

# Bioteecnología en MOVIMIENTO

REVISTA DE DIVULGACIÓN DEL INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNAM

## Bioteecnología prehispanica en Mesoamérica

Disponible en [www.ibt.unam.mx](http://www.ibt.unam.mx)



Bioteecnología y color en el mundo prehispanico

El cuezcomate: granero milenario que destella sabiduría tradicional

La inventiva de nuestros antepasados y los fermentados de maíz

¿Probióticos en el pulque?

Alga espirulina: de Tenochtitlan a Sosa Texcoco

La metagenómica del queso Cotija



Instituto de Bioteecnología

MÁS DE 100 ARTÍCULOS  
DISPONIBLES  
GRATUITAMENTE EN  
INTERNET PARA SU  
CONSULTA

# Si te gusta la biotecnología



## Revisa el contenido de nuestras secciones de números previos



### GENERANDO CONOCIMIENTO EN EL IBt

Una selección de resúmenes de publicaciones recientes del IBt, con la intención de dar una idea del panorama del trabajo experimental que hacen los investigadores y los estudiantes de nuestro instituto.



### RECONOCIMIENTOS A LOS MIEMBROS DE NUESTRA COMUNIDAD

Describe algunos de los reconocimientos más notables que nuestra comunidad ha recibido recientemente.



### PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE NUESTROS ESTUDIANTES

Reseña algunos trabajos con los que se graduaron recientemente estudiantes del IBt.



### PROPIEDAD INTELECTUAL, TECNOLOGÍA Y EMPRESA

Experiencias del IBt e invitados sobre emprendimiento de base científica, la creación de nuevas empresas, así como la protección intelectual del conocimiento generado.



### UNIDADES Y LABORATORIOS QUE APOYAN A LA INVESTIGACIÓN Y A LA INDUSTRIA

El IBt cuenta con seis unidades y cinco laboratorios, de carácter universitario o nacional. En esta sección, los académicos adscritos a las unidades/laboratorios comparten sus experiencias en el trabajo cotidiano.

### CURSOS Y TÓPICOS SELECTOS EN EL IBt



Describe brevemente el contenido de alguno de los 25 cursos, tanto básicos como diferentes "tópicos selectos" para estudiantes de posgrado, que se ofrecen regularmente en el IBt.



### EN LA VOZ DE NUESTROS EX-ALUMNOS

Experiencias de los ex-alumnos del IBt que contribuyen a la ciencia, la tecnología, la educación y el desarrollo empresarial, tanto en el país como en el extranjero.



### HISTORIAS DE NUESTRA COMUNIDAD

Experiencias de interés general de los miembros de nuestra comunidad.



### CIENCIA Y CULTURA

Colaboraciones de miembros de la comunidad del IBt e invitados, interesados en compartir sus lecturas e intereses en la ciencia y la cultura.



### VIAJES BIOTECNOLÓGICOS

Presenta temas actuales de interés general.

Puedes contratar anuncios en *Biotecnología en Movimiento* que cuenta con más de 10, 000 visitas mensuales.

Informes:

Secretaría de Vinculación

(52 777) 329 1777 Ext. 38122

biotecmov@ibt.unam.mx

## DIRECTORIO

### UNAM

#### RECTOR

Dr. Enrique Luis Graue Wiechers

#### SECRETARIO GENERAL

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas

#### SECRETARIO ADMINISTRATIVO

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez

#### SECRETARIO DE DESARROLLO INSTITUCIONAL

Dr. Alberto Ken Oyama Nakagawa

#### SECRETARIO DE ATENCIÓN

#### A LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA

Dr. César I. Astudillo Reyes

#### ABOGADA GENERAL

Dra. Mónica González Contró

#### COORDINADOR DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Dr. William Henry Lee Alardín

#### DIRECTOR GENERAL DE COMUNICACIÓN SOCIAL

Lic. Néstor Martínez Cristo

### IBt

#### DIRECTOR

Dr. Octavio Tonatiuh Ramírez Reivich

#### SECRETARIO ACADÉMICO

Dr. Enrique Rudiño Piñera

#### SECRETARIO DE VINCULACIÓN

Dr. Enrique Galindo Fentanes

#### SECRETARIO ADMINISTRATIVO

C.P. Francisco Arcos Millán

#### COORDINADOR DE INFRAESTRUCTURA

Dr. Gerardo Corzo Burguete

#### JEFES DE DEPARTAMENTO

##### BIOLOGÍA MOLECULAR DE PLANTAS

Dr. Luis Cárdenas Torres

##### GENÉTICA DEL DESARROLLO Y FISIOLÓGIA MOLECULAR

Dr. Alberto Darszon Israel

##### INGENIERÍA CELULAR Y BIOCÁTALISIS

Dra. Gloria Saab Rincón

##### MEDICINA MOLECULAR Y BIOPROCESOS

Dra. Leonor Pérez Martínez

##### MICROBIOLOGÍA MOLECULAR

Dra. Guadalupe Espín Ocampo

#### EDITOR

Dr. Enrique Galindo Fentanes

galindo@ibt.unam.mx

#### EDITORA EJECUTIVA

Dra. Georgina Ponce Romero

geop@ibt.unam.mx

#### COMITÉ EDITORIAL

Dra. Claudia Martínez Anaya

Dra. Martha Pedraza Escalona

Dr. Fernando Lledías Martínez

Dr. José Luis Reyes Taboada

Dr. Enrique Reynaud Garza

Dr. Adán Guerrero Cárdenas

Dr. Carlos Peña Malacara

Dr. Edmundo Calva Mercado

M.C. Blanca Ramos Cerrillo

M.C. Joaquín Ramírez Ramírez

Biotecnología en Movimiento, año 2, No. 9, publicación trimestral, editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Col. Universidad Nacional Autónoma de México, C.U. Delegación Coyoacán C.P. 04510, a través del Instituto de Biotecnología, Av. Universidad 2001, Col. Chamilpa, C.P. 62210, Cuernavaca, Mor., Tel. 3291771. Liga electrónica [www.ibt.unam.mx](http://www.ibt.unam.mx), correo electrónico [biotecmov@ibt.unam.mx](mailto:biotecmov@ibt.unam.mx). Editores responsables Enrique Galindo y Georgina Ponce. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2015-06 1212170800-203 otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización Dr. Gabriel Corkidi. Av. Universidad 2001, Col. Chamilpa, C.P. 62210, 6 de junio, 2017.

#### FOTOGRAFÍA

Colaboración especial de Archivos Compartidos UAEM-3Ríos.

Fotografías de Ernesto Ríos Lanz, Adalberto Ríos Szalay y

Adalberto Ríos Lanz.

Sergio Trujillo Jiménez

#### APOYO ADMINISTRATIVO

Mayra Gómez Miranda y Yuriney Abonza Amaro

#### DISEÑO EDITORIAL E ILUSTRACIÓN

Presentación de este número especial 2



Investigación sobre el queso Cotija,  
Premio Nacional de Ciencia y Tecnología  
de Alimentos 2016 4



Notas sobre la biotecnología  
prehispanica en Mesoamérica 7



Biotecnología y color en el mundo prehispanico 11



El cuezcomate, granero milenario  
que destella sabiduría tradicional 17



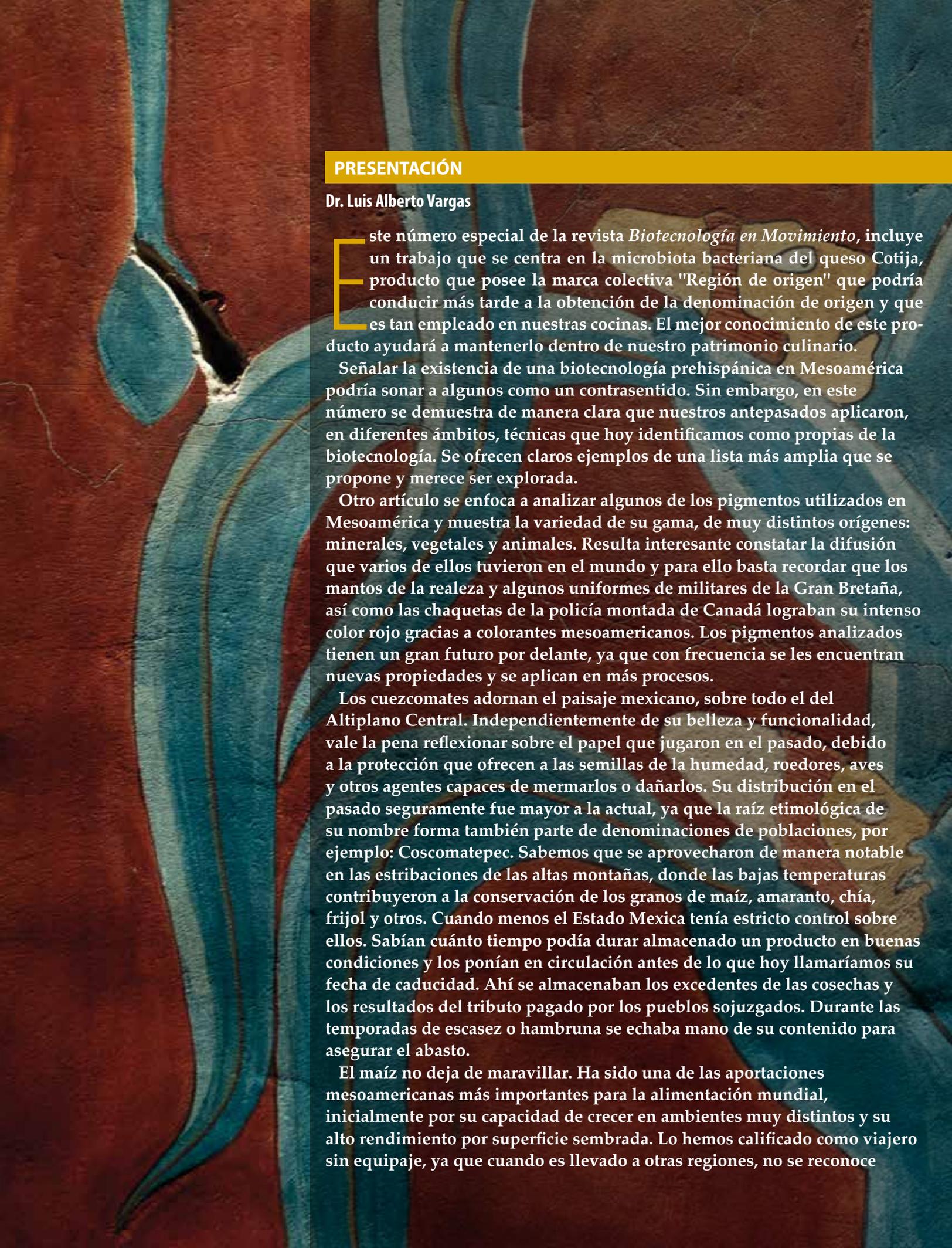
La inventiva de nuestros antepasados  
y los fermentados de maíz 22



¿Probióticos en el pulque? 26



Alga espirulina: de Tenochtitlan a Sosa Texcoco 30



## PRESENTACIÓN

Dr. Luis Alberto Vargas

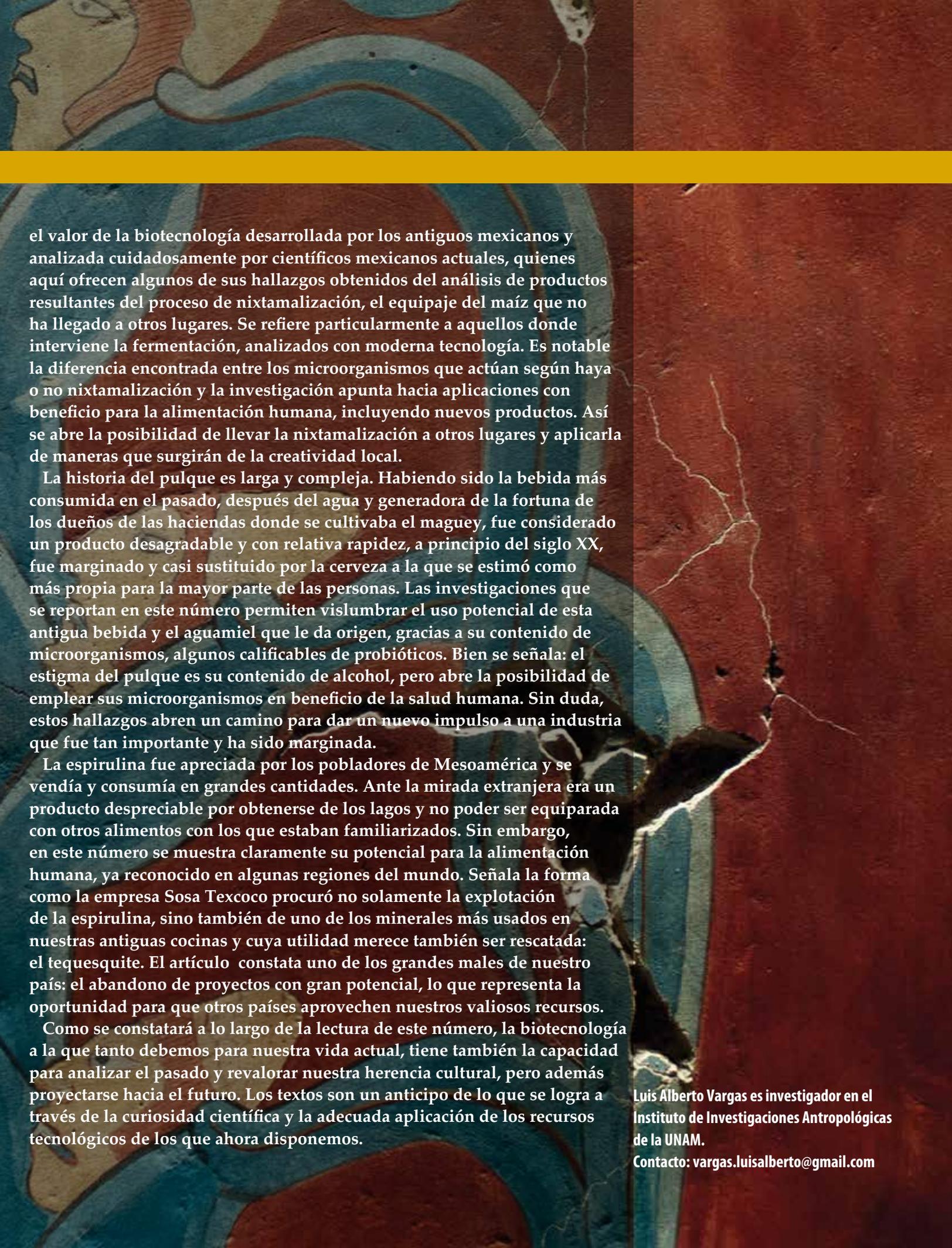
Este número especial de la revista *Biotecnología en Movimiento*, incluye un trabajo que se centra en la microbiota bacteriana del queso Cotija, producto que posee la marca colectiva "Región de origen" que podría conducir más tarde a la obtención de la denominación de origen y que es tan empleado en nuestras cocinas. El mejor conocimiento de este producto ayudará a mantenerlo dentro de nuestro patrimonio culinario.

