



GUÍA PARA EL CORTOMETRAJE

DESCRIPCIÓN

En la película de HHMI *Estalló el secreto: el misterioso origen del maíz*, el biólogo especialista en evolución Dr. Neil Losin se embarca en una búsqueda para descubrir el origen del maíz. Las variedades silvestres de cultivos comunes, tales como las manzanas y el trigo, se parecen mucho a las especies cultivadas actualmente, pero no existen plantas silvestres que se parezcan mucho al maíz. La película muestra cómo genetistas y arqueólogos han unido esfuerzos para develar los misterios de cómo y dónde se domesticó el maíz hace casi 9000 años.

CONCEPTOS CLAVE

- Los humanos han transformado plantas silvestres en cultivos útiles mediante la selección artificial y la propagación a lo largo de generaciones de individuos con características deseables, tales como tamaño, color o dulzura.
- Muchas disciplinas, incluidas la biología evolutiva, la genética y la arqueología, aportan evidencias sobre la domesticación del maíz.
- El análisis de características compartidas entre diferentes especies, incluidas las especies ya extintas, permite a científicos determinar relaciones evolutivas.
- En general, cuanto más cercano sea el parentesco entre dos grupos de organismos, más similares serán sus secuencias de ADN. Los científicos pueden estimar cuándo se produjo la divergencia entre dos poblaciones de organismos mediante la comparación de sus genomas.
- Cuando el número de genes involucrados es relativamente bajo, los modelos matemáticos basados en la genética mendeliana pueden ayudar a estimar cuántos genes están involucrados en las diferencias de rasgos entre especies.
- Los genes reguladores codifican proteínas, tales como factores de transcripción, que a su vez controlan la expresión de varios, y hasta de cientos de otros genes. Como resultado, los cambios en tan solo unos pocos genes reguladores pueden ejercer un efecto notable en las características.

CONEXIONES CURRICULARES (ESTADOS UNIDOS) Y CON LIBROS DE TEXTO

Currículo	Estándares
NGSS (Abril 2013)	MS-LS3-1, MS-LS4-1, MS-LS4-2, MS-LS4-5, MS-ESS1-4 HS-LS3-1, HS-LS3-3, HS-LS4-1
AP (2012-13)	1.A.2, 1.A.4, 1.C.2, 3.A.1, 3.A.3, 3.B.1, 3.C.1
IB (2016)	2.7, 3.1, 3.4, 5.1, 9.3, 10.2
Libro	Secciones
Miller and Levine, <i>Biology</i> (2010 ed.)	11.2, 11.3, 11.4, 13.4, 16.2, 16.4, 17.4, 24.4
Reece <i>et al.</i> , <i>Campbell Biology</i> (10 th ed.)	14.2, 14.3, 18.2, 21.2, 21.6, 22.2, 22.3, 24.4, 26.5, Unidad 6 Entrevista, 38.3



Cortometraje
Estalló el secreto: el misterioso origen del maíz

AUDIENCIA

Esta película es apta para clases de ciencias de la vida en la escuela media (Middle School en EU), todos los niveles de biología de la escuela secundaria (High School en EU), y clases de biología introductorias para universitarios.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Sería útil que los estudiantes:

- sean capaces de describir el proceso de selección artificial y explicar cómo difiere de la selección natural;
- estén familiarizados con los principios mendelianos de segregación y distribución independiente y con términos relacionados, tales como *alelo*, *cruce*, *híbrido*, F_1 , F_2 , y *fenotipo*;
- sean capaces de usar cuadros de Punnett para predecir frecuencias de genotipos y fenotipos en las generaciones F_1 y F_2 de cruces monohíbridos y dihíbridos; y
- comprendan que la expresión génica a menudo es regulada por los productos de otros genes.

PUNTOS DE PAUSA

Esta película puede proyectarse sin interrupciones o con pausas en momentos específicos con el fin de analizar contenidos con los estudiantes. El cuadro a continuación sugiere momentos o puntos de pausa e indica el minuto de la película en el que comienza y termina cada uno de ellos.

