



Exposición de motivos

Dr. Enrique Galindo Fentanes

Premio AgroBIO México 2010

Categoría de “Trayectoria de Investigación en Biotecnología”

PRINCIPALES APORTES CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS

Producción y uso de viscosificantes y texturizantes para la industria alimentaria

La goma xantana es un biopolímero de amplio uso en la industria alimentaria, en donde se emplea como agente viscosificante de bebidas y alimentos. Mi grupo ha estudiado diversos aspectos involucrados en la producción de la goma xantana. La producción de este polímero representa importantes retos para la ingeniería de bioprocesos ya que la viscosidad del caldo de cultivo se incrementa hasta en cinco órdenes de magnitud durante el proceso. Hemos estudiado diversos aspectos involucrados en la producción y recuperación de esta goma. Hemos contribuido al entendimiento del comportamiento reológico de caldos de fermentación de alta viscosidad así como del uso óptimo de la energía de agitación para lograr la homogenización del caldo durante la fermentación. Nuestros trabajos han permitido el diseño de fermentadores y condiciones de operación que permiten obtener altas concentraciones de goma, el parámetro de mayor relevancia en la economía del proceso. En los aspectos tecnológicos, desarrollamos un proceso de producción de la goma a nivel piloto y procesos de recuperación y purificación que permiten obtener un producto tanto grado técnico como grado alimentos. En este campo tenemos tres patentes otorgadas. Buena parte de mis aportaciones se conjuntaron en el desarrollo de una tecnología de producción de esta goma microbiana a nivel piloto, la cual fue transferida al sector productivo y posteriormente escalada a nivel semi-industrial. Una parte importante de este trabajo fue merecedor del *Premio Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos* (en su categoría Profesional) en 1987.

Por otra parte, los alginatos son polímeros que se usan en la industria alimentaria como viscosificantes, texturizantes, agentes formadores de geles y tienen potencial para emplearse como fibra soluble. Son comercialmente producidos a partir de su extracción de algas marinas. Mi grupo de investigación ha estudiado la posibilidad de producir alginatos de fuentes microbianas, lo que tendría ventajas respecto a la fuente algal, ya que podrían producirse bajo condiciones industriales controladas y con características *ad hoc*. En colaboración con biólogos moleculares hemos generado cepas microbianas modificadas y sistemas de cultivo que han permitido lograr elevados rendimientos y con características moleculares del alginato muy atractivas para los usos específicos de éstos polímeros en sus aplicaciones en el desarrollo de alimentos, incluyendo la producción del alginato microbiano con el más alto peso molecular descrito hasta ahora en la literatura, lo que resulta atractivo para casos en los que la industria

requiere de altas viscosidades, sin necesidad de cambiar la composición del alimento de manera importante. Un trabajo en esta area resultó finalista en el *Premio Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos* (en la categoría Profesional) en 1997.

Destacaría dos publicaciones que revisan nuestras principales aportaciones en estos temas:

- “Aspects of the process for xanthan production”, E. Galindo, **Food and Bioproducts Processing** (Trans. I. Chem. part C), **72**:227-237 (1994).

- “Molecular and bioengineering strategies to improve alginate and polydihydroxyalkanoate production by *Azotobacter vinelandii*”, Galindo, E., Peña, C., Núñez, C., Segura, D., Espin, G., **Microbial Cell Factories** 6 (7): 1-16 (2007).

Producción de aromas frutales por fermentación

Mi grupo ha estudiado la producción microbiana de aromas frutales, como una alternativa biotecnológica para la producción de aditivos considerados como *naturales* para la industria alimentaria. Hemos estudiado diversos aspectos del proceso de producción de la 6-pentil- α -pirona (aroma a coco) y la γ -decalactona (aroma a durazno) por fermentación, incluyendo la manipulación de condiciones hidrodinámicas y estrategias de fermentación extractiva, que maximizan la productividad de éstas moléculas. Nuestros trabajos han logrado la concentración más alta reportada en la literatura científica y de patentes, del compuesto de aroma de coco, obtenida por fermentación sumergida. Parte de éstos trabajos fueron distinguidos con el *Premio Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos* (en su categoría estudiantil) en 1995 y en su categoría profesional en el 2002.