Señalar la existencia de una biotecnología prehispánica en Mesoamérica podría sonar a algunos como un contrasentido. Sin embargo, en este número se demuestra de manera clara que nuestros antepasados aplicaron, en diferentes ámbitos, técnicas que hoy identificamos como propias de la biotecnología. Se ofrecen claros ejemplos de una lista más amplia que se propone y merece ser explorada.

Otro artículo se enfoca a analizar algunos de los pigmentos utilizados en Mesoamérica y muestra la variedad de su gama, de muy distintos orígenes: minerales, vegetales y animales. Resulta interesante constatar la difusión que varios de ellos tuvieron en el mundo y para ello basta recordar que los mantos de la realeza y algunos uniformes de militares de la Gran Bretaña, así como las chaquetas de la policía montada de Canadá lograban su intenso color rojo gracias a colorantes mesoamericanos. Los pigmentos analizados tienen un gran futuro por delante, ya que con frecuencia se les encuentran nuevas propiedades y se aplican en más procesos.

Los cuezcomates adornan el paisaje mexicano, sobre todo el del Altiplano Central. Independientemente de su belleza y funcionalidad, vale la pena reflexionar sobre el papel que jugaron en el pasado, debido a la protección que ofrecen a las semillas de la humedad, roedores, aves y otros agentes capaces de mermarlos o dañarlos. Su distribución en el pasado seguramente fue mayor a la actual, ya que la raíz etimológica de su nombre forma también parte de denominaciones de poblaciones, por ejemplo: Coscomatepec. Sabemos que se aprovecharon de manera notable en las estribaciones de las altas montañas, donde las bajas temperaturas contribuyeron a la conservación de los granos de maíz, amaranto, chía, frijol y otros. Cuando menos el Estado Mexica tenía estricto control sobre ellos. Sabían cuánto tiempo podía durar almacenado un producto en buenas condiciones y los ponían en circulación antes de lo que hoy llamaríamos su fecha de caducidad. Ahí se almacenaban los excedentes de las cosechas y los resultados del tributo pagado por los pueblos sojuzgados. Durante las temporadas de escasez o hambruna se echaba mano de su contenido para asegurar el abasto.

El maíz no deja de maravillar. Ha sido una de las aportaciones mesoamericanas más importantes para la alimentación mundial, inicialmente por su capacidad de crecer en ambientes muy distintos y su alto rendimiento por superficie sembrada. Lo hemos calificado como viajero sin equipaje, ya que cuando es llevado a otras regiones, no se reconoce



el valor de la biotecnología desarrollada por los antiguos mexicanos y analizada cuidadosamente por científicos mexicanos actuales, quienes aquí ofrecen algunos de sus hallazgos obtenidos del análisis de productos resultantes del proceso de nixtamalización, el equipaje del maíz que no ha llegado a otros lugares. Se refiere particularmente a aquellos donde interviene la fermentación, analizados con moderna tecnología. Es notable la diferencia encontrada entre los microorganismos que actúan según haya o no nixtamalización y la investigación apunta hacia aplicaciones con beneficio para la alimentación humana, incluyendo nuevos productos. Así se abre la posibilidad de llevar la nixtamalización a otros lugares y aplicarla de maneras que surgirán de la creatividad local.

La historia del pulque es larga y compleja. Habiendo sido la bebida más consumida en el pasado, después del agua y generadora de la fortuna de los dueños de las haciendas donde se cultivaba el maguey, fue considerado un producto desagradable y con relativa rapidez, a principio del siglo XX, fue marginado y casi sustituido por la cerveza a la que se estimó como más propia para la mayor parte de las personas. Las investigaciones que se reportan en este número permiten vislumbrar el uso potencial de esta antigua bebida y el aguamiel que le da origen, gracias a su contenido de microorganismos, algunos calificables de probióticos. Bien se señala: el estigma del pulque es su contenido de alcohol, pero abre la posibilidad de emplear sus microorganismos en beneficio de la salud humana. Sin duda, estos hallazgos abren un camino para dar un nuevo impulso a una industria que fue tan importante y ha sido marginada.

La espirulina fue apreciada por los pobladores de Mesoamérica y se vendía y consumía en grandes cantidades. Ante la mirada extranjera era un producto despreciable por obtenerse de los lagos y no poder ser equiparada con otros alimentos con los que estaban familiarizados. Sin embargo, en este número se muestra claramente su potencial para la alimentación humana, ya reconocido en algunas regiones del mundo. Señala la forma como la empresa Sosa Texcoco procuró no solamente la explotación de la espirulina, sino también de uno de los minerales más usados en nuestras antiguas cocinas y cuya utilidad merece también ser rescatada: el tequesquite. El artículo constata uno de los grandes males de nuestro país: el abandono de proyectos con gran potencial, lo que representa la oportunidad para que otros países aprovechen nuestros valiosos recursos.

Como se constatará a lo largo de la lectura de este número, la biotecnología a la que tanto debemos para nuestra vida actual, tiene también la capacidad para analizar el pasado y revalorar nuestra herencia cultural, pero además proyectarse hacia el futuro. Los textos son un anticipo de lo que se logra a través de la curiosidad científica y la adecuada aplicación de los recursos tecnológicos de los que ahora disponemos.

Luis Alberto Vargas es investigador en el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM.

Contacto: [vargas.luisalberto@gmail.com](mailto:vargas.luisalberto@gmail.com)

---

# Dr. Alejandro Sánchez Flores

PREMIO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS 2016,  
POR INVESTIGACIÓN SOBRE EL QUESO COTIJA

---

Dra. Martha Pedraza Escalona

Una vez terminado sus estudios doctorales realizó una estancia posdoctoral, también en el IBt, trabajando en un proyecto para determinar el genoma de *Taenia solium*, utilizando la plataforma de secuenciación tipo Sanger y la novedosa tecnología de secuenciación masiva llamada "454". Esto implicó dominar la reconstrucción de genomas a partir de dos plataformas distintas con características diferentes, algo que en ese entonces sólo algunas personas en el mundo realizaban



**D**urante la celebración del cuadragésimo aniversario del Premio Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos, patrocinado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y la Industria Mexicana de Coca-Cola, fue otorgado este reconocimiento en la categoría Profesional en Ciencia de Alimentos a los Dres. Alejandro Sánchez Flores, Grisel Alejandra Escobar Zepeida y Maricarmen Quirasco Baruch por el tema "Microbiota bacteriana única del queso cotija y su potencial metabólico, revelados mediante metagenómica". El Dr. Alejandro Sánchez Flores es actualmente el responsable de la Unidad Universitaria de Secuenciación Masiva y Bioinformática de nuestro Instituto.

## Un hombre práctico

Cuando Alejandro era niño, la mayoría de las materias que tomaba en la escuela le parecían muy fáciles, pero la biología era la única que ofrecía un reto mayor, debido a que en todos los rubros de su estudio siempre existen excepciones. Sin embargo, su padre le recomendó no estudiar dicha carrera, por lo cual en su momento decidió entrar a la licenciatura en Investigación Biomédica Básica en el Instituto del mismo nombre dentro de la UNAM y comenzar una carrera científica. Al final de la carrera, su trabajo de tesis de Licenciatura lo realizó en el Instituto de Biotecnología de la UNAM bajo la dirección de la Dra. Brenda Valderrama. Después de ese tiempo de formación, decidió realizar un doctorado con



Archivos Compartidos UAEM-3Rios

un tema relacionado con el uso de las computadoras para responder preguntas biológicas, por lo cual se inició en el campo de la bioinformática. Esta área no tenía mucho desarrollo en ese entonces, por lo que fue un proceso autodidacta donde tuvo que aprender a programar y a usar herramientas computacionales por su cuenta.

Durante su doctorado en Ciencias Bioquímicas en el IBt bajo la asesoría del Dr. Lorenzo Segovia, realizó algoritmos para predecir la estructura terciaria de proteínas a partir sólo de la secuencia de aminoácidos. Una vez terminado sus estudios doctorales realizó una estancia posdoctoral, también en el IBt, trabajando en un proyecto para determinar el genoma de *Taenia solium*, utilizando la plataforma de secuenciación tipo Sanger y la novedosa tecnología de secuenciación masiva llamada "454". Esto implicó dominar la reconstrucción de genomas a partir de dos plataformas distintas con características diferentes, algo que en ese entonces sólo algunas personas en el mundo realizaban. Debido a lo interesante de su análisis y resultados, el Dr. Matt Berriman, investigador del Instituto Sanger en Cambridge, Reino Unido y uno de los miembros del comité evaluador del proyecto del genoma de *T. solium*, lo invitó a trabajar al Instituto Sanger para desarrollar el análisis de ensamblaje de genomas de otros helmintos (gusanos parásitos del tubo digestivo de los vertebrados). Su contratación no fue tan sencilla, ya que Alejandro entró a la convocatoria de trabajo con todos los competidores a nivel internacional y, aunque fue seleccionado para obtener el tra-

bajo, hubo que justificar el por qué no se le daba a algún investigador británico o perteneciente a la comunidad europea. Tiempo después, Alejandro declinó un trabajo permanente en el Instituto Sanger para regresar a México.

### Todo por la bioinformática en México

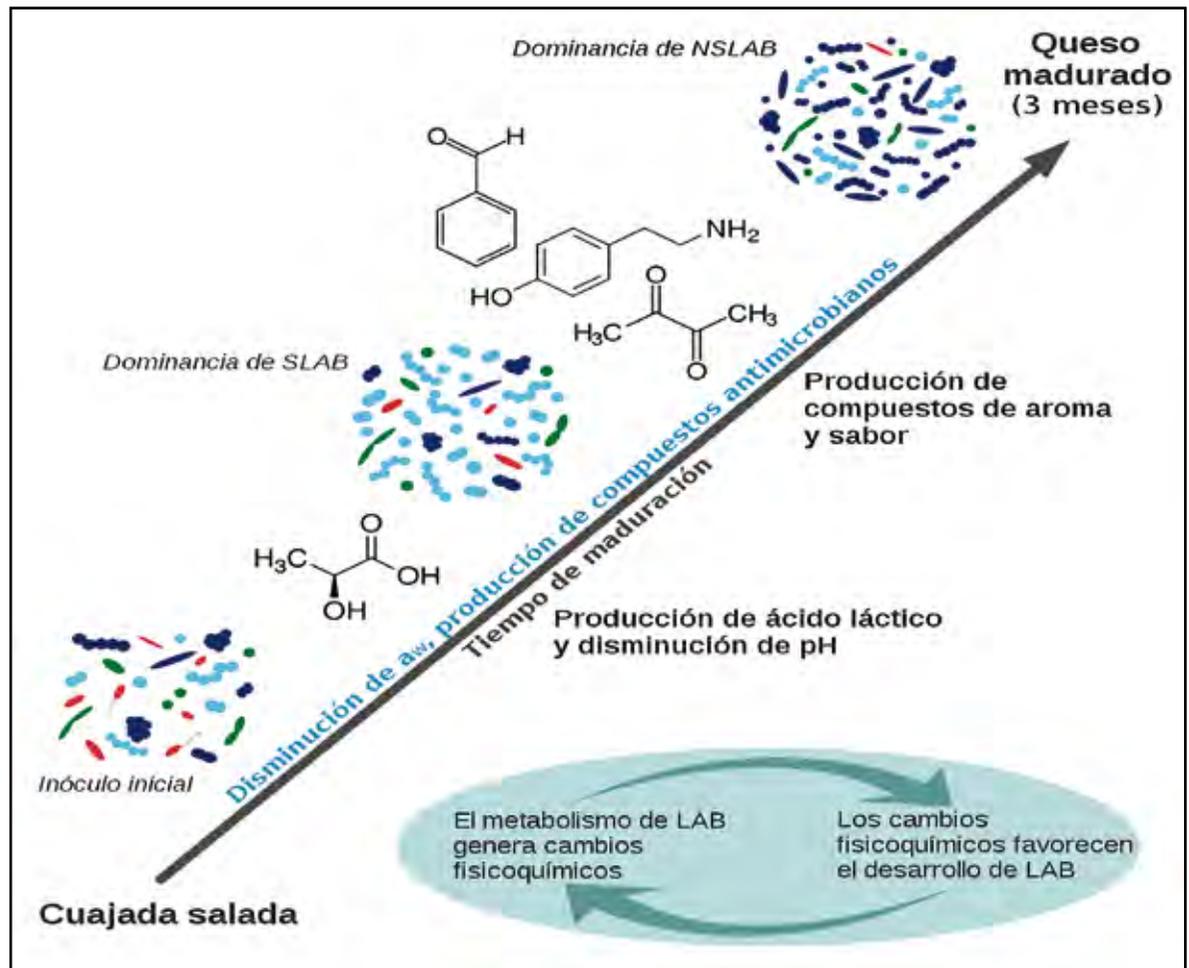
Alejandro regresó a nuestro país con un objetivo claro: colaborar con la ciencia en México, formando personal altamente calificado y enseñando a las nuevas generaciones las bondades de la Bioinformática y de la Genómica. Esta oportunidad la tuvo al iniciar la Unidad Universitaria de Apoyo Bioinformático dentro de nuestro Instituto, conformada por un grupo de trabajo dedicado y apasionado, el cual brinda servicios a grupos e instituciones académicas, tanto nacionales como internacionales, que incluyen asesoría desde el planteamiento del problema hasta ayuda en el análisis de la secuenciación masiva utilizando diversas plataformas y desarrollando soluciones específicas para diferentes proyectos de investigación. Dentro de este campo ha publicado más de treinta artículos en revistas de muy alto impacto como *Nature*, *Nature Protocols* y *Nature Review Microbiology*, además de ser miembro de la Academia de Ciencias de Morelos. Desafortunadamente, no todo es miel sobre hojuelas, su pequeña niña sufre una dermatitis atópica que sólo se desarrolla en ambientes como el que tiene Cuernavaca, por lo cual debe trabajar lejos de sus seres queridos, aunque espera en un futuro poder remediar este distanciamiento.