	Inicio	Fin	Descripción del contenido	Preguntas para discusión	Normas
1	0:00	06:55	<ul style="list-style-type: none"> • Los humanos han transformado plantas silvestres en cultivos útiles mediante la selección artificial (domesticación) llevada a cabo durante muchas generaciones. • El origen del maíz era un misterio. No existe una planta silvestre parecida al maíz, y las más antiguas mazorcas de maíz fósiles son parecidas a las actuales. • George Beadle sugirió que el teosinte es el ancestro del maíz, al observar que el teosinte y el maíz tienen cromosomas casi idénticos y se pueden cruzar, obteniéndose descendientes fértiles. • Dado que el maíz y el teosinte presentan muchas diferencias físicas, incluidos el patrón de ramificación, el número de semillas y la forma del fruto, muchos botánicos dudaron de la conclusión del Dr. Beadle. • Hacia el final de su carrera profesional, el Dr. Beadle diseñó un experimento para estimar el número de genes responsables de las diferencias entre el teosinte y el maíz. En base a los fenotipos F_2, el Dr. Beadle concluyó que son cuatro o cinco los genes responsables de las diferencias 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Por qué esperaban los botánicos que el pariente silvestre del maíz fuera similar al maíz moderno? • ¿Por qué el Dr. Beadle usó tantas plantas en sus experimentos? ¿Habrían tenido los resultados la misma validez si él hubiera cultivado solo 1000 plantas? 	<p><u>NGSS (Abril 2013)</u> MS-LS4-1, MS-LS4-2, MS-LS4-5, HS-LS3-1, HS-LS3-2, HS-LS3-3, HS-LS4-1</p> <p><u>AP Biology (2012-13)</u> 1.A.2, 1.A.4, 3.A.1, 3.A.3, 3.C.1</p>



Cortometraje
Estalló el secreto: el misterioso origen del maíz

			observadas entre estas plantas, lo que significa que el maíz pudo haberse domesticado rápidamente a partir del teosinte, tal como él lo había predicho.		
2	06:55	12:10	<ul style="list-style-type: none"> Mediante la comparación entre el ADN del maíz moderno y el de variedades de teosinte silvestre, los científicos lograron: 1) trazar el origen del maíz hasta una población de teosinte cercana a la cuenca del río Balsas en el sudoeste de México, y 2) estimar que el evento original de domesticación sucedió hace aproximadamente 9000 años. Evidencias arqueológicas provenientes de México, incluidas herramientas líticas y microfósiles vegetales, verificaron en forma independiente los datos genéticos y apoyan la conclusión de que el maíz se domesticó originalmente a partir del teosinte hace aproximadamente 9000 años en México. 	<ul style="list-style-type: none"> ¿Por qué es importante conocer la tasa media de mutación cuando se usan comparaciones de ADN para determinar cuánto tiempo atrás se dividieron los linajes? ¿De qué manera coincidió la evidencia arqueológica con la evidencia molecular en relación con el momento y la ubicación geográfica de la domesticación del maíz? 	NGSS (Abril 2013) MS-LS4-1, HS-LS4-1 AP Biology (2012–13) 1.A.4
3	12:10	15:35	<ul style="list-style-type: none"> Usando experimentos de cruce que introdujeron genes de teosinte en el maíz y genes de maíz en el teosinte, los científicos concluyeron que tanto la característica de la cubierta del fruto como la característica de la ramificación están controladas en su mayoría por un solo gen. Un pequeño número de genes puede producir cambios importantes si estos genes son reguladores, es decir, que cada uno de ellos afecta la expresión de cientos de otros genes. 	<ul style="list-style-type: none"> ¿Confirmaron los experimentos del Dr. Doebley las predicciones del Dr. Beadle de que solo unos pocos genes son responsables de las diferencias entre el teosinte y el maíz? Explique la comparación entre genes reguladores y un director de orquesta. 	NGSS (Abril 2013) MS-LS3-1, HS-LS3-1, HS-LS3-2 AP Biology (2012–13) 3.A.1, 3.B.1, 3.C.1
4	15:35	17:27	<ul style="list-style-type: none"> El teosinte no parece ser un buen cultivo alimenticio. Los doctores Losin y Doebley recrean el experimento del Dr. Beadle para demostrar que el teosinte puede hacerse estallar y comerse como palomitas, lo cual explicaría por qué la gente empezó a domesticar el teosinte. 	<ul style="list-style-type: none"> El hecho de que se puede hacer "estallar" el teosinte, ¿qué ayuda a explicar? 	NGSS (Abril 2013) 1.A.2