Biosensores para la industria alimentaria

Esta línea se refiere al desarrollo y aplicación de biosensores para la determinación rápida y sencilla de compuestos como azúcares y alcoholes, de gran importancia en la industria alimentaria. Mi grupo ha desarrollado biosensores para la cuantificación de lactosa, galactosa y antibióticos en leche; para la determinación de glucosa en diversas aplicaciones y para la determinación de etanol en bebidas alcohólicas y procesos de fermentación. En esta línea de investigación, además de haber publicado trabajos en revistas indizadas de alto impacto, hemos desarrollado prototipos de medidores electroenzimáticos que han sido probados exitosamente en su campo de aplicación. El liderazgo en esta área hizo que la UNESCO me haya invitado a escribir el capítulo “Biosensors” en la *Encyclopedia of Life Support Systems* (2002).

Escalamiento de bioprocesos e hidrodinámica de procesos de fermentación

Escalar un proceso de fermentación involucra el cambio de las condiciones ambientales. Estos cambios no siempre son bien conocidos y, en consecuencia, los procesos de escalamiento siguen siendo muy empíricos. Nuestros trabajos en esta línea de investigación han establecido la influencia de algunos de los cambios ambientales que suceden cuando se escala un proceso, de la manera mas cuantitativa posible. Nuestro enfoque ha sido el simular, en un fermentador de laboratorio, las condiciones que imperarían en fermentadores de gran escala. La simulación se ha llevado a cabo usando como parámetro el oxígeno disuelto y generando perfiles oscilatorios mediante un sistema de fermentación computarizado. De esta forma, haciendo experimentos en fermentadores de laboratorio, hemos sido capaces de predecir lo que sucedería cuando se escalara el proceso. Con esta herramienta, en nuestro laboratorio hemos estudiado el escalamiento de procesos para la producción de enzimas y de alginatos.

Por otra parte, estamos interesados en conocer, de forma detallada y fundamental, el comportamiento del mezclado de las fases involucradas en procesos de fermentación en donde se requiere homogenizar varias fases. Como sistema de estudio hemos usado el proceso de producción de aromas frutales por el hongo *Trichoderma harzianum*, que involucra dos fases líquidas, una gaseosa y una sólida. Hemos establecido los mecanismos de transporte que han permitido -por un lado- entender las complejas interacciones de las fases y por el otro, estrategias de cultivo que maximizan la productividad de éstas moléculas. Asimismo, hemos desarrollado infraestructura experimental novedosa para llevar a cabo estudios de mezclado, análisis de imágenes, consumo de potencia y transferencia de oxígeno en procesos de fermentación. Parte de estos desarrollos se hicieron acreedores a una Mención Honorífica del *Premio CANIFARMA 2007*. De forma general, hemos demostrado la gran importancia que las condiciones hidrodinámicas tienen en la producción de metabolitos que incluyen polisacáridos microbianos (como la goma xantana y los alginatos), aromas frutales producidos por hongos filamentosos y colorantes y arabinogalactoproteínas producidos por cultivo de células vegetales.

Destacaría los siguientes trabajos en donde hemos revisado nuestras principales aportaciones en esta línea de investigación:

- Lara, A. R., Galindo, E., Ramírez, O. T., Palomares, L. A, “Living with heterogeneities in bioreactors: understanding the effects of environmental gradients on cells”, *Molecular Biotechnology* 34: 355-382 (2006)

- E. Galindo, “Aspectos de Ingeniería en Fermentaciones: cómo mezclar gases, líquidos y sólidos”, E. Galindo, *Descubrimientos y Aportaciones Científicas y Humanísticas Mexicanas en el Siglo Veinte*, Academia Mexicana de Ciencias (2008).

- Corkidi G., Serrano-Carreón L., Galindo E., “Análisis digital de imágenes para la caracterización microscópica de parámetros críticos en la producción fermentativa de metabolitos secundarios”, *Revista Colombiana de Biotecnología* 10(1):75-93 (2008).