---

Ha publicado más de treinta artículos en revistas de muy alto impacto como *Nature*, *Nature Protocols* y *Nature Review Microbiology*, además de ser miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

---

El queso Cotija contiene cerca de 500 géneros bacterianos, pero sólo cuatro son muy abundantes al cabo de los 3 meses del proceso de maduración



## El queso Cotija

La ventaja de estar en contacto con los problemas de otros investigadores le permitió colaborar con la Dra. Maricarmen Quirasco, quien siempre había querido conocer y aislar las bacterias del queso Cotija. El queso de la región de Cotija se elabora desde hace más de 400 años de manera artesanal en la sierra de Jalisco y Michoacán utilizando leche de vaca no pasteurizada y sal de mar, en un proceso de fermentación sin inóculo bacteriano y que después de tres meses de maduración se obtiene un producto totalmente inocuo y benéfico para el consumo humano. Este queso es diferente a otros quesos y a pesar de ser elaborado con leche bronca (no pasteurizada) no se contamina con patógenos como *Salmonella* y *Listeria*. Por esta razón el grupo de trabajo ganador del Premio Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos 2016, determinaron las poblaciones bacterianas implicadas en los procesos de fermentación y maduración, utilizando el ADN bacteriano mediante estudios de metagenómica (estudio de los organismos presentes en una muestra compleja a través del análisis del ADN total de la muestra). Además dilucidaron cómo se previene el crecimiento de bacterias patógenas en el queso Cotija. Encontraron que el queso

Cotija contiene cerca de 500 géneros bacterianos, pero sólo cuatro son muy abundantes al cabo de los 3 meses del proceso de maduración. Durante el proceso de fermentación, varios de estos géneros se encargan de producir ácido láctico, incrementando la acidez del queso e inhibiendo el crecimiento de bacterias patógenas. Además, hallaron la presencia de un "armamento" compuesto por cuatro familias de bacteriocinas (moléculas similares a los antibióticos producidos por hongos, que son inocuas para el humano) presentes en algunas bacterias, y de mecanismos de defensa contra estas moléculas, insertados en todos los géneros bacterianos de la "comunidad Cotija". Esto abre la posibilidad a un campo de aplicaciones para las bacterias encontradas en este estudio, desde su uso como probióticos hasta para el desarrollo de antibióticos, pero sobre todo demuestra científicamente que este producto orgullosamente mexicano, es inocuo y puede ser consumido sin riesgos, lo que permitiría su exportación a pesar de no ser un producto pasteurizado. Pudiera además, ser la base de normas que lleven a los productores a la obtención de alguna denominación de origen, con lo que se aumentaría el valor agregado del producto y la producción del mismo.

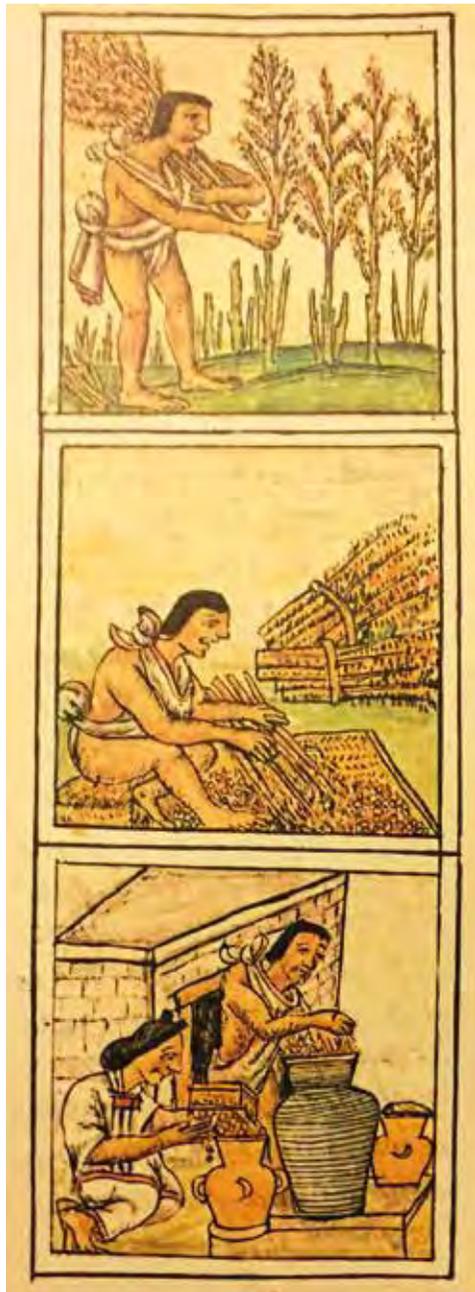
Contacto: alexsf@ibt.unam.mx

El trabajo ganador fue publicado originalmente en el siguiente artículo científico: Escobar-Zepeda, A. Sanchez-Flores, A. Quirasco-Baruch, M. (2016), Metagenomic analysis of a Mexican ripened cheese reveals a unique complex microbiota. *Food Microbiology*, 57:116-127.

# Notas sobre la biotecnología prehispánica en Mesoamérica

Dr. Alfonso Larqué Saavedra

Códice Florentino



Códice Florentino



Con base en la definición de biotecnología que se encuentra en la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente de nuestro país (1), dice que la Biotecnología es “toda aplicación tecnológica que utiliza sistemas biológicos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos”, y en el Convenio de Diversidad Biológica de Río (2), fue de interés conocer si existían este tipo de tecnologías en Mesoamérica antes del descubrimiento de América el 12 de Octubre de 1492.

Para hacer esta tarea se revisó una buena parte de la vastísima información que se encuentra reportada, de la interpretación que los estudiosos han hecho de los códices, estelas, cerámica, etc. Fue así como se pudo aprender que existían muy pocos códices prehispánicos, porque la mayoría fueron destruidos por los conquistadores. Ante la falta de documentos prehispánicos también se leyeron documentos escritos 25 o más años después de la conquista, como son el llamado códice de la Cruz-Badiano (1552), el Códice Florentino y la *Historia General de las Cosas de la Nueva España*, que Fray Bernardino de Sahagún terminó de escribir en la década de los 1570.

Con base en la revisión realizada se pudo documentar que las culturas mesoamericanas efectivamente habían consolidado “biotecnologías” que seguramente fueron importantes y ayudaron a que estas culturas fueran tan prósperas (3). Se enlistaron en principio las primeras siete tecnologías que se consideraron

Curación y secado de hojas del tabaco



Código de la Cruz-Badiano



podrían ser las iniciadoras del núcleo fundador. Estas son:

1. Las referentes a las enzimas como el caso de la papaína,
2. El manejo de polímeros, específicamente elastómeros, para la elaboración de la pelota del famoso juego ancestral,
3. La obtención y procesamiento de pigmentos a partir de la biota,
4. El proceso de la fermentación, de jugos como el aguamiel o de frutos como el cacao y la vainilla,
5. El proceso de remoción del pericarpio del grano del maíz conocido como nixtamalización, para poder disponer del endospermo de la semilla y elaborar de esta forma la masa para tortillas, tamales, etc.,
6. El conocimiento y manejo de taninos para la curtiduría de pieles para el vestido y elaboración de instrumentos musicales y
7. El proceso de curación y secado de hojas (sin afectar la estructura y propiedades de estimulantes como la nicotina) del tabaco.

En otro contexto también se pudo constatar que estas tecnologías están vigentes hoy en día y que cuando fueron llevadas a Europa tuvieron un gran impacto en las industrias como la textil, alimenticia, etc., que se desarrollaron después, o bien en el arte (3). En la actualidad, no deja de sorprender, por ejemplo, el dominio y aplicación de la nixtamalización del

grano de maíz a nivel empresarial o doméstico, en todo México.

Otro tema son los pigmentos, el cual se desarrolla en este número de la revista en el artículo del Dr. Agustín López Munguía (pág. 11).

En tiempos prehispánicos, la conservación de las pieles por medio del curtido, se realizó mediante el tratamiento de las pieles con taninos (derivado del término *tanna* que significa encino o árbol de abeto), que están presentes en la corteza de algunas plantas como los encinos (*Quercus*) y los pinos (*Pinus*). En este proceso se utilizaron también excremento de animales, sesos, médulas, etc. El análisis del *Código Colombino* (mixteco prehispánico), indica que la tecnología utilizada para preparar la piel en la que fue asentada su escritura, involucró diferentes tipos de curtientes, que al final produjeron pieles con características muy particulares en suavidad, impermeabilidad, dureza y flexibilidad. Estos datos muestran que las culturas prehispánicas manejaron la técnica de curtido de piel con gran conocimiento, utilizando diferentes variantes y componentes en el proceso (4).

Tomemos como ejemplo un tema biotecnológico de gran interés en la cultura de los pueblos mesoamericanos relacionado con el manejo de los polímeros por las culturas mesoamericanas. El juego de pelota es uno de los rituales más



señalados en todas esas culturas y los sitios donde se practicaba son muy evidentes en las ciudades sagradas, como Uxmal o Chichen Itza. En el *Popol Vuh* (libro sagrado de los mayas) el juego de pelota es uno de los ejes importantes dentro de la cosmogonía de esta cultura. La pregunta que se hizo durante el presente estudio fue precisamente el saber cómo se elaboraba la citada pelota. Al respecto se encontró que en el año de 1994 se localizaron 12 pelotas en Manatí, Veracruz, mismas que fueron analizadas por los expertos en materiales del MIT (Massachusetts Institute of Technology) en los Estados Unidos y sus resultados publicados en la revista *Science* (5) donde se anotaba que el caucho era el producto del polímero producido por *Castilla elastica* (Moraceae) y que para que éste pudiera tener las características deseables de una pelota, se le agregaba sabia de *Ipomea alba* (Convolvulácea) que en su análisis se anota, era la que proveía el azufre para que se pudiese tener las características deseadas de la pelota. De esta forma, ahora sabemos que desde hace más de 1000 años en Mesoamérica se llevaba a cabo un proceso para mejorar las propiedades del latex, muy similar al que ahora conocemos como vulcanización.

De la búsqueda de este tipo de tecnologías por demás importantes y que se derivan de la revisión de documentos

como el *Código de tributos* (6), podemos imaginar que los eslabones de la ciencia experimental prehispánica en Mesoamérica fue intensa y desde luego capitalizando el amplio conocimiento que tenían de las bondades de la biodiversidad existente.

Resta describir otras biotecnologías como las relacionadas con aspectos de cosmetología, alimentación, la producción de papel, los aspectos médicos, entre otros. Tendremos que hacer nuestro, por ejemplo, la información que describió el protomédico Francisco Hernández de Toledo, a quien el rey de España comisionó de 1571 -1577 para describir la historia natural del Nuevo Mundo. Aunado a estos documentos es obligado hacer la revisión de los dos libros sagrados de los mayas que hacen referencia, entre otras cosas, al uso de la biodiversidad de animales y plantas que acompañaron a esta sobresaliente cultura desde hace más de 500 años y que son parte de la revisión que los botánicos del banco de germoplasma ubicado en el parque científico-tecnológico de Yucatán, están realizando y que seguramente derivarán en propuestas de posibles tecnologías que habrá que seguir describiendo para avanzar en la tarea de hacer el listado y descripción de las biotecnologías que se han desarrollado en nuestro país.

Contacto: larque@cicy.mx

#### Referencias

1. Ley General de Equilibrio Ecológico y de Protección al Ambiente, Diario Oficial de la Federación, 28 de enero de 1998 (ratificado en el 2013).
2. Naciones Unidas. (1992), Convenio de la Diversidad Biológica. Art. 2. Montréal. Canada 30 pp. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
3. Larqué-Saavedra, A. (2016), La biotecnología prehispánica de las culturas mesoamericanas. *Revista Fitotécnica Mexicana*, 39(2):107-115.
4. Maldonado A.B. y Maldonado A.M. (1995), La historia en la piel. Otra lectura posible del Código Colombino (mixteco prehispánico). *Cuadernos del Sur*, 29: 28-41.
5. Hosler, D., S. L. Burkett and M. J. Tarkanian (1999), Prehistoric Polymers: Rubber Processing in Ancient Mesoamerica. *Science*, 284: 1988-1991.
6. Mohar, B. L.M. (2013), Los productos tributados a Tenochtitlan. *Arqueología Mexicana*, vol. XXI No. 124: 56-63.

El Dr. Alfonso Larqué es investigador del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY).



# Biotecnología y color en el mundo prehispánico

Dr. Agustín López Munguía

## El color de los dioses

Las evidencias científicas más recientes demuestran que con colores fuertes y expresivos -por

no decir chillantes- se adornaba todo en las culturas mesoamericanas: monumentos, esculturas, vajillas, representaciones de los dioses, textiles y el cuerpo mismo. Un ejemplo de este contraste puede apreciarse en un Proyecto en el Templo Mayor que tiene como objetivo restituir el color original de la Tlaltecuhтли, manifestación bisexual de la Tierra, de la que emana toda forma de vida.

Esto no pudo haber sucedido sin un amplio conocimiento de las fuentes de color, de cómo extraerlo y formularlo, así como de la forma de aplicarlo y de estabilizarlo. Todo un conocimiento y un alto estándar tecnológico necesarios para poder construir la policromía que reinaba en el ambiente. Es claro que la descripción que los españoles hicieron del mundo



Tlaltecuhтли

que encontraron y las evidencias que tenemos en algunos códices, nos permiten imaginar un mundo muy colorido, un mundo de hombres de color azul como sus dioses acuáticos, Tlaloc particularmente, y de mujeres y deidades amarillas como la Chalchiuhtlicue, Mayahuel, Xilonen, Xochiquetzal,... como puede constatarse en referencias como el *Códice Borgia*.

