su integral indefinida o antiderivada es:

$$\mathcal{L}\{e^{at}\} = \frac{1}{a-s} \lim_{a \rightarrow \infty} [e^{(a-s)t}]$$

$$\mathcal{L}\{e^{at}\} = \frac{1}{a-s} [e^{(a-s)t}]_0^{\infty} = \frac{1}{a-s} [0 - 1]$$

$$\mathcal{L}\{e^{at}\} = \frac{1}{s-a}$$

El modelo propuesto para el control de alimentación es:

$$F_t = F_0 \left(\frac{1}{s-a} \right) \quad \text{-----} \quad 7$$

Considerando la constante de Laplace ($s = 1$), así como una $\mu = 0.18 \text{ h}^{-1}$. El flujo de alimentación para la segunda hora es:

$$F_1 = F_0 \left(\frac{1}{1-0.18} \right) = 0.45(1.2195) = 0.055 \text{ lh}^{-1}$$

Lote alimentado

A las 15 horas de edad se inicia esta etapa, se incrementa el flujo de alimentación de forma exponencial con el objetivo de mantener la velocidad específica de crecimiento en $\mu = 0.18 \text{ h}^{-1}$. A las 30 horas de edad ha sido necesario incrementar la velocidad de agitación, desde 350 rpm ($KLa = 48 \text{ h}^{-1}$), hasta 810 rpm, ($KLa = 198 \text{ h}^{-1}$). Sin embargo, la concentración de Oxígeno disuelto es crítica por lo que se decide en adelante mantener constante el flujo de alimentación.

Saccharomyces cerevisiae

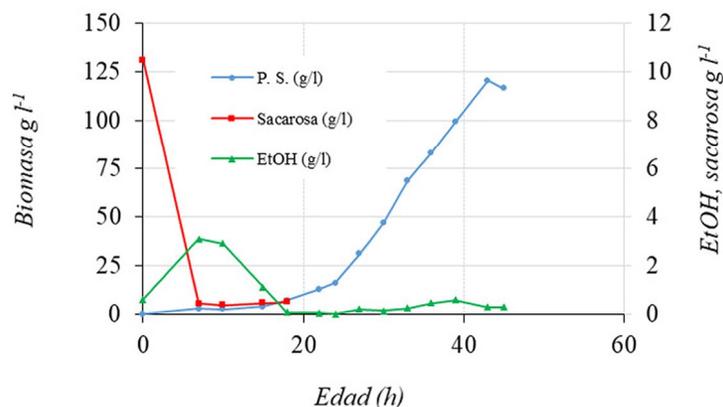


Figura 2. Cinética de crecimiento del cultivo por lote alimentado de *Saccharomyces cerevisiae* a alta densidad celular. P. S. corresponde al peso seco.

CONCLUSIONES

El modelo propuesto para el lote alimentado es válido, se evita el efecto Crabtree y al concluir el proceso, se alcanza una concentración de biomasa aproximada a 120 g l^{-1} .

El criterio para iniciar la etapa de alimentación es que la concentración de etanol sea igual o menor a 1.0 g l^{-1} . Se controló el flujo de alimentación para mantener una velocidad específica de crecimiento constante en 0.18 h^{-1} .

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Pham H., Larsson G., Enfors S. (1988). Aerobic Fed-Batch Cultures of *Saccharomyces cerevisiae*: Simulation and model Verification. *Biotechnol. Bioeng.* 60 (4) 474-482.
2. Verduyn C., Postma E., W. ALEXANDER Scheffers A., and Van Dijken J. (1992). Effect of Benzoic Acid on Metabolic Fluxes in Yeasts: A Continuous-Culture Study on the Regulation of Respiration and Alcoholic Fermentation. *YEAST VOL. 8*: 50 1-5 17.
3. Van Hoek P., de Hulster E., Van Dijken J., Pronk J. (2000). Fermentative Capacity in Fed-Batch Cultures of Baker's Yeast. *Biotechnol. Bioeng.* 68 (5) 517-523.
4. Pirt S. J., (1975), Principles of microbe and cell cultivation. New York: Wiley.
5. Murray R. S., (198), Manual de formulas y tablas matemáticas. McGraw-Hill/Interamericana de México S.A. de C. V.

Selección de un medio de cultivo para la producción de biosurfactantes y la influencia de la aireación sobre el crecimiento celular y la tensión superficial en cultivo en biorreactor

Angeles Dominguez Rivera^{1*} · Miguel Angel Martinez Urbina² · Victor Eric Lopez y Lopez¹

1. Centro de Investigacion en Biotecnologia Aplicada del Instituto Politecnico Nacional, Carretera Estatal Sta. Ines Tecuexcomac-Tepetitla, 90700 Tepetitla de Lardizabal, Tlaxcala, Mexico
2. Polaquimia S. A. de C. V., Km 144, Carretera Federal Mex-Ver S/N, 90460 Xaloztoc, Tlaxcala, Mexico

^{1*} Correo electrónico: adominguezr1502@alumno.ipn.mx

RESUMEN

Los biosurfactantes son moléculas anfifílicas producidas por una variedad de microorganismos incluidos las bacterias, levaduras y hongos filamentosos. En comparación a los surfactantes sintetizados químicamente, los biosurfactantes ofrecen ventajas como biodegradabilidad, baja toxicidad, propiedades espumantes y mayor selectividad; además de ser activos a temperaturas extremas, pH y salinidad, y ser producidos a partir de desechos industriales y materias primas renovables. Sin embargo, su uso sigue siendo limitado, debido al alto costo de producción y los bajos rendimientos que se obtienen, por lo que el desafío en la producción parece depender de una estrategia efectiva en el desarrollo del proceso de fermentación, que involucren, además de una cepa productora, la formulación adecuada de un medio de cultivo y condiciones ambientales apropiadas.

Palabras clave: tensión superficial, medio de cultivo, fuente de carbono, fuente de nitrógeno, aireación.

ABSTRACT

Biosurfactants are amphiphilic molecules produced by a variety of microorganisms including bacteria, yeasts and filamentous fungi. Compared to chemically synthesized surfactants, biosurfactants offer advantages such as biodegradability, low toxicity, foaming properties and greater selectivity; besides being active at extreme temperatures, pH and salinity, and being produced from industrial waste and renewable raw materials. However, their use remains limited, due to the high cost of production and the low yields obtained, so the challenge in production seems to depend on an effective strategy in the development fermentation process, that involve to a producing strain, a suitable formulation of a culture medium and appropriate environmental conditions.

Palabras clave: surface tension, culture medium, carbon source, nitrogen source, aeration.

1. INTRODUCCIÓN

Los biosurfactantes son moléculas de superficie activa producidas por una variedad de microorganismos, incluidos las bacterias, levaduras y hongos filamentosos. La actividad superficial hace a los biosurfactantes excelentes emulsificadores, espumantes y agentes

dispersantes, pudiendo ser aplicados como agentes humectantes, dispersantes, emulsionantes, espumantes, aditivos alimenticios, detergentes y como agentes de control biológico (Reis et al. 2013). A concentraciones por encima de la concentración micelar crítica (CMC), los biosurfactantes se asocian para formar micelas, bicapas y vesículas, la formación de estos agregados, permite reducir la tensión superficial e interfacial, e incrementar la solubilidad y biodisponibilidad de compuestos orgánicos hidrofóbicos (Santos et al. 2016). Un buen biosurfactante es capaz de reducir la tensión superficial del agua de 72 a 30 mN/m (Soberón-Chavez y Maier 2011).