Desarrollo de tecnologías de control biológico de la principal enfermedad del mango, que logran frutas de alta calidad, para el mercado de exportación

Este proyecto se originó por la necesidad que tenían los productores de mango de alternativas tecnológicas sustentables, para contender con el problema de la antracnosis y su control, sin usar fungicidas químicos. Mi grupo ha desarrollado tecnologías para el control biológico de la principal enfermedad que afecta al mango (antracnosis), con especial énfasis en el mango de exportación. La antracnosis del mango demerita la calidad y valor comercial de este fruto. El combate a tal infección, mediante un antagonista biológico que permite sustituir el uso de fungicidas químicos convencionales, esta brindando a los productores mayores posibilidades de acceder a los mercados de exportación, cumpliendo exigentes normas de calidad. México es uno de los principales productores de mango a nivel mundial, pero sólo destina el 14 % de su producción nacional para la exportación.

Nuestro grupo de investigación, en colaboración con colegas del CIAD-Culiacán, desarrolló productos sólidos, principalmente a base de microorganismos antagonistas del hongo fitopatógeno *Colletotrichum gloeosporioides*, cuya aplicación en huertos de mango a nivel semi-comercial y comercial, ha demostrado que permite el control de la antracnosis del mango sin la utilización de fungicidas químicos (varios de ellos prohibidos en E.U.A., Europa y Japón). Otro aspecto de gran importancia radica en el hecho de que el biofungicida retrasa la maduración post-cosecha del fruto (sin afectar su calidad), alargando su vida de almacén hasta en un 25 %. Esto ofrece la posibilidad al productor de exportar sus frutos a mercados más lejanos y con mejor precio de comercialización.

A pesar de la gran cantidad de esfuerzos académicos invertidos en el estudio y desarrollo de agentes de control biológico, es paradójico que el uso comercial y a gran escala de este tipo de productos ha sido muy limitado. El desarrollo tecnológico que he coordinado, ha hecho énfasis en los aspectos más críticos que presentan los sistemas de control biológico con potencial de entrar al mercado: la producción reproducible y en gran escala de los antagonistas, el desarrollo de formulaciones con prolongada vida de anaquel y su prueba extensiva en niveles semi-comerciales y comerciales. Las tecnologías de producción se han desarrollado a nivel de planta piloto y se ha llevado a cabo exitosamente el escalamiento a nivel industrial con el fin de contar con suficiente producto para pruebas comerciales. Las pruebas de campo se han llevado a cabo bajo condiciones semicomerciales durante siete ciclos agrícolas. Durante los dos últimos años se han llevado a cabo pruebas comerciales con una empresa mexicana, líder en exportación de mango de muy alta calidad para el mercado japonés. Las pruebas de campo han servido para convencer a los productores de mango, sobre la efectividad y conveniencia del uso de alternativas biológicas para el control de esta enfermedad. Los productos en polvo tienen una vida de anaquel de cerca de un año. Las pruebas para demostrar su efectividad, inocuidad y no-toxicidad han sido concluidas y se han sometido a las autoridades competentes con el fin de lograr el registro correspondiente.

Esta tecnología ha sido protegida mediante una solicitud de patente PCT cuyo examen preliminar de novedad ha sido positivo. Los principales aportes tecnológicos en este campo se han publicado,

por invitación, en la revista *Claridades Agropecuarias*. La tecnología se desarrolló usando cepas microbianas de la microflora nativa de huertos de mango del estado de Sinaloa (incluyendo a una levadura que por primera vez se reporta como agente de control biológico). Los procesos de producción desarrollados son robustos y utilizan materias primas de bajo costo. Los formulados son de fácil manejo y aplicación y no presentan residuos que pudieran afectar a la salud humana o contaminar el medio ambiente. Actualmente, una empresa de la incubadora del Centro Morelense de Innovación y Transferencia Tecnológica (CeMITT) se encuentra en negociaciones con el IBt-UNAM para la transferencia de las tecnologías, que permitirían la eventual comercialización de los biofungicidas.

Este desarrollo es único en México ya que ha abordado tanto los aspectos científico-tecnológicos, como los necesarios para que pueda tener éxito a nivel comercial, incluyendo aspectos de propiedad intelectual, registros ante autoridades sanitarias y agrícolas y pruebas exitosas de campo que han demostrado la efectividad del biofungicida y han generado interés y confianza entre los productores de mango de exportación.