## Colores minerales: Tlaltecuhтли, diosa mexicana de la madre Tierra

La pregunta es obvia: ¿Cuál era la fuente de la variedad de colores en la antigüedad? Partamos de la base de que el amarillo, el rojo y el azul constituían los colores básicos más abundantes en el entor-

no. En Mesoamérica, como en otras civilizaciones, los pigmentos básicos provenían de los minerales. Así consta en los estudios realizados por difracción de rayos X en el

*Getty Conservation Institute* de Los Angeles por Giacomo Ciari, en los que se determinó la naturaleza mineral de los pigmentos del monolito dedicado a la Tlaltecuhтли, así como en estudios para su estabilización (1). Se determinó que el rojo proviene de la hematita bien cristalizada y finamente molida, el ocre amarillo -usado para dar la tonalidad a la piel- está compuesto de goetita y hematita pobremente cristalizadas. Este pigmento amarillo, *tecozahuitl* o *tecoxtli* lo usaban las mujeres para mejorar el cutis y los hombres cuando salían a combatir. De acuerdo con Sahagún, se elaboraba con una piedra que obtenían en el ahora estado de Morelos (Tlahuic). Para el negro se empleaba una tinta de hollín preparada de la combustión de la resina de coníferas.

Con colores fuertes y expresivos -por no decir chillantes- se adornaba todo en las culturas mesoamericanas: monumentos, esculturas, vajillas, representaciones de los dioses, textiles y el cuerpo mismo



Finalmente, el azul maya, del que hablaremos más adelante.

Lo interesante desde una perspectiva biológica, aunque no está del todo confirmado, es que los artesanos pudieron haber utilizado como aglutinante un mucílago proveniente del bulbo de las orquídeas (*tzacutli*). En efecto, los seis pigmentos empleados para colorear a la Tlaltecuhli fueron

adheridos a la escultura por medio de un aglutinante vegetal que de acuerdo con análisis de cromatografía de gases/espectrometría de masas, se identificó como un mucílago formado por azúcares, y no como se hubiera podido especular, a base de proteínas, aceites, ceras o resinas. El mucílago, en el que se identificaron los azúcares glucosa y manosa, es una sustan-

cia viscosa de propiedades cohesivas y adhesivas que los mexicas obtenían de los pseudo-bulbos de orquídeas de la cuenca de México y del valle de Morelos, entre ellas *amatzautli* (*Encyclia pastoris*), el *tzacuxochitl* (*Bletia campanulata*) y el *chichiltictepetzacuxochitl* (*Laelia autumnalis*).

## Biotecnología y color

Es interesante e importante considerar cómo, lo que podríamos denominar tecnología biológica o biotecnológica antigua, practicada en el mundo prehispánico, está siempre referida a la concepción que en aquellas culturas se tenía de la naturaleza y del papel de los seres humanos en el cosmos. Aprovecha la enorme riqueza en términos de biodiversidad que caracteriza hasta la fecha la región que conocemos como Mesoamérica, pero siempre con un sentido e interés que da a la Naturaleza un papel preponderante. Sin duda alguna, la exuberancia de esta biodiversidad, que se manifiesta también a través del color, debió motivar a los artesanos a acercarse primeramente a los minerales, pero también para llevar el color más allá de los límites de la célula



Programa de Maestría y Doctorado  
**CIENCIAS BIOQUÍMICAS**

**SELECCIÓN MAYO Y OCTUBRE**

[www.ibt.unam.mx/docencia](http://www.ibt.unam.mx/docencia)  
[docencia@ibt.unam.mx](mailto:docencia@ibt.unam.mx)

**BECAS del Programa Nacional de Posgrado de Calidad (PNPC) CONACyT  
 Calidad NIVEL INTERNACIONAL**

Apoyos para participar en congresos y estancias en el extranjero para maximizar tu formación académica.

 Instituto de Biotecnología 

animal y vegetal. El resultado es un sorprendente colorido característico de las culturas prehispánicas (2).

A continuación revisamos algunos ejemplos en los que, gracias a la capacidad de observación y a la delicada relación con insectos, flores y moluscos, podemos hablar hoy día de verdaderos “procesos biotecnológicos” como base para la obtención de colorantes.

## La grana cochinilla

Un colorante descubierto por los habitantes de Mesoamérica, es *nocheztli* (sangre de tuna), un colorante rojo obtenido del insecto hembra conocido como cochinilla (*Dactylopius coccus*) que se encuentra en los cactus, siendo los nopales su hábitat natural. Este producto, de cuyo uso dan amplia cuenta diversos códices, adquirió gran relevancia después de la conquista, al grado que después del oro y de la plata, se volvió uno de los productos más cotizados en Europa a partir de 1523. Curiosamente, no fue sino hasta finales del siglo XVII con la llegada del microscopio, que muchos europeos salieron del error de considerar que se trataba de un tipo exótico de bayas. Para 1835 se introdujo a las Islas Canarias, que junto con Perú, donde se produce más de medio millón de toneladas al año, constituyen los lugares actuales de mayor producción en el mundo (3).

La grana cochinilla, que aún se puede encontrar en Oaxaca, donde es particularmente usada en el arte, es fuente del carmín, término que proviene del latín *carminium*, del árabe *qirmiz*: ‘carmesí’, y éste del sánscrito *krimiga*: ‘producido por insectos’, derivado de *krmi*: ‘gusano, insecto’. Químicamente, el colorante rojo intenso del carmín corresponde a una sal alumínica del ácido carmínico, considerado como un colorante natural. El ácido kermésico, que se obtiene del insecto *Kermes vermilio*, sólo difiere del ácido carmínico en el azúcar con el que se glicosila. Las

mujeres se pintaban con el colorante de la cochinilla, como lo ilustró Diego Rivera en los murales de Palacio Nacional.

La cochinilla es un parásito que vive anclado a la penca de la tuna (*Opuntia ficus índice*). La hembra, que no tiene alas, se adhiere con la boca al nopal para succionar el jugo. Una vez concluido su ciclo biológico, las hembras se colectan a mano, se secan al sol y se limpian mediante cribado. Como medida de auto-protección en el nopal, la cochinilla se cubre de un polvo blanco, una cera que constituye parte de las impurezas por eliminar. Ovipositan en promedio unos 400 huevos y se multiplican 3 veces al año. Se requiere de 80,000 a 100,000 insectos para producir 1 kg de grana cochinilla húmeda, de la que después de secar y limpiar se obtienen cerca de 6.5 gramos de un producto que tiene 22 % de ácido carmínico. Es un hecho que el sistema de producción estará determinado por el tipo de aplicación y su costo, mismo que llegó a cerca de \$120 dólares/ kg a principios de ésta década. Hasta la fecha, miles de campesinos viven del cultivo del insecto, particularmente en Perú. El cultivo se sigue haciendo de forma artesanal, pero también mediante desarrollos tecnológicos modernos, incluyendo el cultivo del insecto, la inoculación de pencas y eventualmente el cultivo de las células mismas en reactores. Varias grupos de investigación y empresas exploran la producción mediante procesos de fermentación a partir de la información derivada de la secuenciación del genoma de la cochinilla. Sin embargo, los aspectos regulatorios han limitado estos desarrollos.

## Color púrpura o un índigo de origen animal

La manera prehispánica de obtener el color púrpura en el México prehispánico y en el México indígena es ejemplar. La tinta con el colorante se extrae del ca-

racol *Púrpura pansa* (*Plicopurupra pansa*), un molusco gasterópodo (del griego γαστήρ *gastér*, “estómago” y πούς *pus*, “pie”) de la familia Muricidae. Este molusco dispone de un opérculo que haciendo las veces de tapadera, le permite cerrar la concha para ponerse a resguardo. Es propio de las costas rocosas del océano Pacífico, particularmente de Oaxaca, Guerrero, Michoacán y Colima. En una amigable relación con el molusco, los antiguos mexicanos iniciaron el proceso de “ordeña” del caracol, estimulándolo con sumo cuidado, para que liberara una espuma conteniendo el colorante. Hasta épocas recientes, se seguía acudiendo a las playas para teñir directamente los tejidos de algodón con la tinta del caracol (4).



Después de desprender al caracol de las rocas y colocarlo sobre el tejido, se depositaba al caracol nuevamente sobre las rocas, lavándolo con agua de mar para permitir su recuperación, además de utilizarlos sólo durante las épocas en las que no se afectaba su reproducción. Lamentablemente, esta armoniosa relación cambió con la llegada de empresas japonesas con métodos poco amigables. Esto obligó a las comunidades a presionar de tal forma que se logró llegar a un acuerdo publicado en el Diario Oficial el 30

de marzo de 1988, que prohíbe sacrificar a los caracoles y sobre todo extraerlos del lugar. Además, sólo las poblaciones indígenas estarían autorizadas a aprovecharlos. De acuerdo con un estudio publicado en 1992 (5), la cantidad de tinte excretada por cada caracol depende de su tamaño, yendo desde 2 ml para caracoles chicos, hasta 3-4 ml para caracoles grandes (de 5 a 6 cm). Se requiere de unos 15 caracoles grandes para teñir una madeja de algodón de 40 g, pero hasta 45 caracoles pequeños. Este es quizás un ejemplo que pone de

manifiesto, por un lado, la riqueza de conocimiento y de cuidados desarrollados por las culturas mesoamericanas y por el otro, la importancia que tiene el conocimiento científico sobre el sistema y la posibilidad de encontrar formas alternas que pueden satisfacer la necesidad de estos materiales, sin que el abasto afecte la disponibilidad de un valioso recurso, además de reducir el impacto al nicho ecológico.

Desde el punto de vista químico, el colorante responsable del color es el índigo, cuya estructura

Se requiere de unos 15 caracoles grandes para teñir una madeja de algodón de 40 g, pero hasta 45 caracoles pequeños

INVESTIGACIÓN y DESARROLLO **ID** [www.invdes.com.mx](http://www.invdes.com.mx)

**La principal plataforma de noticias de ciencia, tecnología e innovación en Latinoamérica**

/Invdes  
 @Invdes  
 INVDESCiencia

deriva del aminoácido triptofano, por lo que se encuentra en muy diversas especies, incluidas las plantas, como veremos en la siguiente sección.

### El azul maya o un índigo de origen vegetal

Otro de los colorantes usados ancestralmente en México es una variante del índigo, el *tlacehuilli*, extraído de las hojas de la planta xiuquilitl o jiquilite (del náhuatl: hierba azul) (*Indigofera suffruticosa*), y descubierto en 1931 en Chichen Itzá. Era parte de la formulación del denominado "azul maya" que tenía una gran estabilidad, en buena medida debido al proceso de fijación del índigo en una arcilla conocida como palygorskita. El proceso de fijación y estabilización del índigo en la arcilla ha sido tema de estudio de varios grupos científicos en México y en el mundo, sin que hasta la fecha esté claro el mecanismo, aunque es un hecho que la extraordinaria estabilidad de azul maya, incluida su resistencia al ataque de ácidos (6), se deba a la forma en que se fija en la palygorskita. Según Sahagún, las hierbas se golpeaban con piedras, se exprimían y el jugo se colocaba en una escudilla o recipiente semiesférico, hasta que se espesaba dando una coloración verde oscuro. Aunque se desconoce el proceso con precisión, destaca una propuesta basada en diversas evidencias históricas hecha por el investigador Constantino Reyes-Valerio, historiador y bacteriólogo (1922-2006), quien proponía un proceso de maceración de hojas de índigo en agua arcillosa. Durante este proceso, varios cambios bioquímicos y reacciones enzimáticas permiten la liberación del colorante. En muchos ámbitos se refiere a esta etapa como la de "fermentación". Posteriormente se filtra la mezcla para eliminar las hojas, seguido de la aireación (oxigenación) de la solución, con el objetivo de oxidar los precursores del colorante. El pigmento precipitado se somete



entonces a una cocción que da lugar a su estabilización dentro de la arcilla.

El índigo, tanto de origen vegetal o animal, es un ejemplo de una materia prima que es sustituida parcial o casi totalmente cuando se dispone de una opción vía síntesis química, de mayor accesibilidad y costo, sin que en términos químicos exista una diferencia. En este caso, la compañía alemana BASF logró, a finales del siglo XIX, la síntesis química del índigo. Sin embargo, las tendencias actuales -justificadas o no- a usar ropa

"100% natural", ha abierto este mercado nuevamente al colorante de origen vegetal ("*jeans orgánicos*"). Este sería el caso también de un proyecto para producir índigo mediante técnicas de biología molecular, empleando para ello un cultivo de células de la bacteria *Escherichia coli* modificada genéticamente. A pesar de tener muy diversas ventajas técnicas y ambientales, este proyecto no logró el éxito esperado por razones tanto económicas, como por la infundada animadversión del público hacia la ingeniería genética.

Archivos Compartidos UAEM-3Ríos



#### Referencias

1. Barajas, M., Bosch, P., Malvaéz, C., Barragán, C. and Lima E. (2010), Stabilization of the Tlaltecuiltli monolith pigments. *Journal of Archaeological Science*, 37: 2882-2886.
2. Castelló-Yturbide T. (1986), Presencia de la Comida Prehispánica. Fondo Cultural Banamex, México.
3. Velázquez C. (2013), La Sangre de las tunas. [http://cienciorama.unam.mx/a/pdf/485\\_ciociorama.pdf](http://cienciorama.unam.mx/a/pdf/485_ciociorama.pdf)
4. Romeu, E. (1996), Púrpura pansa: una historia de tintes y caracoles. *Biodiversitas*, 6:9-12.
5. Castillo-Rodríguez Z. G. y Amezcua-Linares F. (1992), Biología y aprovechamiento del caracol morado *Plicopurpura pansa* (Gould, 1853) (Gastropoda: Neogastropoda) en la costa de Oaxaca, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM*, vol. 19(2), págs. 223-234.
6. Sánchez del Rio M., Martinetto P., Reyes-Valerio C., Dooryhée E. & Suárez M. (2006), Synthesis and acid resistance of Maya blue pigment. *Archaeometry*, 48 (1): 115-130.
7. Bárzana, E., Rubio, D., Santamaría R.I., García-Correa O., García F., Ridaura V.E. and López-Munguía A. (2002), Enzyme-mediated solvent extraction of carotenoids from Marigold flower (*Tagetes erecta*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 5: 4491-4496.