ANTECEDENTES

LA AGRICULTURA Y LA DOMESTICACIÓN DE PLANTAS

La **domesticación** es el proceso de adaptar los organismos silvestres para que satisfagan necesidades humanas. La domesticación se logra mediante el proceso de **selección artificial**, en el cual los humanos eligen y cruzan individuos con características deseables a lo largo de muchas generaciones con el fin de maximizar la expresión de estas características dentro de la población. De esta manera, los humanos han producido plantas con frutos y semillas más grandes y más nutritivos, y animales que producen más leche o



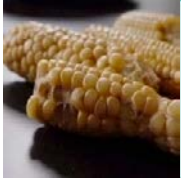
tienen mayor masa muscular. Un cultivo domesticado, por lo general, no puede sobrevivir sin ayuda humana. Por ejemplo, las semillas de maíz no se dispersan de manera efectiva. Sin la intervención humana, las semillas de la planta caerían al suelo unidas a la mazorca y germinarían todas al mismo tiempo y en el mismo lugar. Las plantas resultantes competirían intensamente por la luz solar y los nutrientes, y sobrevivirían pocas. Sin embargo, cuando los humanos recogen, distribuyen y cuidan de las semillas, las plantas de maíz prosperan.

El maíz es solo uno de los muchos cultivos que domesticaron los humanos en todo el mundo aproximadamente en la misma época: de 8000 a 10000 años atrás, durante la transición de sociedades de cazadores-recolectores a sociedades agrícolas. En América Central, eran comunes los frijoles, la calabaza, el aguacate, el cacao, las fresas y la nuez pecanera. En el Cercano Oriente, se domesticaron trigo, avena, arvejas, zanahorias, manzanas, almendras y nueces.

DOMESTICACIÓN DEL MAÍZ

Durante muchos años, los científicos creyeron que el precursor del maíz estaba extinto, porque no existía ningún candidato obvio entre las plantas silvestres. Sin embargo, en 1939, el Dr. George Beadle presentó evidencia de que el teosinte, una gramínea silvestre de América Central, sería el antecesor del maíz. Teosinte es el nombre común de cuatro especies gramíneas del género *Zea*. El nombre "teosinte" proviene de los indios Nahuátl, y significa "grano de los dioses."

Sin embargo, los botánicos dudaron. A primera vista, parece poco probable que el teosinte pueda ser el antepasado del maíz moderno (Figura 1). La planta de teosinte es muy ramificada; tiene forma de arbusto con muchos tallos (o "vástagos") y en la punta de cada tallo produce una mazorca con dos hileras de 5 a 12 semillas. En cambio la planta del maíz suele tener un solo tallo central que produce pocas mazorcas, cada una con cientos de granos dispuestos en 6 a 18 hileras. Otra diferencia notable es que las semillas o granos del teosinte se encuentran rodeados de una cubierta dura. Esta cubierta protectora permite que las semillas sobrevivan en el tracto digestivo de aves y animales de pastoreo. Cuando las semillas se eliminan con las heces del animal, pueden germinar. Es así como los animales sirven como agentes de dispersión, transportando semillas a ubicaciones lejanas. La cubierta del fruto en el maíz es muy reducida y se desarrolla como parte de la mazorca. Esto deja los granos expuestos o desnudos y, en consecuencia, hace que los animales los digieran fácilmente.



Teosinte



El teosinte
tiene varios
tallos

Maíz



El maíz
normalmente
tiene un solo
tallo central

El teosinte
tiene dos filas
de granos muy
duros



**Mazorca
de teosinte**

La mazorca del
maíz tiene 6-12
filas de granos
suaves



**Mazorca
de Maíz**

Figura 1. El teosinte y el maíz tienen muchos rasgos distintivos. El teosinte es muy ramificado y las mazorcas presentan solo dos hileras de granos duros. El maíz tiene un tallo central y produce mazorcas con cientos de granos "desnudos" dispuestos en 6 a 18 hileras.