En comparación a los surfactantes sintetizados químicamente, los biosurfactantes tienen ventajas como: biodegradabilidad, baja toxicidad, propiedades espumantes y mayor selectividad; además de ser activos a temperaturas extremas, pH y salinidad, y ser producidos a partir de desechos industriales y materias primas renovables (Banat et al. 2010; Yan et al. 2012). Sin embargo, su uso es limitado debido al alto costo de producción y los bajos rendimientos que se obtienen. Por lo que el éxito de producción depende de una estrategia robusta del proceso de fermentación, que involucre, además de la cepa productora, la elección de un medio de cultivo y condiciones de fermentación adecuadas. Motivo por el cual el objetivo del presente trabajo fue seleccionar un medio de cultivo y condiciones de aireación para la producción de biosurfactantes utilizando la bacteria *Bacillus sp.* BM33.5 previamente aislada e identificada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La cepa *Bacillus sp.* BM33.5, seleccionada por su capacidad surfactante, fue cultivada en matraz Erlenmeyer de 1000 mL con 200 mL de medio. Para investigar diferentes composiciones de medio de cultivo sobre la producción de biosurfactantes, se utilizaron tres medios con ajuste inicial a pH 7, los cuales fueron: MSI a base de glucosa y sales minerales, KSAH y AQ713 a base de glucosa, fuentes de nitrógeno orgánicas y sales minerales, se inocularon a partir de asada y se cultivaron a 200 rpm por 96 h a 30 °C, se tomaron muestras en intervalos de tiempo definidos y se analizaron para determinar cuentas celulares, pH, dispersión de aceite y tensión superficial. La prueba de dispersión de aceite consistió en agregar 20 mL de agua

destilada en placas Petri, seguido de 20 mL de hidrocarburo ligero teñido con colorante Sudan III (sigma-Aldrich®), para finalmente agregar 10 μL de sobrenadante del cultivo microbiano libre de células y medir el diámetro del halo formado debido a la presencia de biosurfactantes. La tensión superficial se determinó mediante el método de gota pendiente, utilizando un tensiómetro DSA100 Krüss®. El cultivo en biorreactor se llevó a cabo en lote con medio KSHA, a 30°C, con 0.5 vvm, con condiciones de agitación de 155 y 500 rpm, pH 7 sin control posterior y con remoción continua de espuma mediante un mecanismo de trampa.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como puede observarse el crecimiento celular en el medio MSI fue demasiado lento en comparación a los otros dos medios (Fig. 1). El crecimiento alcanzó un máximo de 1.03×10^{10} células/mL a las 84 h, pero decayó abruptamente el número de células a 1.19×10^9 , la mayor reducción en tensión superficial fue de tan sólo 7 unidades a las 48 h con un valor de 63.3 mN/m, justo a la hora que también se observó el mayor halo en la dispersión de aceite, que también reflejó la poca reducción en tensión superficial con un diámetro de 0.4 cm (Fig. 1).

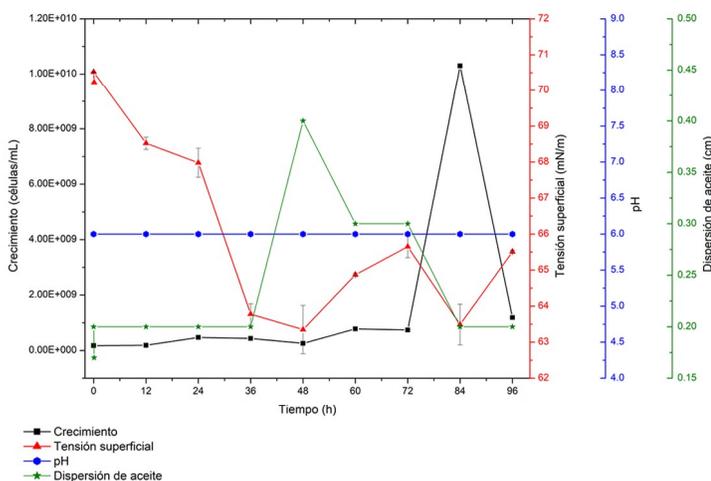


Figura 1. Perfil de crecimiento, tensión superficial, pH y dispersión de aceite para *Bacillus* sp. BM33.5 producida en matraz con medio MSI.

Para el medio AQ713 la fase de crecimiento exponencial comenzó a las 24 h, alcanzando su máximo a las 36 h con 1.45×10^{11} células/mL. Este medio presentó una baja tensión superficial en el medio con

40 mN/m a las 0 h, motivo por el cual el halo de dispersión de aceite fue de 5.5 cm, aunque durante las primeras 12 h se dio una ligera reducción en la tensión superficial, después fue incrementándose hasta alcanzar 47 mN/m a las 60 h, lo cual podría sugerir que este medio de cultivo no fue adecuado para la producción de biosurfactantes (Fig. 2).

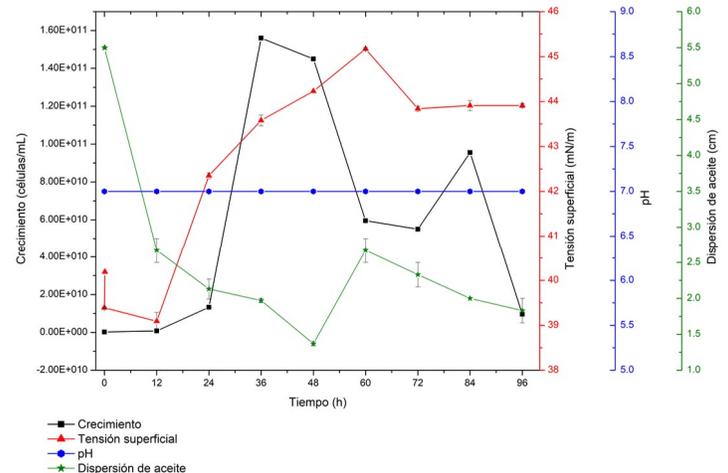


Figura 2. Perfil de crecimiento, tensión superficial, pH y dispersión de aceite para *Bacillus* sp. BM33.5 producida en matraz con medio AQ713.

Para el medio KSAH, el crecimiento acelerado inició a las 12 h y alcanzó un máximo de cuentas celulares de 7.8×10^{10} células/mL a las 48 h y se mantuvo un alta cuenta celular hasta las 72 h, justo después de comenzar el crecimiento acelerado, también empezó a decrecer la tensión superficial, reduciéndose de 50.1 a 28 mN/m a las 24 h, se mantuvo con valores de tensión superficial bajos a partir de las 24 h y hasta el final de la cinética, con valores que oscilaron entre 26 y 28 mN/m, la máxima reducción de 24 unidades fue a las 60 h con un valor de 26.2 mN/m, también a la hora de mayor reducción se pudo observar el mayor halo de dispersión de aceite con un diámetro de 6.3 cm (Fig. 3). Para este medio, se observó claramente que la producción de biosurfactantes estuvo asociada a crecimiento, similarmente a lo obtenido por Mejía (2008), quien reporto altas cuentas celulares (3.27×10^9) y actividad superficial asociada a crecimiento con este medio de cultivo y con la cepa industrial *B. subtilis* AQ, asociándolo al uso de harina de soya en el medio; Similarmente Kim et al. (1997), sugirieron que la producción del surfactante "surfactina", producido por *B. subtilis*, estuvo asociada a crecimiento utilizando un medio con glucosa.

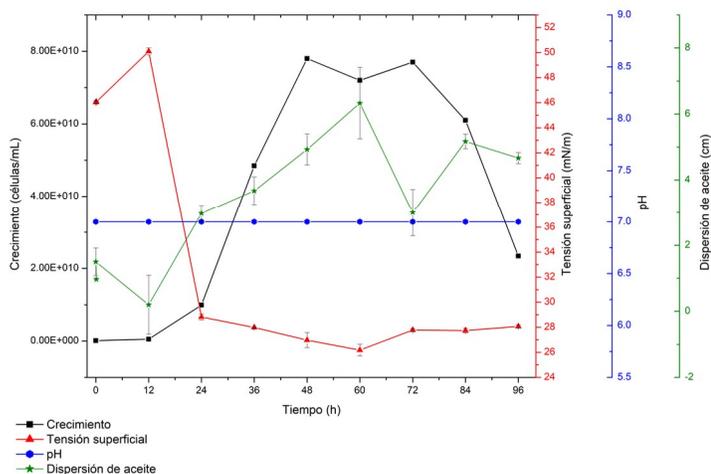


Figura 3. Perfil de crecimiento, tensión superficial, pH y dispersión de aceite para *Bacillus sp.* BM33.5 producida en matraz con medio KSAH.