### La flor de Cempasúchitl (*Tagetes erecta*)

La flor de Cempasúchitl (*Tagetes erecta*) es la flor de los 400 pétalos (para algunos de los 20 pétalos), o la flor de “infinitos” pétalos (que era la connotación del número 400 en el México antiguo). Se trata de una flor plenamente enraizada en las tradiciones mexicanas, específicamente usada en las ofrendas del Día de Muertos, tradición que heredamos del México prehispánico. Hasta la entrada en pleno del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, casi una docena de importantes industrias mexicanas tenían como actividad principal la extracción de la oleorresina de la flor. De esta forma, además de seguir siendo referencia clásica de la celebración de los difuntos, se modernizaron sus aplicaciones al convertirse en la fuente de uno de los colorantes más usados en la pigmentación de pollo y del huevo, así como en piscicultura. Se encontraron aplicaciones en la agricultura para repeler nemátodos, y más recientemente, se abrió un importante mercado en productos para la salud ocular, ya que se encontró que su principal componente, la

luteína, es una excelente ayuda en la conservación de la mácula, zona del ojo localizada en la retina y cuya función es primordial en la visión fina de los detalles. Basados en el mismo principio mediante el cual la incubación de flores de *Indigofera suffruticosa* libera el colorante por reacciones biológicas, hace una década propusimos un tratamiento similar para la extracción de las oleorresinas de la flor de cempasúchil. Así, sustituimos el proceso de maceración (ensilado) de la flor, por una reacción en presencia de enzimas hidrolíticas, previo a la extracción con solvente de la oleorresina (7). El proceso fue escalado y transferido a la empresa Resistol. Sin embargo, la industria sufrió las consecuencias del libre mercado, haciendo cerrar a las empresas que no podían competir con la producción de flor en Perú y en la India. Así, después de haber aprovechado un legado de nuestros antepasados, llevando sus aplicaciones a diversos sectores industriales, la flor regresó a un papel en la economía nacional restringido al ornato y las ofrendas.

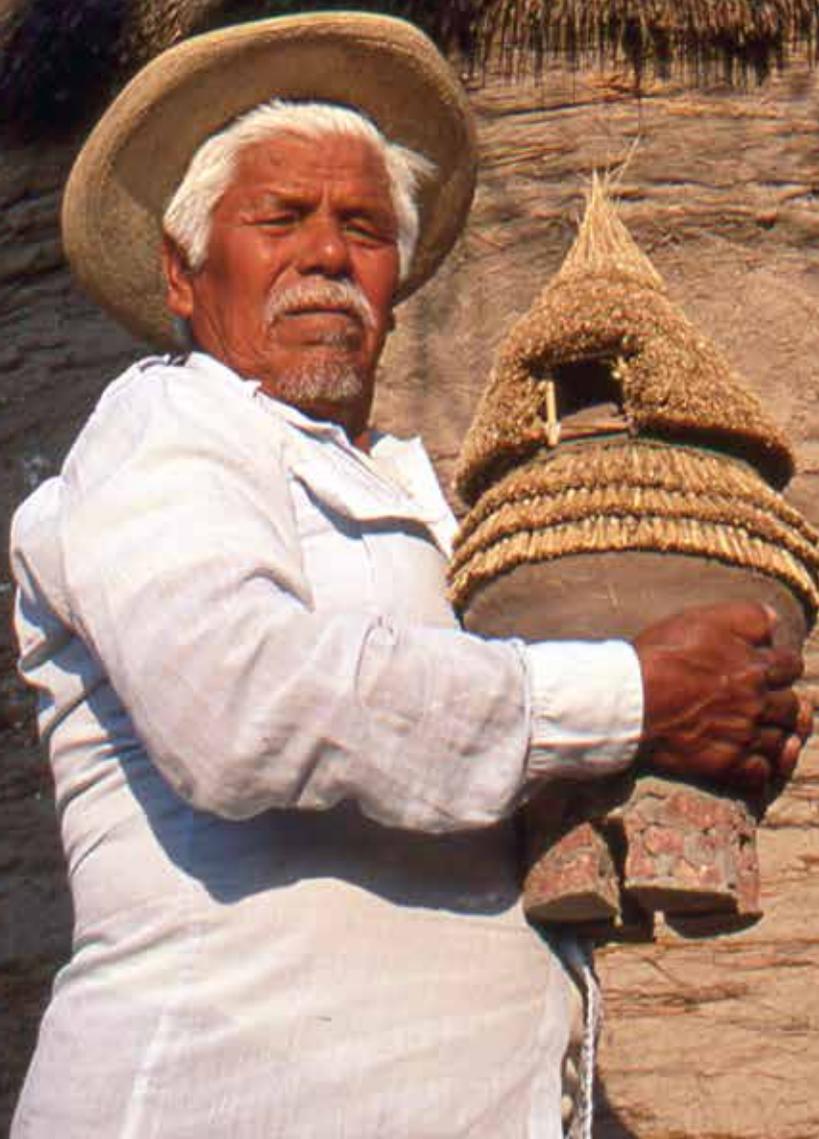
Contacto: [agustin@ibt.unam.mx](mailto:agustin@ibt.unam.mx)

# EL CUEZCOMATE

GRANERO MILENARIO QUE DESTELLA  
SABIDURÍA TRADICIONAL

Dr. Óscar Alpuche Garcés

**E**n Morelos, el granero cuezcomate ha adquirido carta propia de arraigo, en virtud de representar varias expresiones de sabiduría ancestral, manifestaciones simbólicas extraordinarias y nuevas creaciones, que surgieron en los pueblos maiceros del centro y sureste del México Antiguo. En la actualidad se tiene como centro difusor a la comunidad de Chalcatzingo, al oriente de Morelos, donde se originó el cuezcomate artesanal.



Es notable su arquitectura y excelente su función de preservación del grano del maíz. La indagación que se realizó se orientó a rescatar y precisar los elementos que han permitido su permanencia a lo largo del tiempo y los principios que regulan su construcción monumental.

El testimonio arqueológico más antiguo proviene del basamento de la pirámide de Cacaxtla (600-900 d.C.) y uno más que se encuentra en el occidente de Chihuahua y que le proporciona el nombre a su lugar específico: la Cueva de la Olla (900-1060 d.C.). La distribución geográfica de estas unidades de almacenamiento se concentra en los estados de Tlaxcala, Puebla y Morelos.

En el Estado de Morelos se han encontrado estructuras de cuezcomates en 16 municipios, sobresaliendo los de la región oriente: Tetela del Volcán, Ocuituco, Yecapixtla, Zacualpan, Temoac, Jantetelco, Jonacatepec, Tepalcingo, Acoxchiapan, Ayala y Cuautla. También en Puente de Ixtla, destaca la comunidad de Xoxocotla al sur de la entidad por conservar todavía algunas unidades en pie.

En el *Diccionario de Lengua Náhuatl o Mexicana*, Siméon consigna que la palabra cuezcomate significa “troja o almacén de pan”, haciendo alusión a la función de depósito del maíz como alimento básico.

### Estructura del cuezcomate

De forma oval o vasiforme, se compone de tres secciones, la primera es la *base circular* construida de cantos rodados; la segunda sección, *la olla*, va sobrepuesta a la base y es una estructura hueca construida con barro natural mezclado con un zacate especial, donde se deposita el grano, con un orificio pequeño inferior que permite, por gravedad, la salida del maíz. Alrededor de la parte superior de la olla se colocan tres hileras de rollos de zacate, que permiten el escurrimiento del agua de lluvia e impiden que se humedezca. La tercera sección es el techo en forma de cono, que contiene la estructura de soporte que es un tendido reticular, entrelazados de morillos (madera) y varas, arriba de la cual se extiende la cubierta de zacate tejida.

### Factores constitutivos del saber tradicional del cuezcomate

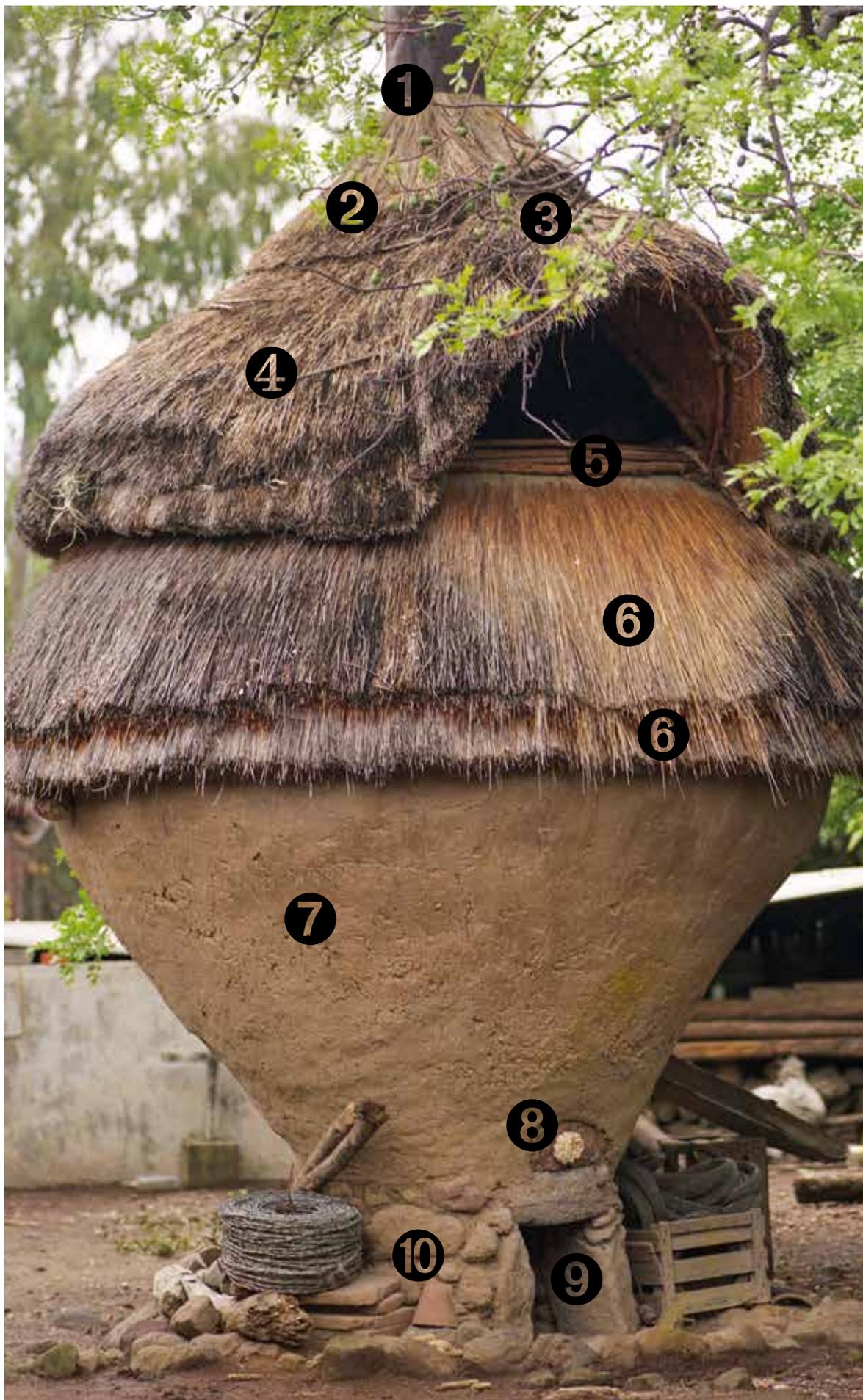
El saber tradicional que permea este granero, se puede considerar como el corpus de conocimientos que un pueblo mantiene vigente en torno a costumbres, creencias, habilidades y en interacción con la naturaleza. Los elementos constitutivos que identifican al granero cuezcomate son:

**Cognitivos y educativos.** Al constituirse a través del tiempo, en un saber especializado, la elaboración del cuezcomate da cuenta de un proceso especial de formación del mismo, en donde la actividad laboral y el conocimiento de su entorno, son los ejes que permiten su estructuración y asimilación; a la vez que ejercen una función educativa básica en relación a los mecanismos de transmisión del conocimiento tradicional.

**Ecológicos.** Los materiales que son utilizados en la construcción del cuezcomate son de tipo florístico y edafológico; al mismo tiempo que representan un aprovechamiento eficiente de los recursos naturales inmediatos. En el proceso constructivo se emplean y transforman materias primas a través de un proceso de trabajo peculiar, en donde se utilizan:

- Materiales usuales en construcciones modernas: piedras, cemento, cal, arena y varillas.
- Materiales tradicionales: barro
- Materiales que consisten en cinco especies vegetales de la región: zacate de campo (*Dicottomis fastigiata*, Sw) H.B.K. o (*Andropogon fas-*





Elementos y estructura del quecomate

- ❶ Ápice del techo: olla pequeña de barro cocido
- ❷ Última capa de zacate del techo
- ❸ Capas seccionales del techo
- ❹ Techo de zacate, varas y morillos
- ❺ Portal de entrada de depósito del maíz
- ❻ Hileras de zacate, protectores pluviales de la olla: "naguas" o "capote"
- ❼ Olla, hecha de barro crudo mezclado con zacate
- ❽ Orificio de salida del grano de maíz: "ombligo"
- ❾ Aberturas de ventilación y orientación a los cuatros puntos cardinales
- ❿ Base, hecha de piedra



El hecho de que determinados individuos son expertos en su construcción, la convierte en una actividad socialmente especializada y constituye un oficio reconocido y respetado por la comunidad

*tigiatum*, Sw); temecate de petaca (*Phithecoctenium crucigerum* (L.), A. H. Gentry; maguey, *Agave angustifolia* Haw; cuilote (*Montanoa grandiflora* (DC.) Schultz. Bip.); Pino (*Pinus montezumae* Lamb).

La mayor parte de ellas, provienen del tipo de vegetación circundante: trópico seco.

**Sociales.** Por el hecho de que determinados individuos son expertos en su construcción, la convierte en una actividad socialmente especializada y constituye un oficio reconocido y respetado por la comunidad. En la vivienda rural, es un espacio propio de la mujer.

**Cosmológicos.** El cuezcomate, como parte de una tradición productiva mesoamericana, tiene incorporados elementos pertenecientes a la cosmovisión asociada al maíz, de tal manera que de ella surgieron algunos principios y saberes que se aplicaron a la arquitectura y geometría del cuezcomate. En efecto, la concepción fundamental que rige el sentido del granero es el tonacayótl "nuestro sustento" "nuestra carne". Una plegaria que proviene del *Códice Florentino* lo ilustra, "tan sólo por nuestro sustento, *tonacáyotl*, el maíz, subsiste la tierra, vive el mundo, poblamos el mundo". De ello se deriva su nombre peculiar *tonacacuezcomatl* "la troje de nuestro sustento" y que se identifica a una figura primordial: *tonacacuáhuítl* "el árbol de nuestro sustento", en la cual se conectan los tres espacios verticales del cosmos: el inframundo, la tierra y el cielo. La olla del granero, donde se deposita el grano de maíz, se considera el útero, la matriz de la tierra, la que origina y provee de vida al ser humano.