Por otra parte, nuestros trabajos han contribuido al desarrollo de metodologías de alta tecnología para el monitoreo de la calidad del mango. Hemos desarrollado un innovador sistema, basado en el análisis de imágenes, que permite la cuantificación objetiva y precisa de la calidad de los frutos y la incidencia de la enfermedad. Esto es un parteguas en el campo, ya que todas las técnicas utilizadas hasta el momento son de carácter cualitativo y basadas en escalas hedónicas. Mediante un financiamiento del Fondo Mixto CONACyT-Gobierno del Estado de Veracruz, se desarrolló un prototipo portátil y robusto que pueda ser usado en laboratorios de campo. La posibilidad de medir, en campo, la calidad del mango usando técnicas de análisis de imágenes, les dará a los productores, la posibilidad de cuantificar (en forma muy precisa) y de certificar la calidad de sus cosechas. También les permitirá, a las agencias reguladoras o encargadas de dar asesoría técnica a los productores, establecer patrones inequívocos para comparar calidad de mangos cultivados bajo diferentes condiciones de manejo agronómico y de postcosecha. Asimismo, será posible “calibrar” (en función del área medida de las lesiones de antracnosis) las escalas hedónicas que actualmente se usan, las cuales se emplean sin calibración alguna que incluya parámetros objetivos, cuantitativos y reproducibles. Asimismo, la posibilidad de evaluar en forma precisa y objetiva la calidad del mango, permitirá a los productores de ese fruto, proponer y validar, en forma rigurosa, estrategias de control (biológicas y/o químicas) de la antracnosis en sus huertos, lo que redundará en mangos de mayor calidad, que podrán ser comercializados a precios mas altos, teniendo lo anterior un impacto económico para el productor. Este desarrollo fue merecedor del Primer Lugar Internacional del *Media Cybernetics '2002 Image-Pro In Action Contest*, que convoca la empresa líder mundial en procesamiento de imágenes, a nivel mundial.

Destacaría los siguientes trabajos en donde hemos reportado (y revisado) los principales aspectos de esta línea de investigación:

- Galindo, E., Carrillo-Fasio, J.A., García-Estrada, R. S. y Patiño-Vera, M. (2005) Tecnologías para el control biológico de la principal enfermedad del mango (antracnosis) y el efecto en su calidad poscosecha. *Claridades Agropecuarias*, 148: 50-59.
- Serrano-Carreón, L. y Galindo, E. (2007). El control biológico de fitopatógenos: un reto multidisciplinario. *Ciencia* (Revista de la Academia Mexicana de Ciencias) 58(1): 77-88.
- Corkidi, G., Balderas-Ruiz, K., Taboada, B., Serrano-Carreón, L., and Galindo, E. (2006). Assessing mango anthracnose using a new three-dimensional image analysis technique to quantify lesions on fruit. *Plant Pathology*, 55(2): 250-257.
- Galindo, E., Serrano, L., Trujillo, L., Carrillo, A., García, R., Allende, R., y Patiño, M. (2006) “Método para obtener una composición líquida con *Rhodotorula minuta*, efectiva para control biológico de antracnosis y la composición obtenida”. **Solicitud de Patente PCT/MX 2006/000108**. Examen preliminar de novedad (22 de Junio de 2007). Resumen publicado el 24 de Abril de 2008.
- Corkidi-Blanco, G., Rojas-Domínguez, A., Balderas-Ruíz, K., Sangabriel-Mendoza, J. C., Serrano-Carreón, L., Galindo-Fentanes, E. (2010) Una nueva herramienta para la caracterización precisa y cuantitativa de la antracnosis del mango, de utilidad para fitopatólogos, productores y exportadores, *Claridades Agropecuarias*, 198: 39-47.
- Serrano-Carreón, L., Balderas-Ruíz, K., Wong-Urrea, M. A., Rosas-Velázquez, D. R., Galindo, E. (2010) Biofungicidas para el control de la antracnosis del mango: logrando frutos de alta calidad internacional para mercados exigentes, *Claridades Agropecuarias* (en prensa).

Otros aspectos tecnológicos

Otra de mis contribuciones es el desarrollo de productos que mejoran la producción de papa. En este particular, hemos demostrado, a nivel semi-comercial, que es posible incrementar sustancialmente la calidad poscosecha de este tubérculo, cuando se han usado los productos desarrollados en el IBT-UNAM. Parte de estos trabajos constituyeron la tesis de maestría de uno de mis estudiantes de maestría, tesis que se hizo acreedora al *Premio AgroBIO 2005* en biotecnología agrícola.