Con base a los resultados obtenidos, se decidió utilizar el medio KSAH para escalamiento en biorreactor. En la primera fermentación (Fig. 4), llevada a cabo a 155 rpm, los resultados revelaron que después de una fase de adaptación de 1 hora, comenzó a incrementar lentamente el número de células hasta las 11 h, para después de esta hora comenzar el crecimiento exponencial, que alcanzó una máxima concentración celular de 1.25×10^{10} células/mL a las 14 h, con una máxima velocidad de crecimiento μ_{\max} de 0.229 h^{-1} . La tensión superficial presentó un valor inicial de 39 mN/m en el medio, el cual se incrementó de manera ligera al inocular el medio, quedando en 42.7 mN/m a las 0 h, la tensión superficial fue en aumento hasta alcanzar un máximo de 51.8 mN/m a las 11 h, a partir de esta hora se puede observar una reducción que se mantuvo con valores oscilantes entre 42 y 38 mN/m hasta las 18 h, siendo justamente esta hora en la que se presentó la máxima reducción de 13.1 unidades con valor de 38.6 mN/m. La tensión superficial en la espuma recolectada al final del bioproceso presentó un valor de 30.2 mN/m y formó un halo de dispersión de aceite de 7.2 cm. En los resultados obtenidos en esta fermentación, no se alcanzaron valores de tensión superficial similares al matraz, incluso la máxima concentración celular fue más baja en el fermentador (1.25×10^{10}), que en matraz (7.8×10^{10}), lo cual coincide con los reportes de Chen et al. (2006) quienes reportaron que la máxima concentración de biomasa en biorreactor fue menor que la alcanzada en matraz, indicando un pobre crecimiento de *B. subtilis* en el biorreactor.

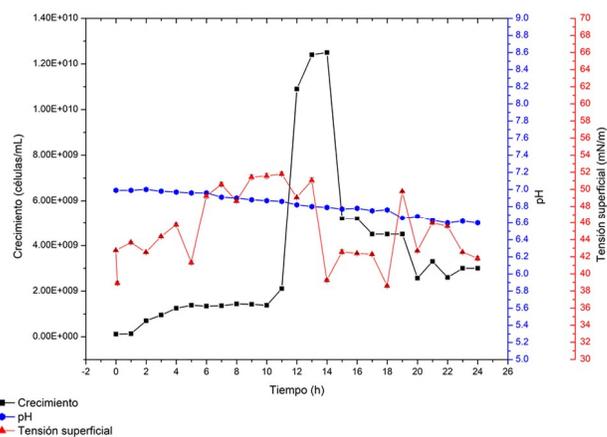


Figura 4. Fermentación 1 en biorreactor. Perfil de crecimiento, tensión superficial y pH para la cepa *Bacillus sp.* BM33.5 producida en lote a 155 rpm con medio KSAH.

La fermentación 2 (Fig. 5) se llevó a cabo con las mismas condiciones de operación que la fermentación 1, pero con una agitación de 500 rpm., al igual que en la fermentación 1 se observa una fase de adaptación de 1 hora, aunque el crecimiento en esta fermentación fue más lento, exponiendo una velocidad de crecimiento μ_{\max} de 0.11 h^{-1} , con la máxima concentración celular de 9.7×10^9 células/mL a las 18 h. Si bien se observa un perfil general de reducción en la tensión superficial justo a las horas de mayor número de cuentas celulares, la reducción de tensión superficial fue menor, con una máxima reducción de 6.4 unidades a las 20 h con valor de 28.5 mN/m. Aparentemente la velocidad de agitación afectó la formación de biosurfactantes, ya que, al generarse mayor espuma a causa de una mayor agitación, se puede perder biomasa al quedar atrapada en la espuma, y la biomasa en la espuma puede no tener acceso a los nutrientes requeridos, lo cual podría resultar en una síntesis de biosurfactante reducida. La tensión superficial de la espuma recolectada al término de la fermentación fue de 30.6 mN/m y formó un halo en la prueba de dispersión de aceite de 7 cm.

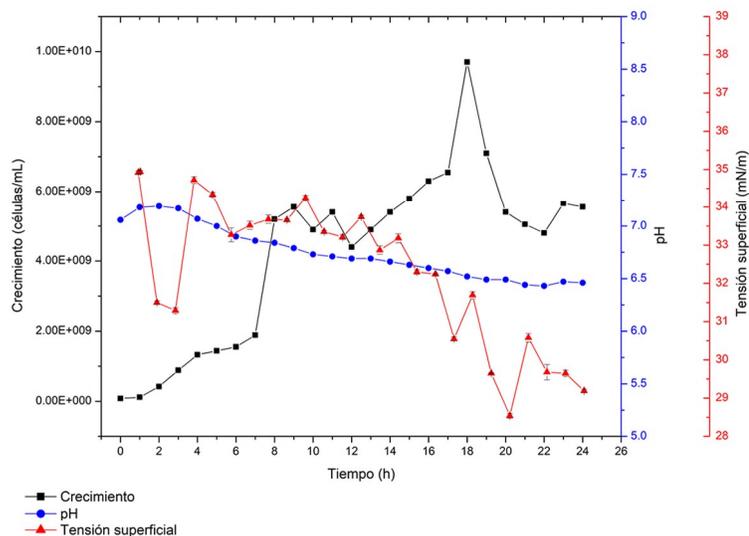


Figura 5. Fermentación 2 en biorreactor. Perfil de crecimiento, tensión superficial y pH para la cepa *Bacillus sp.* BM33.5 producida en lote a 500 rpm con medio KSAH.

4. CONCLUSIÓN

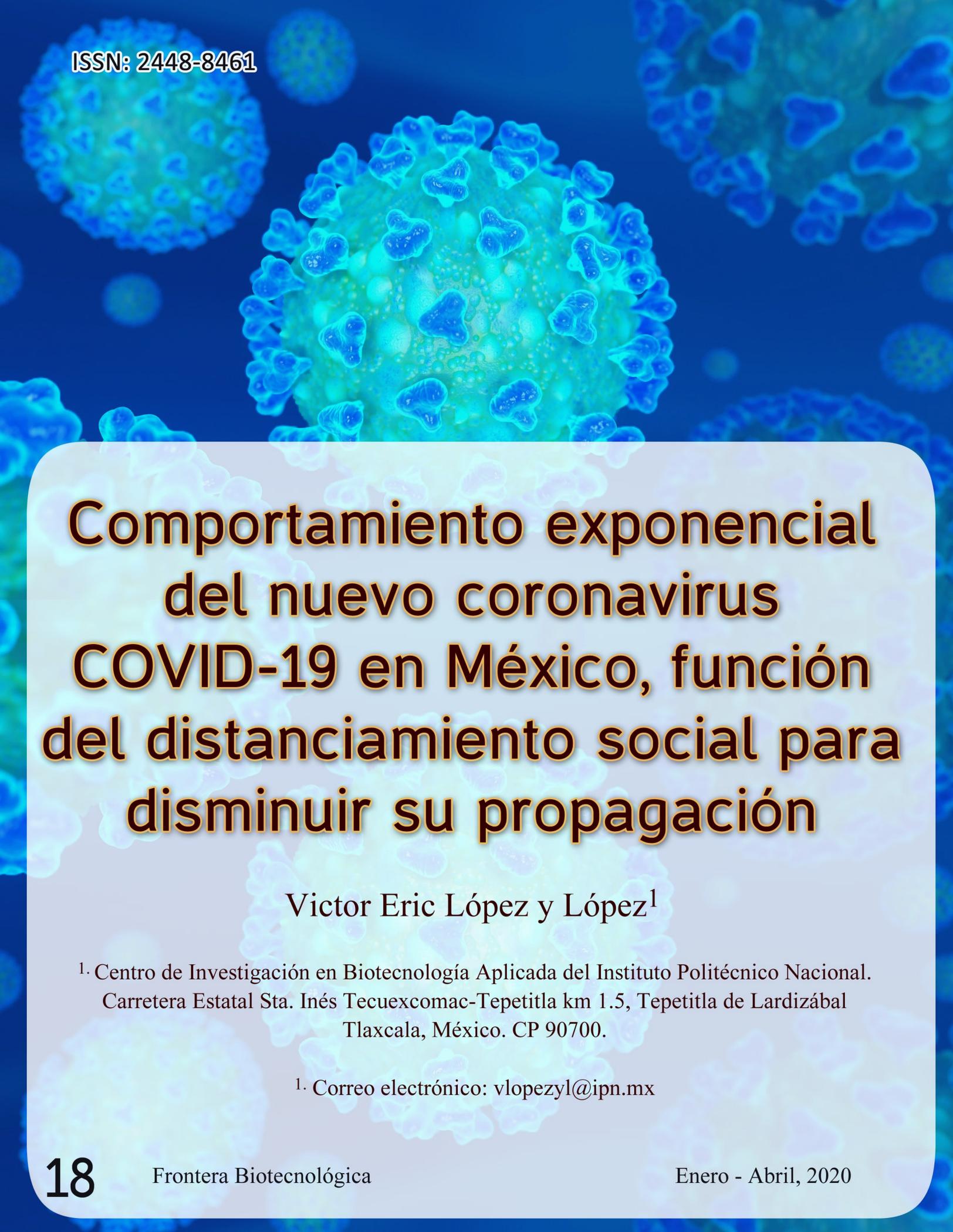
El medio KSAH, con fuente de nitrógeno orgánica, resultó ser el más efectivo para la producción de biosurfactantes para la cepa *Bacillus sp.* BM33.5 a nivel matraz. Por su parte, el efecto de la aireación y agitación a nivel biorreactor mostraron tener papeles significativos en la producción de biosurfactantes porque estos parámetros aumentan el oxígeno requerido mediante un mejor mezclado del medio, lo cual transfiere oxígeno del gas a la fase líquida.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el soporte financiero otorgado para la realización de este proyecto a Polaquimia S.A. de C.V.

