

# Biotechnología y color en el mundo prehispánico



**Agustín López Munguía**  
Instituto de Biotecnología, UNAM  
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos.

La revista *Biotechnología en Movimiento*, órgano de divulgación del Instituto de Biotecnología, dedicó un número especial a las tecnologías biológicas que datan de la época prehispánica: (<https://biotechnologiaibtunam.files.wordpress.com/2017/05/bm9.pdf>).

Hemos reproducido ya los artículos dedicados a la espirulina, al pulque y al pozol. En esta ocasión presentamos el artículo relativo a los colorantes. Agradecemos al Comité Editorial de la revista la autorización para reproducir este texto.

## 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 Tlaltecuhtli, 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 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: Tlaltecuhtli, 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 entorno. 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 Tlaltecuhtli, así como en estudios para su esta-

bilización (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 tecoxtili 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. Finalmente, encontramos 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 entre otros aglutinantes un mucílago proveniente del bulbo de las orquideas (*tzacutli*). En efecto, los seis pigmentos empleados para colorear a la Tlaltecuhtli 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 sustancia viscosa de propiedades cohesivas y adhesivas que los mexicas obtenían de los pseudo-bulbos de orquideas de la cuenca de México y del valle de Morelos, entre ellas *amatzautili* (*Encyclia pastoris*), el *tzacuxochitli* (*Bletia campanulata*) y el *chichiltictepetzacuxochitli* (*Laelia autumnalis*).

## Biotechnología y color

Es importante considerar cómo, lo que podríamos denominar tecnología biológica o biotecnológica antigua, practicada en el mundo prehispánico, está siempre asociada con la concepción que en aquellas culturas se tenía de la naturaleza y del papel de los seres humanos en el cosmos. Se aprovecha la enorme riqueza en términos de biodiversidad que caracteriza hasta la fecha la región que conocemos como Mesoamérica, pero siempre dando 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 animal y vegetal. El resultado es un sorprendente colorido característico de las culturas prehispánicas (2).



Fresco de Bonampak

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 *kirmiga*: 'producido por insectos', derivado de *krmi*: 'gusano, insecto'. Químicamente, el colorante rojo intenso del carmín corresponde a una sal aluminica del ácido carminico, considerado como un colorante natural. El ácido kermésico, que se obtiene del insecto *Kermes vermilio*, sólo difiere del ácido carminico en el azúcar con el que se glicosila. Las mujeres se pintaban con el colorante de la cochinilla, como lo ilustra Diego Rivera en los murales de Palacio Nacional.



La cochinilla (*Dactylopius coccus*), insecto hemiptero parásito de plantas, perteneciente a la familia *Dactylopiidae*, cuyo huésped son los nopales o tunas. Las hembras son la base de la grana cochinilla que contiene carmín, un colorante rojo.

## Cochinilla

La cochinilla es un parásito que vive anclado a la penca de la tuna (*Opuntia ficus indica*). 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 tres veces al año. Se requiere de 80,000 a 100,000 insectos para producir un kilogramo 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 carminico. 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 por kilo a principios de ésta década. Hasta la fecha, miles de campesinos viven del cultivo del insecto, particularmente en Perú. El cultivo

## ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial@acmor.org.mx



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. Varios 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

La manera prehispánica de obtener el color púrpura en el México prehispánico es ejemplar. La tinta con el colorante se extrae del caracol Púrpura pansa (*Plicopurpura pansa*), un molusco gasterópodo (del griego γαστήρ gaster, «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; esto solo durante las épocas en las que no se afectaba su reproducción. Lamentablemente, esta armoniosa relación que se mantuvo por varios siglos 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 sacarlos 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 dos mililitros para caracoles chicos, hasta tres o cuatro mililitros para caracoles grandes (de cinco a 6 seis centímetros). Se requiere de unos 15 caracoles grandes para teñir una madeja de algodón de 40 gramos, 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 deriva del aminoácido triptófano, por lo que se encuentra en muy diversas especies, incluidas las plantas, como veremos en la siguiente sección.

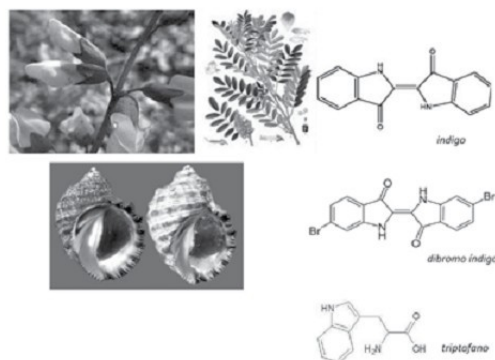


Figura 3. Estructura del índigo de origen vegetal, del añil (*Indigofera suffruticosa*) y del molusco *Plicopurpura pansa*, ambos derivados del triptófano

### el índigo.

#### El azul maya

Otro de los colorantes usados ancestralmente en México es una variante del índigo, el tlacahuilli, extraído de las hojas de la planta xihquilitl o jiquilitte (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 basa-

da 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. 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 nuevamente el mercado al colorante de origen vegetal (eg. la elaboración de "jeans orgánicos"). Destaca también un proceso 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.

#### 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 oleoresina 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 de la flor 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 un 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 hecho de que la incubación de flores de *Indigofera suffruticosa* en un medio adecuado puede liberar el colorante por reacciones biológicas, hace una década desarrollamos un proceso para la extracción de las oleoresinas 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 oleoresina (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 flores en Perú y en la India. Así, después de haber aprovechado un

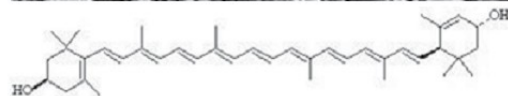
legado de nuestros antepasados, llevando sus aplicaciones a diversos sectores industriales, la flor regresó a un papel en la economía nacional restringido al ornato y las ofrendas.

#### La flor de cempasúchil.

Agradecimiento de fotografías: Archivos Compartidos UAEM-3Ríos

#### Referencias

- Barajas, M., Bosch, P., Malvaéz, C., Barragán, C. and Lima E. (2010), Stabilization of the Tlaltecutilli monolith pigments. *Journal of Archaeological Science*, 37: 2882-2886.
- Castelló-Yturbe T. (1986), Presencia de los colorantes más usados en la pigmentación de pollo y del huevo, así como en piscicultura. Se encontraron aplicaciones de la flor 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 un 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 hecho de que la incubación de flores de *Indigofera suffruticosa* en un medio adecuado puede liberar el colorante por reacciones biológicas, hace una década desarrollamos un proceso para la extracción de las oleoresinas 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 oleoresina (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 flores en Perú y en la India. Así, después de haber aprovechado un
- 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)
- Romeu, E. (1996), Púrpura pansa: una historia de tintes y caracoles. *Biodiversitas*, 6:9-12.
- Castillo-Rodríguez Z. G. y Amezcua-Linares F. (1992), Biología y función es primordial en la visión fina de los detalles. Basados en el hecho de que la incubación de flores de *Indigofera suffruticosa* en un medio adecuado puede liberar el colorante por reacciones biológicas, hace una década desarrollamos un proceso para la extracción de las oleoresinas 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 oleoresina (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 flores en Perú y en la India. Así, después de haber aprovechado un
- Sánchez del Río M., Martinetto P., Reyes-Valerio C., Dooryhée E. & Suárez M. (2006), Synthesis and acid resistance of Maya blue pigment. *Archaeometry*, 48 (1): 115-130.
- Bárcana, E., Rubio, D., Santamaría R.I., García-Correa O., García F., Ridauro 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 y estructura de la luteína, carotenoide responsable del color amarillo de la flor

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)