GALINDO FENTANES ENRIQUE
galindo@ibt.unam.mx

SEMBLANZA CURRICULAR

En 1979 se recibió como Ingeniero Químico en la Universidad Autónoma de Puebla. La maestría y el Doctorado en Biotecnología, los obtuvo en la UNAM en 1983 y 1989, respectivamente. Realizó una estancia posdoctoral en la Universidad de Birmingham (Inglaterra) y una estancia de

investigación en el Politécnico de Zurich (ETH) en Suiza. Actualmente es Investigador Titular "C" del Instituto de Biotecnología de la UNAM.

El Dr. Galindo es autor de más de 100 artículos de investigación original. Ha sido invitado a escribir contribuciones en diversos foros, destacando capítulos en libros, diversos trabajos de revisión y de divulgación. Ha participado en el desarrollo de tres procesos biotecnológicos que han sido transferidos a sus usuarios. Destaca su labor en la formación de recursos humanos de alto nivel (posgrado), de licenciatura y a nivel de educación media superior. Por su trayectoria le fue otorgada la Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos, así como el Premio de la Academia de la Investigación Científica y el Premio Sven Brohult, máxima distinción que otorga la Fundación Internacional para la Ciencia, siendo el Dr. Galindo el primer mexicano en recibirla.

Desde 1984 es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, donde tiene el nivel III desde 1999. Es miembro regular de la Academia de Ingeniería, de la Academia Mexicana de Ciencias y de la Academia de Ciencias de Morelos, siendo Presidente durante el período 2007-2008, además, fue Presidente Nacional de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C. (1998-2000). Actualmente es Jefe del Departamento de Ingeniería Celular y Biocatálisis del Instituto de Biotecnología de la UNAM, en Cuernavaca, Morelos. Se desempeñó también como integrante del Comité de Trabajo de Ingeniería y Tecnología del Foro Consultivo Científico y Tecnológico, como miembro de la Comisión Dictaminadora del SNI en el área VI (Biotecnología y Ciencias Agropecuarias) y como miembro del comité editorial de la revista *Process Biochemistry*.

LINEAS DE INVESTIGACIÓN

El desarrollo de las técnicas de cultivo celular en gran escala, conocida de forma genérica como tecnología de fermentación, ha sido uno de los aspectos cruciales, en lo que se refiere a la comercialización de las biotecnologías, ya que, literalmente hablando, existen muchos microorganismos capaces de producir bioproductos potenciales de interés comercial. Sin embargo, el traspaso de estos esquemas de laboratorio a sistemas comerciales de gran escala es lo que hace que finalmente los productos biotecnológicos estén a disposición de los consumidores.

Un fermentador es un recipiente en donde se promueve el crecimiento de células u organismos con el fin de producir un producto específico, el cual puede ser el microorganismo, célula u organismo en sí, o bien alguna sustancia producida por el mismo. Debido a que el cultivo en un biorreactor constituye un ambiente artificial, las células cultivadas en biorreactores están expuestas a diferentes tipos de estrés, por lo tanto, la producción de un determinado tipo de célula, así como el nivel de producción de un cierto metabolito, se ven influenciados principalmente por las condiciones ambientales imperantes en el reactor.

Estas condiciones, a su vez, están estrechamente ligadas a las características físicas del caldo de cultivo (como su viscosidad), la capacidad del reactor para mezclar el caldo y transferir oxígeno (ya que la mayoría de los cultivos requiere un suministro constante de oxígeno). En nuestro grupo de investigación, nos interesa principalmente el estudio de tres aspectos particulares de la ingeniería de bioprocesos: a) cómo se comporta un cultivo bajo las condiciones estresantes que prevalecen en un fermentador, desde el punto de vista hidrodinámico; b) qué sucede cuando un proceso de fermentación se escala a niveles mayores a los del laboratorio y c) cómo explotar este conocimiento para el desarrollo y diseño de mejores equipos y sistemas de fermentación que puedan ser aplicados en la industria.

Nuestros modelos de estudio han incluido la producción de polisacáridos microbianos (xantana y alginatos), de enzimas de uso farmacéutico o alimentario, la producción de aromas frutales (coco, durazno) y la producción de agentes de control biológico (biofungicidas) para uso en la agricultura.