6. REFERENCIAS

- Banat I M, Franzetti A, Gandolfi I, Bestetti G, Martinotti M G, Fracchia L, Smyth T, Marchant R (2010) Microbial biosurfactants production, applications and future potential. *Appl Microbiol Biotechnol.* 87:427-444.
- Chen C Y, Baker S C, Darton R C (2006) Batch production of biosurfactant with foam fractionation. *J Chem Technol Biotechnol.* 81:1923-1931.
- Kim H S, Yoon B D, Lee C H, Suh H H, Oh H M, Katsuragi T, Tani Y (1997) Production and properties of a lipopeptide biosurfactant from *Bacillus subtilis* C9. *J Ferment Bioeng.* 84:41-46.
- Mejia M L, Lopez y López V E (2008) Evaluación del efecto de la relación carbono nitrógeno y el nivel de oxígeno disuelto sobre la producción de biosurfactantes a partir de *Bacillus subtilis*. Tesis de maestría. Centro de investigación de biotecnología aplicada- IPN. Tlaxcala, México.
- Reis R S, Pacheco G. J, Pereira A G, and Freire D M G (2013) "Biosurfactants: production and applications," in *Biodegradation — Life of Science*. Edited by R Chamy and F. Rosenkranz (Rijeka: InTech), 31-61 pp.
- Santos D K F, Rufino R D, Luna J M, Santos V A, Sarubbo L A (2016) Biosurfactants: multifunctional biomolecules of the 21st century. *Int J Mol Sci* 17:1-31.
- Soberon-Chavez G, Maier R (2011) Biosurfactants: a general overview. *Biosurfactants. Microbiol Monographs* 20:1-11.
- Yan P, Lu M, Yang Q, Zhang H, Zhang Z., Chen R (2012) Oil recovery from refinery oily sludge using a rhamnolipid biosurfactant-producing *Pseudomonas*. *Bioresour Technol* 116: 24-28.



Comportamiento exponencial del nuevo coronavirus COVID-19 en México, función del distanciamiento social para disminuir su propagación

Victor Eric López y López¹

¹. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional. Carretera Estatal Sta. Inés Tecuexcomac-Tepetitla km 1.5, Tepetitla de Lardizábal Tlaxcala, México. CP 90700.

¹. Correo electrónico: vlopezyl@ipn.mx

RESUMEN

Existe una crisis de salud a nivel mundial por el surgimiento y esparcimiento del nuevo coronavirus COVID-19. Desde los primeros casos reportados en diciembre 2019 en la ciudad de Wuhan en China comenzó una carrera contra el tiempo para evitar la propagación del virus. A pesar de los esfuerzos de contención y medidas tomadas por muchos países, algunos de ellos no lograron reducir una transmisión acelerada del virus. En México, el primer Aviso Epidemiológico alertando de la infección respiratoria asociados al nuevo virus se realizó el 21 de enero de 2020. A partir de esa fecha, México ha implantado medidas de prevención y mitigación. En este artículo se presenta como ha cambiado la velocidad de infección del virus en nuestro país y se comparan datos con países donde el número de casos del COVID-19 es elevado. La perspectiva de este trabajo es poner en contexto que, si México no hubiera implementado las medidas de prevención y mitigación apropiadamente, nuestro país ocuparía los primeros lugares a nivel mundial de casos de COVID-19 al cierre de esta edición.

Palabras clave: : COVID-19, SARS-CoV-2, coronavirus, modelo exponencial.

ABSTRACT

There is a health worldwide crisis due to the emergence and spreading of the novel coronavirus COVID-19. Since the first reported case in Wuhan, China in December 2019 begun a racing against time to avoid the virus propagation. Despite of contention efforts and measures taken for many countries, some of them could not controlled the accelerated transmission of the virus. In Mexico, the first Epidemiologic Advice was released in January 21 of 2020. From that date, Mexico has implemented measures of prevention and mitigation. In this work is shown how the virus infection rate was changed and data are compared to that of countries which the number of COVID-19 is elevated. The perspective of this work is underlining that if México have not implemented measures against prevention and mitigation properly our country would occupy the first places in the world of COVID-19 cases at the press time.

Keywords: COVID-19, SARS-CoV-2, coronavirus, exponential model.

INTRODUCCIÓN

En diciembre de 2019, pacientes con una neumonía de causa desconocida se presentaron en instituciones médicas en la provincia de Hubei China, particularmente en la ciudad de Wuhan¹. El virus fue identificado nombrado como 2019-nCoV una nueva especie de los virus SARS-CoV^{2,3}, denominándolo posteriormente SARS-CoV-2 o como lo conocemos coloquialmente COVID-19. El virus causa varios síntomas entre los que destacan fiebre alta, tos y dificultad para respirar^{4,5,6}. Este virus afecta todos por igual entre niños, jóvenes, adultos y adultos mayores, sin importar condición social. Sin embargo, se ha reportado que la población más vulnerable son los adultos mayores, personas que padecen hipertensión, diabetes, obesidad, tabaquismo, así como mujeres embarazadas. Por lo que lo hace un virus muy peligroso en México debido a los altos índices de personas con hipertensión, diabetes y obesidad que es del dominio público. La Secretaría de Salud a través de la Unidad de Inteligencia Epidemiológica y Sanitaria⁶ publicó un aviso el 9 de enero de 2020 que sugería evitar viajes no esenciales a China y en caso de ser necesario el viaje, se sugería aplicar medidas preventivas específicas como el lavado de manos frecuente, consumir alimentos bien cocinados y agua simple potable o embotellada y evitar lugares concurridos, evitar contacto con animales vivos o muertos, evitar comer carne cruda entre otros. De acuerdo a los diferentes avisos de la Secretaría de Salud (los cuales pueden ser consultados en <https://www.gob.mx/salud/es/archivo/prensa>) era claro percibir que las autoridades correspondientes comenzaron a tener un muy buen argumento de que la posibilidad de la llegada del virus era inminente, aun cuando se reportaban 448 casos confirmados a nivel mundial y nueve defunciones por esta razón⁷. En dichos comunicados se recomendaba informar al personal de primer contacto en unidades médicas públicas y privadas de todo México con respecto al nuevo coronavirus, se debía de garantizar la notificación de los casos sospechosos a la unidad de Inteligencia Epidemiológica y Sanitaria (UIES), además de realizar estudios epidemiológicos de caso y notificar la totalidad de casos sospechosos y al nivel técnico inmediato superior, aislamiento estricto de casos sospechosos, usar precauciones de transmisión basadas en el mecanismo de transmisión por gotas y

seguimiento de casos sospechosos hasta su clasificación final, cumplir con metodologías y procedimientos de vigilancia epidemiológica y de diagnóstico de laboratorio (dichos comunicados pueden consultarse a través de la liga en Referencias). No fue hasta el 28 de febrero que México presentó el primer caso confirmado de COVID-19⁸.