## Expresiones biotécnicas del saber tradicional

Al ser una arquitectura elaborada con estos principios, explica la conservación del grano de maíz durante varios años, por la mezcla de dos elementos (barro y zacate) que proporciona un ambiente térmico adecuado al interior de la olla. Al mismo tiempo, la forma esferoidal de la misma, impide que los roedores puedan subir para devorar el grano, ya que su contorno propicia que se caigan por efecto de la gravedad.

La orientación de los conductos en la base de la olla, dan cuenta de una ventilación permanente que inhibe la deshidratación del grano, así como la forma del techo que no expone el mismo lado a los rayos del sol, sino que reparte proporcionalmente su radiación en el transcurso del día.

La compactación del grano de maíz durante su almacenamiento, también inhibe el ataque masivo del gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamays*) dado que en las capas profundas se crea un ambiente anaeróbico que este insecto evita.

En conclusión, se estima que el granero cuezcomate, de origen mesoamericano, contiene materiales que permiten su preservación y que en la concepción de su estructura y arquitectura subyacen principios cosmológicos que las orientan y hacen eficiente el almacenamiento del grano de maíz. La sabiduría tradicional entonces, contiene elementos que se derivan de la observación de la naturaleza, la aplicación de mitos cosmogónicos y la necesidad de conservar un alimento básico que permite la reproducción de la vida social de las comunidades agrícolas.

Contacto: oscaral8@hotmail.com

# Recorre el camino de la ciencia

## Visita el IBt

Donde el personal académico y los estudiantes de posgrado te darán una pequeña muestra del trabajo de investigación que realizan en sus laboratorios.

Las visitas se programan los miércoles y viernes en un horario matutino desde las 10 hrs. con grupos no mayores de 20 personas.

Se reciben grupos escolares de nivel medio y superior, así como de profesores y otros interesados.

Es posible planificar visitas con temas de interés particular, solicitándolo al momento de concertar la cita.

Contacto: [visitas@ibt.unam.mx](mailto:visitas@ibt.unam.mx)



Este artículo se basa parcialmente en el libro de la autoría del Dr. Alpuche: El saber tradicional del cuezcomate en Morelos, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México, 2015.

El Dr. Óscar Alpuche Garcés desarrolló sus actividades académicas en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos hasta el 2015. Actualmente es Investigador de tiempo parcial en la Universidad Agropecuaria Dual "Hermanos Escobar".



Archivos Compartidos UAEM-3Ríos

---

# La inventiva de nuestros antepasados y los fermentados de maíz

---

Dra. Ma. del Carmen Wachter Rodarte



Archivos Compartidos UAEM-3Rios

## El maíz

El papel que jugó el maíz en la historia de Mesoamérica es fundamental para entendernos como nación, para entender nuestra historia y nuestra cultura. Quizás hoy las nuevas generaciones no lo perciben en toda su dimensión porque lo consumimos cotidianamente, pero el maíz sigue siendo la base de la alimentación de la mayoría de los mexicanos y un alimento muy especial tanto por su contenido nutricional, como por la gran diversidad de formas en las cuales lo consumimos. Aunque existen 74 variedades de maíz, las más importantes

son el blanco, el amarillo y el azul y si bien su producción data de los inicios de la agricultura, se consume actualmente gracias a que los pueblos originarios adaptaron su cultivo a los diversos nichos ecológicos característicos de toda Mesoamérica (1).

### La nixtamalización: un proceso químico de transformación del maíz

La palabra nixtamalización es un vocablo náhuatl (*nextli*, "cenizas de cal" y *tamalli*, "asa de maíz cocido"). Es un proceso que fue desarrollado en Mesoamérica, que posteriormente fue transmitido de generación en generación por los pueblos indígenas. Consiste en hervir el maíz en agua con cal hasta que se desprende la cascarilla, luego se lava para eliminar el exceso de cal, se remoja y se muele. Se forma una masa, que se conoce como nixtamal o masa nixtamalizada y a partir de esta masa se obtienen las tortillas, que ha sido el principal alimento en la dieta del pueblo mexicano y la base de su supervivencia desde hace más de 3500 años (2).

Esta masa tiene en promedio 9 a 10 % de proteínas, dentro de las cuales existen unas que se disuelven en agua, otras en alcohol, otras en soluciones de sal y otras en soluciones alcalinas (como la de la cal).

La calidad nutritiva del maíz depende del tipo de proteínas que tiene y especialmente de la proporción de aminoácidos esenciales que contenga (los ami-

noácidos forman las proteínas) y los aminoácidos esenciales son los que el organismo no produce, por lo que se les debe consumir en cantidades establecidas o recomendadas por organismos de salud como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

La cocción alcalina y el remojo provocan cambios químicos en el maíz que traen como consecuencia un incremento en la fibra dietaria insoluble, hoy en día considerada como un componente clave de los alimentos, por sus funciones fisiológicas asociadas a nuestra salud. Otras consecuencias de este proceso es el aumento en la concentración de calcio y la biodisponibilidad de la niacina, (la vitamina B3) cuya deficiencia ocasiona la enfermedad conocida como pelagra (pelle: piel, agra: áspera). Destaca el hecho de que esta enfermedad no ocurre precisamente donde se consume maíz nixtamalizado.

Derivado empíricamente de los beneficios a la salud que se obtienen por su consumo, nuestros antepasados utilizaron este proceso cada vez con mayor frecuencia en la producción de alimentos. Existen muchas leyendas e hipótesis sobre cómo se explicaban el proceso a sí mismos, así como de la forma en que lo descubrieron. Se señala, por ejemplo, que inicialmente se usaban cenizas volcánicas, que posteriormente sustituyeron por cal. Las antiguas civilizaciones mesoamericanas fueron capaces de observar los efectos adversos de consumir maíz si antes de producir tortillas y otros productos derivados no se sometía



La nixtamalización consiste en hervir el maíz en agua con cal hasta que se desprende la cascarilla, luego se lava para eliminar el exceso de cal, se remoja y se muele

al proceso de la cocción alcalina. Así, estas grandes culturas continúan impresionándonos por la maestría con la que aprendieron a transformar los productos que formaban parte de su dieta. La maestría incluye también el cómo los pueblos originarios supieron conservar el proceso e irlo transmitiendo hasta llegar a la riqueza culinaria de la que disponemos actualmente.

### El pozol: biotecnología tradicional

La masa de maíz nixtamalizado es la materia prima para la preparación no sólo de tortillas, y las muy diversas formas en que las consumimos (tacos, quesadillas, totopos, chilaquiles, enchiladas, etc.) sino también de otros alimentos clave de nuestra dieta, como el atole o los tamales. Dentro de estos productos destacan particularmente los fermentados, es decir, aquellos cuya transformación requiere de la acción de los microorganismos, tal como sucede en el pan, el queso o el yogurt, por citar algunos. Todos ellos ubicados dentro de una aplicación de la biotecnología que hoy clasificamos como antigua o tradicional, pero que, al igual que los procesos de la biotecnología moderna, requiere del eficiente trabajo de transformación que realizan los microorganismos. Dentro de estos procesos de la biotecnología antigua se encuentran los atoles agrios, el tesgüino y el pozol, todos ellos resultado de la fermentación del maíz.

El pozol (del nahuatl *pozolli*, espumoso) es una bebida de origen mesoamericano, con propiedades refrescantes que se elabora a partir de masa nixtamalizada, con la cual se elaboran manualmente bolas, que se envuelven en hojas de la planta del plátano. Se consume después de un día o hasta un mes de fermentación. Hasta la fecha, el pozol se sigue consumiendo en el sureste mexicano y actualmente, a pesar del proceso de mestizaje, los mayas mantienen viva esta costumbre heredada de sus ancestros. A los pueblos originarios les debemos la conservación de esta be-

bidita, que ha pasado de generación en generación.

Como el pozol se elabora con masa de nixtamal, se desarrolla un conjunto de microorganismos muy especiales. Dentro de éstos se encuentra *Streptococcus infantarius ssp. infantarius*, que es una bacteria que se encuentra siempre en la masa, constituyendo uno de los misterios de la bebida.

Para resolver estos misterios, se han usado métodos modernos de estudio de los microorganismos. Estos métodos consisten, a diferencia de los tradicionales, en extraer el material genético de las bacterias que crecieron en la masa, y generar -a partir de este material- un perfil que, como si fuera una huella digital, nos muestra el conjunto de microorganismos presentes. Con esta metodología fue muy fácil determinar la estructura de la comunidad microbiana del pozol y la sorpresa fue que la huella más intensa corresponde al género *Streptococcus*. Esto causó sorpresa, ya que en otros alimentos de maíz predominan otras bacterias, muy particularmente las bacterias lácticas. Dentro de los *Streptococcus*, *S. infantarius* ha mostrado ser muy especial, ya que presenta características inusuales. Primeramente, utiliza el almidón para crecer, pero lo hace más rápido que otras bacterias, lo que pensamos se debe a su nivel de adaptación al nixtamal. Esto lo concluimos en parte por el hecho de que en el pozol no crecen bacterias que sí encontramos en otros alimentos de maíz que se elaboran con maíz que no se ha nixtamalizado.

Otro misterio que mi grupo de investigación ha tratado de resolver es que a pesar de que este microorganismo predomina inicialmente, la proporción de bacterias amilolíticas (aquellas que fermentan hidratos de carbono de reserva de granos, es decir del almidón), disminuye durante la fermentación con respecto a otras poblaciones. Hemos además reportado el aislamiento de bacterias capaces de usar compuestos del maíz que se encuentran en el nixtamal, pero que no están disponibles en el maíz. Me refiero a materiales derivados



**Hablemos  
Claro**

Información con base científica para el público,  
profesionales y comunicadores interesados en  
los alimentos y la salud.

[www.hablemosclaro.org](http://www.hablemosclaro.org)



de la hemicelulosa, como los xilanos. Así, además de *S. infantarius*, otras bacterias como *Weissella confusa*, no crecen en almidón, pero sí en este tipo de compuestos.

Descubrimos también que otra bacteria (*Leuconostoc citreum*) posee una enzima inusual. Las enzimas son los catalizadores que las células necesitan para que ocurran las reacciones en la naturaleza, y lo inusual de la enzima de *L. citreum* es que puede producir polímeros de fructosa (inulina), importante para la salud, ya que favorece el crecimiento de bacterias benéficas en el intestino.

Otro aspecto biotecnológico de particular importancia es el que descubrieron los pioneros en el estudio del pozol, los doctores Teófilo Herrera y Miguel Ulloa, del Instituto de Biología de la UNAM y el Dr. Javier Taboada, del Instituto de Química de la UNAM. Ellos encontraron una bacteria fijadora de nitrógeno en el pozol, lo cual es inusual porque nunca se había reportado un proceso como éste en un alimento fermentado. En esa época (en la década de los 70's) no se consideró un hallazgo significativo, hasta que recientemente, en un estudio aún no publicado, encontramos componentes protéicos que dan lugar a la fijación de nitrógeno en el pozol. Esto se hizo usando métodos en los cuales se extraen y analizan directamente las proteínas del alimento (proteómica).

## El pozol: microorganismos en un ambiente complejo

El pozol es un alimento que contiene lo que se conoce como una "microbiota compleja": un conjunto de microorganismos de muy diversas especies. A partir de la época de Pasteur y de Koch, para estudiar a los microorganismos se acostumbra usar métodos en los cuales se les cultiva sembrándolos de forma diluida en una caja que tiene una gelatina que contiene las sustancias nutritivas que requiere el microorganismo para crecer. Posteriormente, estas cajas se guardan a la temperatura que requieren los microorganismos y cuando cada microorganismo se reproduce, se acumula en montículos que denominamos "colonia". Así, los contamos como "unidades formadoras de colonias".

La microbiología ha evolucionado y en la actualidad se usan métodos en los

cuales, en vez de cultivar los microorganismos, se extrae su material genético (el ADN) de una muestra (por ejemplo de una masa de pozol) y a partir de éste se estudian. Esto fue posible, ya que el Prof. Carl Woese de la Universidad de Yale, descubrió que si extraía el ADN de los microorganismos y lo secuenciaba (el ADN está compuesto de cuatro moléculas, que se encuentran en un orden determinado) para después comparar esta secuencia con una lista de las secuencias de microorganismos que se hayan determinado previamente, los podía identificar. Fue así como en el pozol identificamos *Streptococcus*, *Weissella* y *Leuconostoc*.

Todos estos hallazgos están siendo estudiados usando las técnicas más recientes, como la secuenciación masiva y la proteómica (que han sido descritos en números previos de esta revista), para comprender cómo actúan y cómo interactúan todos estos microorganismos.

## Sabiduría tradicional

Se debe reconocer a los pueblos originarios, cuyos antecesores fueron los que preservaron esta sabiduría tradicional, que pasó de generación en generación y que se mantiene viva. Y qué mejor reconocimiento que contribuir a destacar esta sabiduría ancestral, estudiando las bases y eventualmente produciendo estos alimentos con los métodos de higiene y control que hoy en día demanda la población. Estos beneficios deben llevarse a nivel rural, de manera que los pueblos originarios sean los primeros beneficiados tanto a nivel de la salud como en el nivel económico. Se trataría de producir el alimento en condiciones que se pudieran controlar para obtenerlo en forma segura y atractiva desde el punto de vista nutrimental y organoléptico. En otras aplicaciones, dentro de las actividades denominadas de bioprospección, es posible pensar en el uso de microorganismos específicos del pozol con objetivos de producción de nuevos alimentos, aprovechando que la industria de alimentos está siempre en búsqueda de innovación y nuevos procesos. Todo esto asegurando que los pueblos originarios sean los primeros beneficiados.

Contacto: wacher@unam.mx



Archivos Compartidos UAEM-3Ríos

Se debe reconocer a los pueblos originarios, cuyos antecesores fueron los que preservaron esta sabiduría tradicional, que pasó de generación en generación y que se mantiene viva

### Agradecimientos

Se agradece la participación del Dr. Agustín López Munguía-Canales, del Instituto de Biotecnología de la UNAM, en la revisión de este trabajo.