Polisacáridos microbianos.

La producción de goma xantana (producida por la bacteria *Xanthomonas campestris* y usada como texturizante en la industria de alimentos) es probablemente el proceso

biotecnológico más demandante en términos de mezclado, dado que el caldo de cultivo incrementa su viscosidad hasta en cuatro órdenes de magnitud durante la fermentación. Nuestras contribuciones incluyen el establecimiento de condiciones óptimas de mezclado que maximizan, tanto la producción de la goma, como la calidad y rendimiento de ésta en el proceso de recuperación. En el modelo de estudio de alginatos (producidos por la bacteria *Azotobacter vinelandii*) se ha determinado que su peso molecular depende en gran medida de las condiciones de cultivo y se ha logrado sintetizar alginatos con características reológicas *ad hoc*, incluyendo el polímero de más alto peso molecular hasta ahora reportado.

Aromas frutales.

Un proceso biotecnológico en el que está involucrado el problema de la homogenización de varias fases es el de producción de aromas frutales por el hongo *Trichoderma harzianum*, en el cual se usa un aceite vegetal como la fuente de carbono para el microorganismo. Para caracterizar la dispersión agua-aceite-biomasa, se han desarrollado técnicas avanzadas de video digital y de análisis de imágenes, con las que ha sido posible la observación de las dispersiones de gotas de aceite y de burbujas de aire. La dispersión de las fases inmiscibles de la fermentación se ha caracterizado, tanto a nivel macroscópico como microscópico y se han establecido mecanismos de transporte que han permitido, por un lado, entender las complejas interacciones de las fases (incluyendo la sólida, constituida por el hongo productor de los aromas) y por otro, proponer estrategias de cultivo que incrementen la productividad de estas moléculas.

Escalamiento de fermentaciones.

Uno de los aspectos más cruciales para lograr fermentaciones exitosas a nivel industrial, es el escalamiento del proceso. Escalar un proceso consiste fundamentalmente en reproducir (y en ocasiones mejorar) lo que se logró a nivel de investigación (generalmente en matraces o fermentadores de laboratorio), en fermentadores de nivel industrial, los cuales tienen volúmenes de cientos de metros cúbicos. Con el escalamiento, también se pretende que el producto se pueda obtener con un costo lo más bajo posible. Escalar un proceso de fermentación involucra la variación de las condiciones ambientales. Los cambios implicados no siempre son bien conocidos y, en consecuencia, los procesos de escalamiento siguen siendo muy empíricos. Nuestro enfoque ha sido el de simular, en un fermentador de laboratorio, las condiciones que imperarían en fermentadores de gran escala. La simulación se ha llevado a cabo usando como parámetro el oxígeno disuelto y generando perfiles oscilatorios mediante un sistema de fermentación computarizado. De esta forma,

haciendo experimentos en fermentadores de laboratorio, hemos sido capaces de predecir, en varios modelos biológicos, lo que sucedería cuando se escalara el proceso. Adicionalmente, hemos estudiado el comportamiento de la fermentación en matraces agitados y desarrollado estrategias que permiten escalar el proceso en base a la energía suministrada al sistema.

Aspectos tecnológicos.

En los aspectos tecnológicos, nuestro grupo ha desarrollado procesos para la producción de goma xantana a nivel piloto y para la producción de agentes de control biológico de fitopatógenos que atacan al mango. En este último caso, por ejemplo, se han desarrollado formulaciones de microorganismos antagonistas de la antracnosis del mango, los cuales han sido producidos y formulados a nivel piloto, y probados a nivel semi-comercial en huertos de mango. El uso de estos productos biológicos reduce la severidad de la enfermedad (la más importante de este fruto) en niveles superiores al fungicida químico comercial y, además, permite una vida de anaquel hasta 25 % mayor. Esto ofrece al productor la posibilidad de exportar sus frutos a mercados más lejanos y con mayor precio de comercialización, sin la limitante de llevar residuos de fungicidas químicos en el fruto. Adicionalmente, hemos desarrollado metodologías para la determinación cuantitativa y precisa de la enfermedad, en base al análisis de imágenes de los frutos.

Más información:

<http://pbr322.ibt.unam.mx/Geg/>

www.ibt.unam.mx