A la sociedad en general, principalmente las medidas de prevención como el lavado de manos fueron frecuentemente expuestas a lo largo de febrero y marzo. El 13 y 14 de marzo; México tenía 26 y 41 casos positivos respectivamente, el 14 de marzo en el comunicado de la Secretaría de Salud y la Secretaría de Educación Pública se informaba que el receso escolar comprendería del lunes 23 de marzo al viernes 17 de abril¹⁰. Para el 24 de marzo con 405 casos positivos, se declaró el inicio de la fase 2 por lo que las medidas a la población fueron el llamado al cuidado y la protección a las personas adultas mayores, mujeres embarazadas y quienes padezcan enfermedades crónico-degenerativas; el reforzamiento de las medidas de higiene básica, pública e individual; la práctica de la sana distancia, así como la suspensión de clases del 23 de marzo al 19 de abril, de eventos y reuniones donde participan más de 100 personas y de actividades laborales que involucren la movilización de personas en todos los sectores de la sociedad¹¹. Posteriormente, el 31 de marzo de acuerdo con la sesión plenaria del Consejo de Seguridad General (CSG) se reconoce la emergencia sanitaria a la epidemia de enfermedad causada por el virus SARS-CoV-2¹². El Consejo acordaba medidas extraordinarias en todo el territorio nacional, destacando la suspensión inmediata, del 30 de marzo al 30 de abril de 2020, de actividades no esenciales en los sectores público, privado y social, con la finalidad de mitigar la dispersión y transmisión del virus SARS-CoV-2 en la comunidad, para disminuir la carga de enfermedad, sus complicaciones y muerte por COVID-19 en la población residente en el territorio nacional. El 31 de marzo, nuestro país tenía 1215 casos confirmados y 28 muertes.

Objetivo

De acuerdo con lo anterior, surgen las preguntas si fueron acertadas la implementación de medidas básicas de distanciamiento social e inclusive de la suspensión de actividades no esenciales. Por lo que el objetivo de este trabajo fue analizar los datos oficiales

ajustándolos al modelo de crecimiento exponencial, determinando la velocidad de infección y discutir los posibles escenarios que tendría México si las medidas no fueran implementadas en las fechas que se mencionan. El comportamiento se compara con otros países con elevado número de casos.

Desarrollo

Los datos del número de casos fueron de acuerdo a los de la Secretaría de Salud en los Comunicados Técnicos Diarios [<https://www.gob.mx/salud>], el número de casos de otros países fue consultado en la página de la Universidad John Hopkins [<https://coronavirus.jhu.edu/map.html>] y en la página de Worldmeter [<https://www.worldometers.info/coronavirus/>]. Para determinar la velocidad de infección del COVID-19, los datos del número de casos se ajustaron al modelo exponencial de acuerdo con la siguiente ecuación¹³:

$$X = X_0 e^{\mu t} \quad \text{ecuación 1}$$

Donde:

X = número de casos de COVID-19 a un tiempo t

X_0 = número de casos iniciales con los que se ajusta el modelo exponencial.

μ = velocidad específica de infección y es constante

t = tiempo en días

Las velocidades específicas de infección se determinaron gráficamente con el número de casos de COVID-19 en función del tiempo con un coeficiente de correlación (R^2) al 99% o como fracción de 0.99. Para el cálculo de las proyecciones en México se usó el mismo modelo en Excel®.

Resultados y discusión

La ecuación 1 representa el modelo de crecimiento exponencial. Para que un crecimiento exponencial ocurra y se mantenga en un tiempo determinado, las condiciones en la que se presenta deben ser constantes. Por lo que si hay una disminución en la velocidad de crecimiento exponencial en nuestro caso la velocidad de infección (μ) es porque las condiciones cambiaron¹³. En la figura 1a, se presenta la gráfica de los datos reales del número de casos de COVID-19 en

función del tiempo con la primera velocidad exponencial que se presentó en México con un valor de 0.4119 d⁻¹ (R²=0.9948) y ocurrió de los días 10 al 16 de marzo. El crecimiento exponencial siempre parece ser muy pequeño al inicio debido a que el número de casos ocurridos es muy pequeño¹⁴. Del 16 al 23 marzo hubo una reducción de 1.8 veces en la velocidad de infección (figura 2b) ajustando a 0.2272 d⁻¹ (R²=0.9928). Si tomamos una velocidad global a partir del día 16 de marzo al 16 de abril (Figura 3c), observamos que la velocidad disminuyó hasta un valor de 0.1373 es decir 3.0 veces menos que la primera velocidad, aunque con un coeficiente de correlación menor (R²=0.9758). Al observar esta última tendencia, se determinó una nueva velocidad de infección con un mejor ajuste de los días 31 de marzo al 16 de abril la cual fue de 0.1057 d⁻¹ (R²=0.9928), siendo 3.89 veces que la velocidad exponencial inicial.

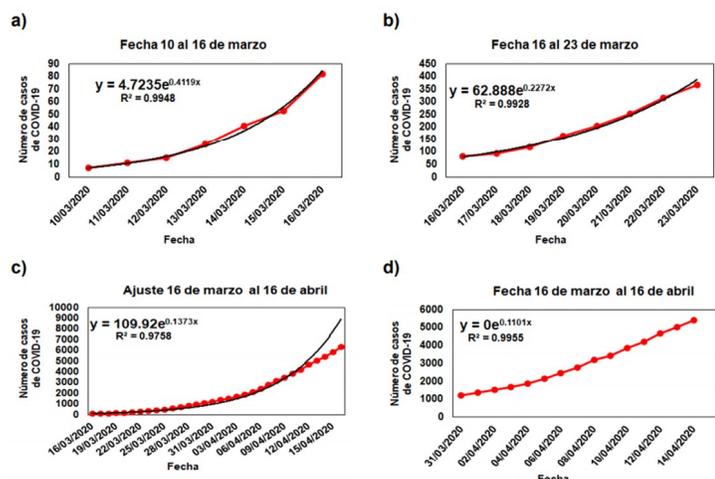


Figura 1. Determinación de las velocidades de infección del número de casos positivos de COVID-19. a) Velocidad de infección del 10 al 16 de marzo, b) Velocidad de infección del 16 al 23 de marzo, c) Velocidad de infección del 16 de marzo al 16 de abril y d) velocidad de infección del 31 de marzo al 16 de abril.

Las cuatro velocidades determinadas con los datos reales fueron utilizadas para modelar el crecimiento exponencial de acuerdo con la ecuación 1. Las proyecciones del número de casos comparada con los casos reales de infección por el COVID-19 se presentan en la Figura 2. Como se observa en la Tabla 1, la reducción de los casos se demuestra en la proyección para los días 16 y 30 de abril entre las diferentes velocidades que se han presentado en México. Es importante destacar que la reducción en la velocidad de

infección puede representar no solamente miles de casos sino millones de casos potenciales (Figura 2 y Tabla 1). Lo que es muy importante para la atención en los sistemas de salud.

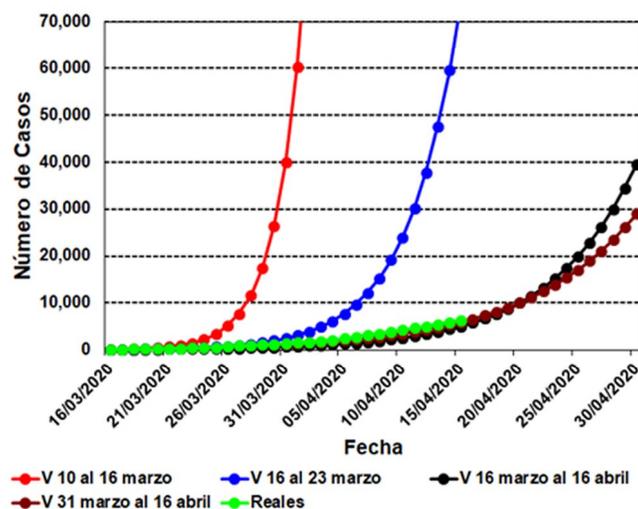


Figura 2. Proyecciones del número de casos de infectados por COVID-19 con base al modelo de crecimiento exponencial de acuerdo con las velocidades (V) determinadas en la figura 1.

Tabla 1. Escenarios del 16 y 30 de abril del Número de casos proyectados de infección por COVID-19 en función de la velocidad de infección y de acuerdo al modelo de crecimiento exponencial.