### Referencias

1. Domínguez-Ramírez, L.L., Gloria Díaz-Ruiz, G. y Wachter, C. (2017), Maize (*Zea mays L. subsp. mays*) Fermentation. Fermented Food—Part II: Technological Interventions. Editores: Ramesh C. Ray and Didier Montet. CRC Press.
2. Paredes López, O., Guevara Lara F., Bello Pérez L. A. (2009), La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. Ciencias 92, octubre-marzo, 60-70. Disponible en: <http://www.revistaciencias.unam.mx/en/41-revistas/revista-ciencias-92-93/205-la-nixtamalizacion-y-el-valor-nutritivo-del-maiz-05.html>.

Ma. del Carmen Wachter Rodarte, es investigadora en el Departamento de Alimentos y Biotecnología, de la Facultad de Química de la UNAM.

# ¿Probióticos en el pulque?

Dr. Adelfo Escalante Lozada



Archivos Compartidos UAEM-3Rios

De forma tradicional, al aguamiel y al pulque se le han asociado una serie de efectos benéficos para la salud de quien consume estas bebidas; algunos beneficios incluyen el uso de estas bebidas de forma individual o en combinación con diversos vegetales. Estas bebidas han sido utilizadas tradicionalmente como tónico; y la creencia popular le ha atribuido propiedades (no confirmadas con evidencia científica) en una gran variedad de padecimientos, entre los que se incluyen: el tratamiento de dolores de cabeza, pecho o estómago; en el tratamiento de diarrea, anorexia, astenia (debilidad o fatiga general), para combatir infecciones urinarias, como diurético; para incrementar la producción de leche materna durante la lactancia; en el control de la anemia; también para mejorar la digestión y promover la absorción de nutrientes. Se le han asociado también efectos tan vernáculos como "matar las lombrices", "curar la tristeza" o hasta "fomentar relaciones románticas".

Dado el arraigo al consumo de esta bebida y la gran importancia económica asociada a su producción, transporte y consumo en diferentes momentos históricos de nuestro país, diversos autores nacionales y extranjeros han enfocado sus investigaciones al estudio de los beneficios asociados a la salud en personas que consumen de forma habitual esta bebida.

El primer reporte del uso del pulque como una bebida benéfica para la salud humana, fue en el tratamiento exitoso del escorbuto en reclusos en una prisión en Puebla en 1887. Mucho antes del descubrimiento de la vitamina C. En 1946 se realizó uno de los estudios sistemáticos más relevantes sobre los beneficios del consumo regular de esta bebida, en indígenas Otomíes del Valle del Mezquital (Estado de Hidalgo). En ese estudio se analizó el aporte nutricional del consumo de un promedio de dos litros de pulque diario en un grupo de 100 personas du-

Presencia de bacterias ácido lácticas con potencial actividad probiótica en el aguamiel y en el pulque



Aguamiel: *Leuconostoc* sp.  
*L. mesenteroides*  
*L. citreum*  
*L. kimchii*

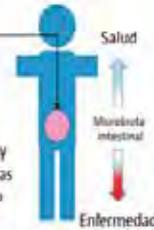


Pulque: Diversas bacterias lácticas  
*Lactobacillus acidophilus*,  
*L. casei*,  
*L. brevis*,  
*L. plantarum*,  
*L. mesenteroides*

- ✓ Papel esencial en el proceso de fermentación
- ✓ Ambiente naturalmente enriquecido: ácido
- ✓ Consumo tradicional
- ✓ Gran arraigo en la farmacopea tradicional



Actividades antimicrobianas, anti-inflamatorias y anti-colesterolémicas de bacterias ácido lácticas



Efecto probiótico



Efecto prebiótico

rante 7 días. Los resultados del análisis permitieron determinar que el consumo de esta cantidad de pulque aporta calorías (12 %), proteína total (6 %), tiamina (10 %), rivo flavina (24 %), niacina (23 %), vitamina C (48 %), calcio (8 %) y hierro no asociado a la hemoglobina (51 %), de la ingesta recomendada.

Por otro lado, diversos estudios han demostrado que el aguamiel de diversas especies de magueyes pulqueros contienen fructo-oligosacáridos (polímeros cortos del azúcar fructosa, parecidos a la inulina que es ampliamente utilizada como prebiótico), los cuales son carbohidratos que favorecen la supervivencia de bacterias probióticas en el intestino grueso), además de la presencia de otros azúcares, vitaminas y minerales. Estos antecedentes han permitido documentar y proponer que tanto el aguamiel como el pulque aportan diversos beneficios nutricionales asociados a su consumo; sin embargo, la principal desventaja de su consumo es su contenido de alcohol, lo que restringe la promoción de su consumo para obtener los beneficios.

Estudios previos sobre el análisis de la diversidad bacteriana

presente en el aguamiel y durante la fermentación del pulque, desarrollados en nuestro laboratorio, han demostrado la presencia de una cantidad importante de un tipo de bacterias conocidas como bacterias ácido lácticas. Este grupo de microorganismos se caracteriza por producir ácido láctico a partir de la fermentación de diferentes azúcares. Hemos identificado bacterias lácticas del género *Leuconostoc* y *Lactobacillus*. Las bacterias del género *Leuconostoc* son más abundantes en el aguamiel, mientras que los *Lactobacillus* son un grupo de bacterias muy importante que está presente durante la fermentación del pulque. Este resultado es relevante ya que algunas especies de estas bacterias aisladas de otros ambientes, han sido utilizadas de forma exitosa para el desarrollo de diferentes productos probióticos.

La fermentación del pulque se puede considerar como un ambiente naturalmente enriquecido en el que se desarrolla una fermentación ácida y una fermentación alcohólica. Los microorganismos que desarrollan estos procesos se han adaptado a este ambiente y de forma relevante, todos los que hemos consumido

pulque, sentimos que la fermentación “sigue trabajando” en nuestro intestino. Esto sugiere que las bacterias naturalmente asociadas a la fermentación son capaces de resistir las condiciones extremas que existen en el estómago y llegar vivas al intestino.

Con estos antecedentes y con el objetivo de evaluar el potencial probiótico de las bacterias lácticas presentes en el pulque, aislamos diversas bacterias de este grupo, identificadas como *Leuconostoc mesenteroides* que fueron sometidas a estudios de resistencia a una enzima llamada lisozima (presen-





Este trabajo se basa en las siguientes publicaciones científicas:

1. Escalante, A. David R. López-Soto, D.R., Velázquez-Gutiérrez, J.E., Giles-Gómez, M., Bolívar, F., López-Munguía, A. (2016), Pulque, a traditional Mexican alcoholic fermented beverage: Historical, microbiological and technical aspects. *Frontiers in Microbiology*, 7: 1026. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01026>.
2. Giles-Gómez, M., Jorge Giovanni Sandoval-García, J.G., Matus, V., Campos-Quintana, I., Bolívar, F., Escalante, A. (2016), *In vitro* and *in vivo* probiotic assessment of *Leuconostoc mesenteroides* P45 isolated from pulque, a Mexican traditional alcoholic beverage. *SpringerPlus*, 5(1):1-10.



te en la saliva), a un pH muy ácido y a sales biliares (condiciones antimicrobianas del estómago y la primera parte del intestino delgado). El efecto antimicrobiano fue evaluado sobre bacterias que causan enfermedades infecciosas como *Escherichia coli* enteropatógena, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhi* y *Salmonella typhimurium* (a las que llamaremos bacterias patógenas).

Los resultados de este estudio mostraron que estos aislados del pulque (bacterias *Leuconostoc mesenteroides*) son capaces de resistir las condiciones antimicrobianas evaluadas, que fueron similares o mejores a las presentadas por una bacteria probiótica comercial de referencia (*Lactobacillus casei* Shirota). Además, todas las cepas aisladas del pulque que se evaluaron, presentaron mayor capacidad de inhibir el crecimiento *in vitro* (esto es, en una prueba de laboratorio) de las bacterias patógenas incluidas en el estudio, respecto a la cepa probiótica comercial (*Lactobacillus casei* Shirota).

Evaluamos además, si la administración de la bacteria láctica *Leuconostoc mesenteroides* previene la infección inducida por la bacteria patógena *Salmonella typhimurium* en ratones. Los roedores que fueron tratados con la cepa

de *Leuconostoc* durante varios días previos a la infección con el patógeno (*Salmonella typhimurium*), mostraron una disminución del nivel de infección de la *Salmonella*, lo que indica que los aislados de *Leuconostoc mesenteroides* dan protección contra la infección por *Salmonella*.

Estos resultados han permitido encontrar los fundamentos que explican los beneficios sobre la salud humana que tradicionalmente se asocian al consumo de aguamiel y de pulque. Sin embargo, a pesar del amplio arraigo del pulque en la farmacopea tradicional, dado el contenido de alcohol que posee (en particular el pulque), es difícil promover su consumo aún considerando sus efectos benéficos. No obstante, la posibilidad de emplear bacterias lácticas aisladas del aguamiel y del pulque como bacterias probióticas, es de gran relevancia ya que puede abrir la puerta al desarrollo de probióticos mexicanos. Los estudios que hemos realizado para caracterizar el potencial probiótico de algunas bacterias lácticas del aguamiel y del pulque, han sentado las bases científicas de algunos de los beneficios hacia la salud humana asociadas al consumo de estas bacterias.

Contacto: [adelfo@ibt.unam.mx](mailto:adelfo@ibt.unam.mx)

# Conozca la primera plataforma biotecnológica *upstream* completamente integrada

Stefan Schlack

Vicepresidente Senior, Marketing y Product Management de Sartorius Stedim Biotech



El catálogo de productos y servicios exclusivo que cubre ampliamente todas las etapas, desde el desarrollo de líneas celulares hasta el proceso de fabricación comercial.

Sartorius Stedim Biotech (SSB), proveedor líder internacional del sector biofarmacéutico, ha desarrollado una plataforma de tecnología innovadora completamente integrada para satisfacer los requisitos actuales de los procesos *upstream*. Esta plataforma combina un sistema de expresión de alto rendimiento, equipamiento y un sistema excepcional de control de procesos para lograr el rápido desarrollo y el escalado robusto de procesos de fabricación de altos títulos en etapa comercial.

El sector biofarmacéutico se enfrenta a una serie de retos que debe abordar con el fin de ofrecer productos seguros y eficaces a un mercado que se ha tornado cada vez más competitivo a partir de la aparición de productos biocomparables. Las compañías deben evaluar con rapidez y luego orientar sus inversiones hacia aquellos medicamentos que tienen mayor probabilidad de éxito en alcanzar la fase comercial. Para ello, deben reducir considerablemente los tiempos en las primeras etapas de desarrollo y acelerar la llegada a la fase clínica.

La plataforma de tecnología *upstream*, que combina una amplia gama de productos y servicios que Sartorius Stedim Biotech ha desarrollado, aborda este reto manteniendo el compromiso con la calidad de sus productos y mejorando el rendimiento y

la robustez en los procesos. Los fabricantes de biofármacos podrán llegar a la fase clínica en un plazo de 14 meses, gracias al uso de esta nueva propuesta. La plataforma de expresión CHO (libre de regalías) de la subsidiaria de SSB, Cellca, ofrece alta productividad y altos títulos. Cellca puede establecer un banco de células de investigación (*research cell bank*) para sus clientes en tan solo 4 meses. El sistema automatizado de microbiorreactores ambr15 es capaz de controlar entre 24 y 48 experimentos en paralelo para acelerar la selección de clonas y facilitar el escalado a los biorreactores *single-use* BIostat® STR, equipamiento sólido ya implementado con éxito en escalas piloto y de producción en entorno GMP. Para reducir aún más el tiempo de las primeras etapas del desarrollo, Sartorius Stedim Biotech, a través de los servicios de BioOutsource ofrece más de un centenar de ensayos precalificados para realizar los estudios y análisis de biocomparabilidad de forma rápida y segura.

"Nuestra actual plataforma de *upstream* es única en el mercado y aborda en forma completa y excepcional las necesidades de los clientes y los retos del sector biofarmacéutico. Conecta tecnologías de alto desempeño e incorpora la biología al procesamiento *single-use*. Por lo tanto, estamos presentando un nuevo nivel de eficiencia en el procesamiento *upstream*", afirma Stefan Schlack, Vicepresidente Senior, Marketing y Product Management de Bioprocess Solutions de Sartorius Stedim Biotech.