Velocidad específica de infección (d ⁻¹)	Días de ajuste	Casos Proyectados al 16 de abril	Casos Proyectados al 30 de abril
0.4119	10 al 16 de marzo	29,098,877	9.03x10 ⁹
0.2272	16 al 23 de marzo	93,894	2,259,647
0.1373	16 de marzo al 16 de abril	5,785	39,546
0.1057	31 de marzo al 16 de abril	6,593	28,955

En la Tabla 2 se presentan las velocidades de infección que se determinaron en otros países de acuerdo las bases de datos correspondientes. Cabe aclarar que el ajuste para determinar las velocidades de infección se realizó con base en obtener un coeficiente de correlación superior al 0.98 (98%). Por esta razón, son diferentes tanto el número de casos (X₀) con los que se inicia el ajuste como las fechas en las que se realiza. De esta manera observamos que no todos los países iniciaron el crecimiento exponencial con pocos casos. Estados Unidos de América tuvo una velocidad relativamente alta pero sostenida en un periodo de 20 días. España tuvo una velocidad más alta que se sostuvo

24 días, aunque inició con pocos casos. En el caso de Italia, sostuvo una velocidad menor con un alto número de casos iniciales y en 17 días. Alemania sostuvo una velocidad de infección relativamente alta durante 25 días. Rusia por su parte, comenzó con pocos casos, pero ha mantenido una velocidad moderada por 45 días. Posterior a las fechas que se exponen en la Tabla 2, la velocidad de infección Estados Unidos, España, Italia y Alemania ha disminuido ya sea a una velocidad exponencial menor o de manera prácticamente lineal (datos no mostrados). Sin embargo, a pesar de esa disminución de la velocidad de infección, por la cantidad de casos tan altos se registran aumentos de miles diariamente a la fecha de la escritura de este documento (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de velocidades específicas de infección y Casos al 16 de abril de Estados Unidos de América, España, Italia, Alemania y España. Casos al 16 de abril de México.

País	Velocidad específica de infección (d ⁻¹)	Coefficiente de Correlación	X ₀	Días de Ajuste	Casos al 16 de abril
Estados Unidos de América	0.2698	0.9914	994	10 al 30 de marzo	677,670
España	0.3264	0.9903	9	25 de febrero 20 de marzo	184,948
Italia	0.2008	0.9923	889	28 de febrero al 16 de marzo	168,941
Alemania	0.2536	0.9902	74	28 de febrero al 24 de marzo	136,698
Rusia	0.2039	0.9906	3	02 de marzo al 16 de abril	27,938
México	-	-	-	-	6,297

El periodo del 10 al 16 de marzo se presentó la mayor velocidad de infección en México. Como se mencionó en la introducción, el 14 de marzo se informaba del receso escolar por parte de la SEP y la Secretaría de Salud. El periodo de la segunda velocidad de infección mayor se presentó del 16 al 23 de marzo, siendo el 24 de marzo cuando se declaró el inicio de la fase 2 tomando las medidas correspondientes de sana distancia. Y para el 31 de marzo se reconocía la emergencia sanitaria a la epidemia de enfermedad causada por el virus SARS-CoV-2, suspendiendo actividades no esenciales del 30 de marzo al 30 de abril. Fecha en la que se ajusta la velocidad del periodo del 16 de marzo al 16 de abril y aquella con la velocidad ajustada del 31 de marzo al 16 de abril. Dónde en ambos casos el número de las proyecciones de infectados es menor en miles comparados con los calculados con las primeras velocidades de infección. De acuerdo con esta información, las velocidades más altas en México se mantuvieron por poco tiempo; adicionalmente nuestras

velocidades más bajas se han sostenido por más tiempo y son menores a las determinadas por los países mencionados durante la escritura del artículo. El día 16 de abril se informó que las medidas de sana distancia se extenderían hasta el 30 de mayo. Por lo que el verdadero resultado de la mitigación lo conoceremos los próximos dos meses. Sin embargo, nuestra información determinada con base en los datos reales nos sugiere que hemos estado cambiando las condiciones constantes y por lo tanto disminuyendo la velocidad de infección continuamente. Esto tendría un impacto positivo en el sistema de salud en México para que no sea superado y mucho más importante evitar pérdidas de vidas. A la falta de un tratamiento o una vacuna contra el nuevo COVID-19, controlar la velocidad de infección es la mejor estrategia para disminuir el número de contagios y se ha ido conteniendo con el distanciamiento social.



CONCLUSIÓN

En México se ha determinado una disminución en las velocidades de infección del COVID-19 lo que demuestra que se han cambiado las condiciones constantes de infección propias de los crecimientos exponenciales. Cualquier disminución en la velocidad de infección representa la disminución de miles de casos de COVID-19 y por lo tanto salvarles la vida a miles de personas potenciales en México. Esta información sugiere que las medidas implementadas en nuestro país han sido las correctas en tiempo y forma. De acuerdo con la información planteada en la Tabla 1, cualquier número de infectados menor a los que se presenten para el día 30 de abril será un triunfo para cada mexicano que se ha quedado en casa, aunque cada día ha sido una victoria en sí.

Referencias

1. Liang K (2020) Mathematical model of infection kinetics and its analysis for COVID-19, SARS and MERS. *Infections, Genetics and Evolution*, 82: 104306. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104306>
2. Zhu N, Zhang D, Wang W, et al. (2020) A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *The New England Journal of Medicine*. 382: 727-733. <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa2001017>
3. Zhou, P., Yang, X., Wang, X. et al. (2020) A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature* 579, 270–273 <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2012-7>
4. Huang C, Wang Y, Li X, et al. (2020) Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet* 2020.
5. Secretaría de Salud a través del Comité Nacional de Vigilancia Epidemiológica (21 enero 2020) Aviso Epidemiológico. Casos de infección respiratoria asociados a nuevo coronavirus (2019-nCoV). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/527027/AE-Nuevo_Coronavirus_2019_nCoV.pdf
6. Secretaría de Salud a través de la Unidad de Inteligencia Epidemiológica y Sanitaria https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/523554/APV-China-Neumonia_de_etiologia_desconocida.pdf
7. Secretaría de Salud, Comunicado de Prensa (23 de enero 2020) <https://www.gob.mx/salud/prensa/017-nuevo-coronavirus?idiom=es>
8. Secretaría de Salud (28 de febrero 2020) <https://www.gob.mx/salud/prensa/077-se-confirma-en-mexico-caso-importado-de-coronavirus-covid-19?idiom=es>
10. Secretaria de Salud (14 marzo 2020) <https://www.gob.mx/salud/prensa/presentan-salud-y-sep-medidas-de-prevencion-para-el-sector-educativo-nacional-por-covid-19?idiom=es>
11. Secretaría de Salud (24 de marzo 2020) <https://www.gob.mx/salud/prensa/095-inicia-fase-2-por-coronavirus-covid-19?idiom=es>
12. Secretaría de Salud (31 de marzo 2020) <https://www.gob.mx/salud/prensa/consejo-de-salubridad-general-declara-emergencia-sanitaria-nacional-a-epidemia-por-coronavirus-covid-19-239301?idiom=es>
13. Pirt SJ. (1975) Principles of microbe and cell cultivation. Blackwell Scientific Publications.
14. Doran PM (2013) Bioprocess Engineering Principles. 2nd Edition Academic Press.



MAESTRÍA EN BIOTECNOLOGÍA PRODUCTIVA UN POSGRADO CERCANO A LA INDUSTRIA EN MÉXICO

Ramírez-López, C. y Pérez-Cano, E.

Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada.
ExHacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla Km 1.5,
Tlaxcala C.P. 90700 México. caramirezl@ipn.mx

RESUMEN

La Biotecnología es una de las áreas del conocimiento científico que ha logrado una evolución más acelerada en las últimas décadas y una de las que mayor impacto ha tenido en el desarrollo de diversos sectores económicos. Contribuye con soluciones técnicas susceptibles de aplicación industrial, a la generación de procesos, productos o servicios; en particular los orientados al mejoramiento en salud, producción agrícola y pecuaria, prevención del deterioro y mejoramiento del medio ambiente. En este contexto, el Programa de Maestría en Biotecnología Productiva (MBP), es un programa creado para fortalecer la colaboración en Investigación, Desarrollo e Innovación (ID+I) entre los agentes del sistema Ciencia-Tecnología-Sector productivo. Con el objetivo de incentivar la participación de la industria en proyectos específicos, que faciliten la innovación en áreas biotecnológicas con proyección económica y comercial, a fin de impulsar la realización de proyectos de investigación industrial que incrementen la capacidad científico-tecnológica de las empresas.

Palabras clave: Biotecnología productiva, Vinculación, Industria

1. SURGIMIENTO Y PERTINENCIA DE LOS POSGRADOS CON LA INDUSTRIA

Los posgrados con la industria surgen de forma pertinente (Figura 1), a partir de una iniciativa



Figura 1. Pertinencia de los posgrados con la Industria (CONACyT, 2015).

impulsada por el CONACyT en el año 2012 ante los cambios sociales, culturales, tecnológicos y económicos que en esos momentos enfrentaba el país. Se caracterizan por la colaboración entre instituciones de educación superior y actores externos a ellas, específicamente empresas u organizaciones productivas interesados en proporcionar formación del más alto nivel a su personal y a otros profesionales, con influencia o impacto en sus áreas de Innovación y Desarrollo (CONACyT, 2015).

El programa de Maestría en Biotecnología Productiva es un programa que se imparte en el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA) a partir del 1º de agosto de 2012, tras ser autorizado por el Consejo General Consultivo mediante el acuerdo publicado en la Gaceta Politécnica (Figura 2), en su edición extraordinaria numero 947 bis Vol.14 del 31 de julio de 2012. Aprobándose en esa misma fecha la propuesta de plan y programa de estudios para ser impartido junto con la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI).



Figura 2. Gaceta Politécnica en la que se aprueba la Maestría en Biotecnología Productiva.

2. PLAN DE ESTUDIOS Y MODELO EDUCATIVO

La conformación del plan de estudios de la MBP se estableció partir de un ejercicio minucioso de encuestas realizadas al sector productivo, empresarial y académico. Los criterios de creación y/o modificación de estas asignaturas se basan en una retroalimentación como resultado de la interacción de los profesores con los grupos industriales vinculados al programa y las necesidades de los proyectos de investigación desarrollados por los profesores y sus estudiantes. Así mismo, conforme a las exigencias actuales y el impulso del IPN hacia la vanguardia en materia de educación, la impartición de las materias se realiza apoyados en el modelo de educación 4.0 el cual promueve la flexibilidad en el aprendizaje en términos de tiempo, espacio y contenidos de calidad. Lo cual implica retos en un esquema bajo el cual el estudiante apoyado en nuevas herramientas de aprendizaje adquiere conocimientos en forma presencial y a distancia, optimizando tiempos y aprovechando las bondades que ofrecen las tecnologías de la información y comunicación (TICs), basado en ambientes multiculturales y multidisciplinarios que desarrollan en él competencias como la creatividad, la resolución de problemas, comunicación asertiva y la innovación, con un alto compromiso social (Toro-González, 2019).

2.1 Formación de recursos humanos altamente especializados

El enfoque Industrial y las líneas de investigación que se desarrollan en el programa de Maestría en Biotecnología Productiva, son las principales razones que han expresado nuestros estudiantes al ingresar a este posgrado, pues reconocen que a través de su plan de estudios y la dinámica de trabajo con el sector productivo, desarrollarán capacidades que les permitan contribuir de manera acertada y objetiva con la autonomía científica y tecnológica en áreas afines a la Biotecnología que requiere nuestro país. A través de sus dos sedes (CIBA y UPIBI), el programa de MBP ha captado un total de 152 alumnos, los cuales proceden de diferentes instituciones tanto públicas como privadas, no sólo del país sino también del extranjero (Figura 3).

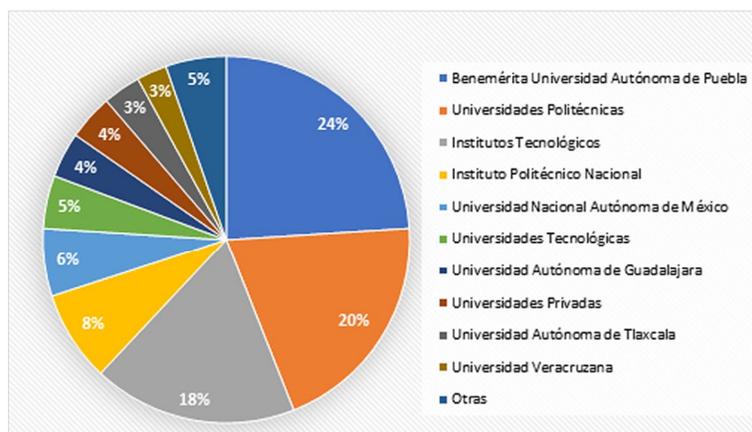


Figura 3. Instituciones de procedencia de los alumnos de la Maestría en Biotecnología Productiva.

A la fecha, se han graduado 87 estudiantes del programa de MBP, con una tasa de graduación que oscila entre el 60% y el 100%. Si bien las cifras son importantes, lo más destacable es que durante su formación, nuestros estudiantes han ampliado su capacidad de respuesta al ser expuestos a escenarios reales de trabajo en las empresas proponentes. Tras haber concluido, estos nuevos Maestros en Ciencias nos comparten sus logros y éxitos profesionales, a través de una encuesta interna de seguimiento de egresados (datos no publicados), de la misma podemos resumir que más del 15% ingresó a algún programa de Doctorado, alrededor del 40% realiza actividades docentes, un 5% fundó su propia empresa, mientras que un 35% se desempeña como asesor de investigación en algún área afín a la biotecnología en el sector público o privado.

2.2 Movilidad Académica

El reconocimiento del Programa de Maestría en el PNPC (2012 al 2016), propició que los estudiantes contaran con la oportunidad de realizar estancias académicas en instituciones nacionales y extranjeras, en el periodo comprendido de enero de 2014 al 31 de mayo de 2018. Entre las Universidades más destacadas se encuentran: la Universidad de Alberta y la Universidad de Columbia Británica, en Canadá; el Centro de Bioquímica Avanzada en Reino Unido; la Universidad de Ghent en Bélgica; las Universidades de Nueva Jersey, Idaho, Washington, y Florida en EUA; el Instituto Leibniz para la Investigación de Productos Naturales y Biología de Infecciones en Alemania. Dicha movilidad fomentó el ejercicio académico y fortaleció

habilidades de idioma de nuestros estudiantes en puntos estratégicos de reconocimiento internacional. La movilidad a nivel Nacional contó con la colaboración de investigadores de instituciones como: la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Universidad Metropolitana, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Departamento de Bioquímica, Facultad de Medicina, UNAM; Instituto Mexicano del Petróleo y el INIFAP Campus San Martinito. Pero sin duda, una de las experiencias más enriquecedoras para nuestros estudiantes fue el haber tenido la oportunidad de incorporarse a los equipos de trabajo en áreas de investigación de las empresas participantes en el programa: Sigma Alimentos, Nutrilite, Nutek, Agroenzimas, Enmex, Metco, Laboratorios LEI, Grupo Rosmar, Biofertilizantes Mexicanos, Alteca, Kraft Food, Corporativo Marort, Producción Genética Agropecuaria de México, entre otras.

2.3 Cuerpo académico y líneas de investigación

El Cuerpo Académico del programa de la Maestría en Biotecnología Productiva está conformado por investigadores multidisciplinarios en el campo de la Biotecnología que permite el desarrollo de proyectos con una visión muy clara hacia la aplicación e innovación tecnológica. La participación de los profesores y estudiantes del programa de Maestría en Biotecnología Productiva está relacionada con el sector atendido. Para lo cual se han establecido las líneas de investigación que den respuesta a necesidades específicas:

- Biotecnología Ambiental
- Biotecnología Agrícola
- Biotecnología Alimentaria
- Bioprocesos

2.4 Vinculación para el fortalecimiento de la infraestructura del programa

El CIBA es reconocido como un promotor de la vinculación dentro del IPN, está orientado a la transformación y mejora de la agroindustria. El programa de Maestría en Biotecnología Productiva opera sobre la base de convenios entre las instituciones académicas y empresas participantes, en el que se contemplan diversos aspectos como: temas o proyectos propuestos; trabajo experimental en plantas

y laboratorios, ya sea académicos, empresariales o de ambos; costos asociados al programa de posgrado y/o movilidad según sea el caso; compromisos de las partes; entre otros. La incorporación de especialistas de la industria es necesaria para reforzar la docencia, investigación y vinculación, con el fin de optimizar el uso de infraestructura y el talento en acciones conjuntas. Al respecto, el programa de MBP además contar con un experimentado Núcleo Básico Académico, cuenta con el respaldo de un nutrido grupo de expertos conformado por más de 30 especialistas tanto de la industria (Laboratorios LEI, Sigma Alimentos, Química Rosmar, Metco, Nutravia, etc.), como de otras instituciones nacionales (CINVESTAV, CIATEJ, UAG, UNAM, BUAP, UDLAP, COLPOS, entre otras) y extranjeras (Universidad de Idaho), quienes aportan su reconocida experiencia al programa. Este acercamiento y clima de confianza genera un ambiente de cooperación, entre la institución y la Industria, compartiendo la responsabilidad del programa, desde el diseño del plan de estudios hasta el financiamiento y la evaluación de sus resultados e impactos. Específicamente, la vinculación desarrollada en el marco del programa de Maestría en Biotecnología Productiva ha involucrado la participación de más de 53 empresas con presencia en diferentes estados del país (Figura 4).