Microbiorreactores ambr15



Biorreactor BIostat® STR



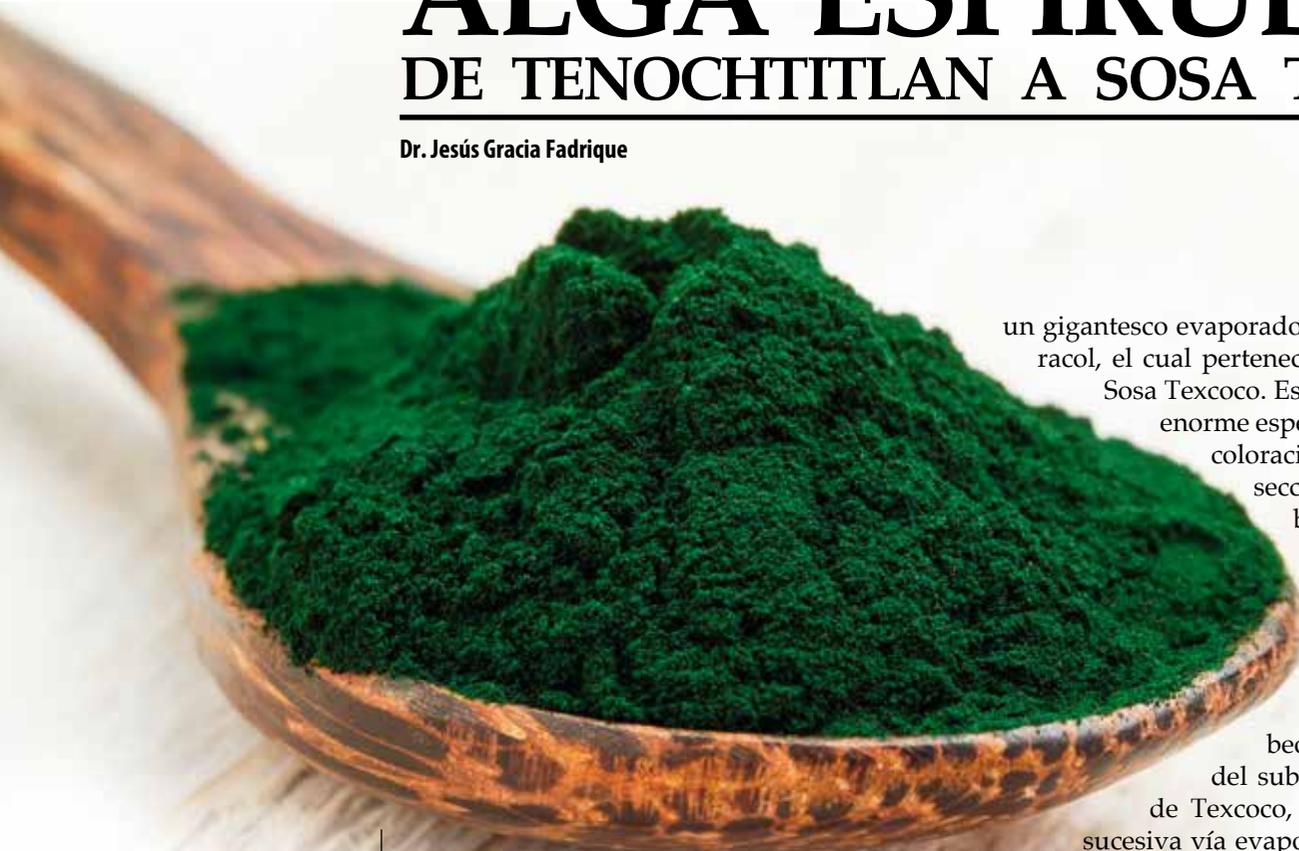
sartorius

Más información:  
Sartorius de México S.A de C. V.  
Tel. +52 (55) 5562 1102  
E-mail: leadsmex@sartorius.com

(Inserción pagada)

# ALGA ESPIRULINA DE TENOCHTITLAN A SOSA TEXCOCO

Dr. Jesús Gracia Fadrique



La espirulina es una microalga verde-azul, perteneciente al género *Arthrospira*, familia *Microcoleaceae*, orden *Oscillatoriales*, clase *Pyanophyceae*. Está considerada como una cianobacteria y se denomina *Arthrospira platensis*. Recibe el nombre comercial de espirulina por su forma espiral. Estudios nutricionales revelan que esta microalga es una de las fuentes alimenticias más ricas en proteína, además de contener de manera equilibrada grasas, carbohidratos y vitaminas. Los aminoácidos esenciales están presentes y su contenido proteico es de hasta un 70 %. En medio acuoso, en el que se desarrolla de manera natural, puede crecer satisfactoriamente en contenidos salinos hasta cinco veces mayor a los del agua del mar y a una alcalinidad extrema. Las temperaturas óptimas para su crecimiento son compatibles con los climas tropicales y desértico. En esta ecología hostil, difícilmente se desarrollan otro tipo de microorganismos que puedan competir y contaminar a la especie más favorecida por el medio ambiente y la evolución. La espirulina crece así, básicamente a partir de agua, nutrientes y radiación solar, en un entorno que asegura su hegemonía (1).

Quienes viajaban por vía aérea desde o hacia la Ciudad de México por el occidente, en la década de los 80's, tenían el privilegio de contemplar las enormes dimensiones y colorido de

un gigantesco evaporador solar en forma de caracol, el cual pertenecía a la empresa estatal Sosa Texcoco. Este caracol constituía un enorme espejo de agua de diferente coloración en cada una de sus secciones, divididas por bordos, anunciadas por diversas tonalidades del color verde.

El espejo de agua se encontraba alimentado por más de 200 sistemas de bombeo que extraían salmuera del subsuelo del antiguo vaso de Texcoco, para su concentración sucesiva vía evaporación solar y después ingresar a la planta de Sosa Texcoco, destinada a la producción de carbonato de sodio y sosa cáustica, dos compuestos muy solicitados por la industria. En sus mejores momentos, la planta llegó a producir 700 toneladas diarias de carbonato de sodio.

Está de más advertir del carácter alcalino de las salmueras extraídas; las mismas que formasen el medio lacustre de las antiguas culturas del Valle de México y su mayor y más importante representante: Tenochtitlan. En efecto, en su tiempo, los lagos de Texcoco, Zumpango, Xaltocan y Tenochtitlan, fueron lagos salobres, mientras que los canales de Chalco y Xochimilco lo eran de agua dulce.

La evaporación de las salmueras, deja ver un residuo sólido conocido como tequesquite, mezcla de cloruro de sodio, carbonato y bicarbonato de sodio; material que aún se expende en los mercados tradicionales de la Ciudad de México. Pero lo más importante es el origen y coloración de las salmueras, causada por un organismo microscópico denominado "alga espirulina".

El caracol fue concebido y construido bajo la supervisión del Ing. Hermión Larios, en el marco de un proyecto de habilitación del agua de la zona (por lavado), para su uso agrícola. Este objetivo no se logró, pero cumplió con otros destinos, al funcionar como evaporador solar y disminuir las polvaredas sobre la ciudad de México.



La capacidad estimada de evaporación de las 900 hectáreas del caracol, ascendió a 10,000 m<sup>3</sup>/ día.

Para los ingenieros de Sosa Texcoco, la presencia de material orgánico en las salmueras concentradas fue un problema crónico en las operaciones de la planta, especialmente la producción de espuma. Por mucho tiempo se emplearon biocidas con la idea de combatir el alga, sin saber que a partir de ella se abriría una nueva etapa de producción en la planta.

## Redescubriendo el alga espirulina

Durante el periodo de 1964-1965, se desarrolla una expedición conjunta Francia-Bélgica (2), la primera travesía Trans-Sahariana, desde la costa Atlántica (Marruecos) hasta el Mar Rojo (Egipto), con el fin de recolectar polen, semillas, rocas, plantas y construir un herbario de un trayecto desconocido desde el punto de vista botánico. Al arribo de la expedición a la República del Chad (África), encuentran en uno de sus mercados un producto denominado *Dihe*, con tonalidad verdosa, en forma de tortilla, para consumo humano. Al parecer es un alimento a base de algas colectadas en el lago Chad. El análisis de ese material por parte del Instituto Francés del Petróleo y las tortillas encontradas en el mercado de Chad confirman que se trata del mismo material: *Spirulina platenis* con un contenido proteico entre 65 y 70 %.

Cuando la empresa Sosa Texcoco, por relaciones de cooperación tecnológica con el Instituto Francés del Petróleo, conoció el potencial alimenticio y nutricional del alga, destinó 20 hectáreas del caracol al cultivo y estudio del alga espirulina. La primera planta piloto inicia en 1973 con una capacidad de una tonelada de biomasa seca por día. El proceso consistía en la filtración del alga para obtener un concentrado gelatinoso que era secado por aspersión (el proceso que se usa, por ejemplo en la producción de leche en polvo). Antes de su clausura, la planta llegó a producir tres toneladas de biomasa seca por día. El valor agregado en la producción de alga superó al de la producción de carbonato de sodio.

En 1993, la decisión de desaparecer a Sosa Texcoco como industria paraestatal, conduce a la quiebra forzada de la empresa y al cierre definitivo de sus instalaciones.

## Espirulina en el México Prehispánico

Hay varias citas bibliográficas que documentan que el alga espirulina se producía y consumía en el México prehispánico. Un muy interesante artículo (3), demuestra que los habitantes de Tenochtitlan consumían cantidades considerables de un alga verde-azul. El trabajo está fundamentado en diferentes referencias históricas asociadas al vocablo "Tecuitlatl" (o Tecuitlate) que consistía en la recolecta y consumo de cierta lama que se obtenía de la parte salobre del Lago de Texcoco.

En las citas utilizadas de ese artículo, se presentan fuentes de primera importancia, como la "Historia Verdadera de la Conquista de la Nueva España" de Bernal Díaz del Castillo (4) en su relato del tianguis de Tlatelolco:

*"...pues pescaderos y otros que vendían unos panecillos que hacen de una como lama que cogen de aquella gran laguna que se cuaja y hacen panes de ello que tiene un sabor a manera de queso."*

Luis Cabrera (5), en su "Diccionario de Aztequismos" expresa del tecuitlate que *"es una especie de musgo o ahuaotle, que se cría adherido a las piedras de los lagos y que lo indios comían secándolo y asándolo en forma de tortas. Etimología: tecuitlatl, suciedad de las piedras; de tetl, piedra y cuitlal, suciedad"*.

En los memoriales de Fray Toribio de Motolinia (6) se dice *"críanse sobre el agua de la laguna de México unos como limos muy molidos, y á cierto tiempo del año que están cuajados, cogenlos los indios con unos redejoncillos de malla muy menuda, hasta que hinchen los acales ó barcos dellos, y á la ribera hacen sobre la tierra ó sobre arena unas eras muy llanas con su borde de dos o tres"*.

Bernardino de Sahagún (7) menciona también la palabra Tecuitlate: *"Hay unas urrosas que se crían sobre el agua que se llaman Tecuitlate: son de color azul claro; después hacen unas tortas de ello, y tostadas las comen"*.

En la "Relación de Texcoco" de Juan Bautista Pomar (8) se encuentran importantes referencias



El alga espirulina fue un ingrediente cotidiano en la alimentación de los pueblos que circundaron los grandes lagos del altiplano mexicano. Su alto contenido proteico debió contribuir al estado de salud de estos pueblos



sobre las características del antiguo lago de Texcoco, la presencia de sales y la alimentación de los pobladores: "...lo primero es mucha casa de aves que toman con redes, y el pescadillo que cogen, de que se mantienen casi todo el año, y un género de comida llaman tecuitlatl, que hacen de unas lamas verdes que cría, lo cual hecho tortas y cocido, queda de un color verde obscuro, que llaman los españoles queso de la tierra."

## Redescubrimiento y potencial

Los antecedentes históricos remotos, confirman que el alga espirulina fue un ingrediente cotidiano en la alimentación de los pueblos que circundaron los grandes lagos del altiplano mexicano. Su alto contenido proteico debió contribuir al estado de salud de estos pueblos. El redescubrimiento del alga espirulina condujo a México a ocupar el primer lugar en su producción a nivel mundial. Se desarrollaron también trabajos de investigación sobre usos, técnicas de producción y aplicaciones (1).

Con la quiebra forzada de Sosa Texcoco, México perdió el caracol y con ello el liderazgo en el tema. El gigantesco biorreactor de 900 hectáreas, es ahora un lúgubre esqueleto de una ancestral tecnología de cosecha de uno de los alimentos más promisorios que, afortunadamente, se está redescubriendo en la actualidad.

Contacto: [jgraciaf@unam.mx](mailto:jgraciaf@unam.mx)

### Referencias

1. J. Gracia-Fadrique, J. (1982), Invención, Innovación y Difusión tecnológica, Alga Spirulina. *Universidades en la Política Científico Tecnológica de América Latina, México. vol IV. 73 páginas.*
2. Léonard, J. (1966), The 1964-65 Belgian Trans-Saharan Expedition. *Nature*, vol 209 (January 8):126-128.
3. Farrar, W.V. (1966), Tecuitlatl: A Glimpse of Aztec Food Technology. *Nature*, vol 211 (July 23):341-342.
4. Díaz del Castillo, B. (1955), Historia Verdadera de la Conquista de la Nueva España. *Editorial Porrúa, México, 279 páginas.*
5. Cabrera, L. (1980), Diccionario de Aztequismos. *Ed. Oasis, México.*
6. de Motolinía, Fray Toribio (1903), Memoriales (Documentos Históricos de Mejico 1-327), México.
7. de Sahagún, B. (1931), Historia General de las cosas de Nueva España, en *Antiquities of Mexico* de Lord Kingsborough, London, tomo 7, p. 351.
8. Bautista Pomar, J. (1975), Relación de Texcoco, Siglo XVI. *Biblioteca Enciclopédica del Estado de México.*

El Dr. Jesús Gracia Fadrique es Profesor-Investigador en la Facultad de Química de la UNAM, Departamento de Físicoquímica.

**Ven y conoce el Aracnario del IBt**

El IBt cuenta con un aracnario donde se pueden admirar diferentes especímenes de estos interesantes animales, en condiciones de completa seguridad,

*Manipulados por su curadora, la M. en B. Herlinda Clément.*

Se reciben (previa cita) visitas del público, preferentemente de jóvenes y niños a partir de nivel preescolar.

**Contacto:**  
[linda@ibt.unam.mx](mailto:linda@ibt.unam.mx)

UNAM Instituto de Biotecnología



*Fundación*  
**UNAM**  
**MORELOS**

Tel. 777100 100 3

contacto@funammorelos.org

Avenida Teopanzolco 11 Colonia Jacarandas  
Cuernavaca, Morelos

# CIENCIA y cultura...

HASTA LA SEPULTURA



[www.revistac2.com](http://www.revistac2.com)

Más de 60 mil  
impactos en México



## El Innovador

Innovación y Competitividad en la Sociedad del Conocimiento

Más de 7 millones de reproducciones  
en redes sociales

### CONTENIDO PERIODÍSTICO ORIGINAL

- Cultura de innovación empresarial
- Emprendimiento  
y toma de decisiones
- Patentes, transferencia  
de tecnología y conocimiento
- Publireportajes

**ANÚNCIATE** en El Innovador e impacta positivamente en las industrias

contacto@elinnovador.mx

Tel.: 01 (55) 63896667



El Innovador Oficial



sartorius stedim  
biotech

ambr<sup>®</sup> 250

+ MFCS | SIMCA MVDA

+ BIOSTAT STR<sup>®</sup>

Quality by Design

## Connect Upstream for Quality by Design

Establezca rápidamente el espacio de diseño con nuestros minibiorreactores ambr<sup>®</sup> 250. Escale fácilmente hasta biorreactores BIOSTAT STR<sup>®</sup> con nuestra nueva herramienta de conversión de escala. Simplifique el análisis de datos y la gestión de conocimiento a través de los escalados con nuestro sistema MFCS SCADA y el software Umetrics integrado para el diseño experimental (DoE) y el análisis de datos multivariantes (MVDA). [www.connect-upstream.com/es](http://www.connect-upstream.com/es)



Sartorius de México S.A de C.V.  
Tel. +52 (55) 5562 1102

Rapidez a Fase Clínica

Altos Títulos

Quality by Design

Producción Robusta