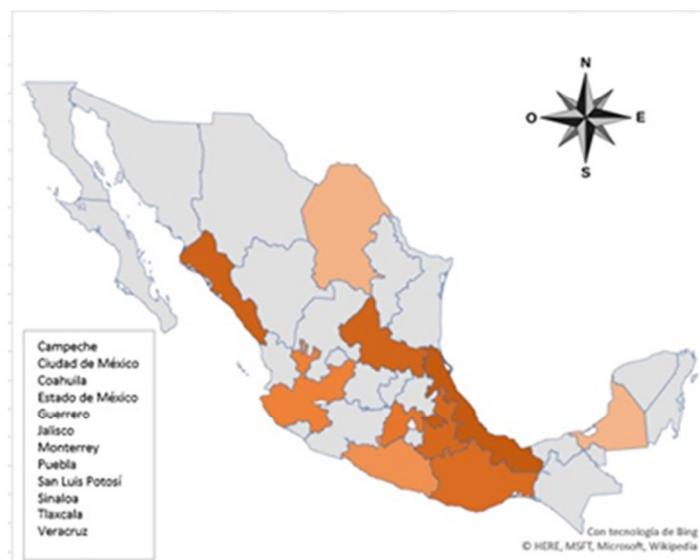


Figura 4. Cobertura en Vinculación de la Maestría en Biotecnología Productiva

La participación de estas empresas en el posgrado es dinámica y se contempla desde el inicio de un proyecto de tesis, al definirse por consenso y mutuo acuerdo

cuál será el tema que atenderá las necesidades expresadas por la misma. Esta colaboración empresa-academia-alumno se formaliza mediante el convenio tripartita y su anexo único, en el cual se mencionan las actividades a realizar y reportar, así como los participantes de la empresa encargados de recibir y verificar el cumplimiento de dichos compromisos. De esta manera, diversos proyectos han hecho posible la construcción de una planta piloto en el CIBA y el equipamiento de esta para realizar bioseparaciones y destilaciones a nivel piloto, lo que permite una interfase de los laboratorios académicos con la industria. Cuenta además con una infraestructura sólida la cual consta de: laboratorios de análisis especializado, alrededor de siete aulas, áreas de invernadero, biblioteca con acervo físico y electrónico, área de estudio y un auditorio. También los estudiantes pueden acceder a los laboratorios y/o campos experimentales de las empresas para el desarrollo de sus tesis.



Figura 5. Planta piloto – CIBA Tlaxcala

2.5 Productos de investigación tecnológica generados

El CIBA y UPIBI cuentan con una planta docente y de investigación con experiencia de desarrollo tecnológico conjunto academia-empresa. Desde el año 2000 se han generado proyectos de colaboración vinculados con el sector productivo con pequeños productores y grandes empresas, que han derivado en; diez patentes, una transferencia de tecnología y al menos 3 contratos de licenciamiento de patentes en las ramas de la Agroindustria y Alimentos, principalmente.

En la Tabla 1, se muestra la recopilación de datos de productividad del cuerpo académico de 2012 al 2019.

Tabla 1. Productividad del Núcleo Académico Básico (NAB).

Productos	Cantidad
No. de Proyectos vinculados con empresas ¹	88
Desarrollos tecnológicos ¹	1
Patentes otorgadas ¹	6
Patentes en trámite ¹	5
Licenciamiento de patentes ¹	3
Artículos ²	116
Libros ²	11
Capítulos de libro ²	15
Participación en congresos ²	166

Fuentes: 1. Subdirección de vinculación CIBA, 2019;
2. Reporte Plataforma PNPC CONACyT, 2019.

Proyectos destacables asociados a la formación de recursos humanos de la Maestría en Biotecnología Productiva (Profesor responsable/Alumno participante):

- 2012. Nutek S.A de C.V. “Desarrollo de un inóculo microbiológico para su aplicación en ensilados de maíz forrajero”. M. en C. Guillermo Cruz Nicolás/María de los Ángeles César Bárcenas.
- 2013. Sigma Alimentos Noreste S.A de C.V. “Desarrollo de un proceso con alto nivel de innovación para mejorar las propiedades funcionales de las proteínas séricas de la leche mediante sistemas de biotecnología enzimática, procesos de entrecruzamiento y/o copolimerización”. Dr. Sergio Rubén Trejo Estrada y Dra. Oxana Lazo Zamalloa/Cherry Ibarra Romero.
- 2014. Alteca S.A. de C.V. “Desarrollo de tecnologías de extracción, estabilización y purificación de pigmentos de grado alimenticio a partir de productos naturales”. Dr. Erik Ocaranza Sánchez/Sulem Yali Granados Balbuena.

• 2015. Metco S.A. de C.V. “Desarrollo y estabilización fisicoquímica y microbiológica de azúcares de granulometría controlada”. M. en T.A. Karla Nallely Rivera Hernández/Adrian Alfonso Castillo Dia.

• 2016. Agroaltamira Ometepec S.C. de R.L. de C.V. “Diseño de encapsulados enzimáticos y probióticos mineralizados como aditivo funcional de alimentos forrajeros”. Responsable técnico: Dr. Víctor Eric López y López; Alumno asociado: Carlos Hernández Barranco.

• 2017. Café Tostado de Exportación S.A. de C.V. “Determinación de carbohidratos libres y totales de los granos de café y su importancia en la calidad de café soluble”. Dr. Miguel Ángel Plascencia Espinosa/Maria Alberta Candia Cogco.

• 2018. Nutrilite S.R.L. de C.V. “Desarrollo de un proceso enzimático para la obtención de dextrinas a partir de almidón de camote (*Ipomoea batatas*)”. Dra, María Reyna Robles López/Amelia Teresa Silva Cárdenas.

• 2019. Miel Arcoiris S. de P.R. de R.L. “Caracterización de compuestos antimicrobianos contra *Melissococcus Plutonius* producidos por cepas microbianas aisladas de colmenas”. M. en T.A. Marisol Sánchez Esgua/Kermin Dayan Peña Santoyo.

3. CONCLUSIONES

México enfrenta grandes problemas nacionales cuya solución requiere el uso responsable del conocimiento científico y tecnológico, y la participación concertada de todos los sectores. Por lo tanto, se requiere una cooperación estrecha entre actores sociales con

intereses diversos pero convergentes. El programa de Maestría en Biotecnología Productiva al incorporar el desarrollo de competencias para la investigación se ha tornado cada vez más en instrumento para favorecer la formación de profesionales de alto nivel capaces de identificar, definir y resolver problemas, así como generar oportunidades de innovación en un vasto espectro de áreas y aplicaciones. Sólo de esta manera es posible contribuir al fortalecimiento de la competitividad y productividad de las empresas mediante la formación de recursos humanos de alto nivel aptos para aplicar el conocimiento, desarrollar soluciones tecnológicas y con capacidad de innovar y de convertirse en los interlocutores entre la industria y la academia.

4. REFERENCIAS

1. CONACyT. 2015. Marco de referencia de Posgrados con la Industria versión 6.0.
2. CONACyT, 2019. Portal de Aplicaciones CONACyT, Plataforma Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC).
3. Gaceta Politécnica. 2012. 31 julio 2012, Número extraordinario 947 Bis, Vol 14.
4. Trejo-Estrada, S.R. y Ramírez-López, C. 2012. Situación Nacional de la Biotecnología y su Factibilidad de Desarrollo. Instituto Politécnico Nacional. ISBN: 978-607-414-329-4.
5. Toro-González, Jorge. Educación 4.0. 2019. Revista *Conversus* No.137, pp. 13.



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