EVIDENCIA GENÉTICA DE LA DOMESTICACIÓN DEL MAÍZ

El Dr. Beadle llevó a cabo un enorme experimento en la década de los 70. Cruzó teosinte con maíz para producir híbridos F_1 , y luego cruzó los F_1 para obtener una generación F_2 . Basado en la genética clásica y haciendo algunos supuestos razonables, Beadle desarrolló un modelo matemático para predecir cuántos



genes diferían entre ambas especies en función de la frecuencia de descendientes F_2 que se parecían a cada progenitor.

Sembró 50000 semillas F_2 y una vez crecidas, descubrió que aproximadamente 100 plantas tenían una mazorca parecida a la del maíz y unas 100 tenían una mazorca parecida a la del teosinte. Con estos datos y aplicando su modelo matemático, concluyó que eran cuatro o cinco los genes responsables de las diferencias entre el teosinte y el maíz, lo cual respaldaba su hipótesis de que el maíz pudo haberse domesticado rápidamente a partir del teosinte.

En la década de los 90, las herramientas modernas de la genética molecular permitieron que los genetistas John Doebley y Adrian Stec volvieran a examinar la hipótesis del Dr. Beadle. Los doctores Doebley y Stec identificaron cinco regiones genéticas, correspondientes a aproximadamente cinco genes o bloques de genes, que juntos explican la gran variación entre el maíz y el teosinte, lo cual respalda aún más la hipótesis del Dr. Beadle.

¿Cómo era posible que tan pocos genes produjeran tan marcadas diferencias entre estas plantas? Los científicos encontraron que al menos dos de estos genes son **genes reguladores** que codifican proteínas que activan o desactivan a otros genes. De esta manera, la presencia de una versión diferente de un solo gen regulador puede afectar la expresión de cientos de otros genes.

Un gen, nombrado *tga1* (por el equivalente en inglés de 'arquitectura de la gluma del teosinte'; gluma es el término técnico para referirse a la cubierta dura del fruto del teosinte), controla la expresión de características asociadas con las semillas. La versión del teosinte de este gen genera semillas con cubierta dura, y la versión del maíz produce semillas desnudas. Cuando el gen *tga1* del teosinte fue incorporado al genoma del maíz, algunas de las semillas de maíz quedaron encerradas en una cubierta dura. Cuando el gen *tga1* del maíz fue incorporado a través de cruces al teosinte, las semillas quedaron parcialmente expuestas. Los científicos ahora saben que la versión del gen *tga1* del teosinte difiere de la versión del maíz en tan solo un nucleótido. Esta única diferencia genera una modificación en la proteína resultante, al cambiar el aminoácido lisina del teosinte por asparagina en el maíz.

Los resultados fueron similares cuando se trasplantaron entre las dos especies variantes del gen *tb1* (por las siglas en inglés para 'teosinte branched 1' o 'teosinte ramificado 1'). Al introducir el gen *tb1* del teosinte en el maíz, el maíz se volvió más ramificado y desarrolló muchas mazorcas. Cuando se trasplantó el gen *tb1* del maíz al teosinte, el teosinte se volvió menos ramificado y produjo menos mazorcas, cada una de mayor tamaño.

Juntos, estos dos genes reguladores cumplieron papeles fundamentales en el cambio de arquitectura de la planta, al transformar el teosinte en maíz. Desde que el maíz fue domesticado, los humanos siguieron modificándolo a través de la selección artificial; un estudio reciente mostró que 1,200 genes del genoma del maíz se han visto afectados de alguna manera. Los cambios en estos genes resultaron en diferencias más sutiles en la evolución de las plantas originarias de maíz para convertirse en el maíz actual; por ejemplo, el maíz actual tiene mazorcas mucho más grandes y semillas más dulces.

¿CUÁNDO SE DOMESTICÓ EL MAÍZ?

Las comparaciones genéticas entre el maíz y cuatro variedades diferentes de teosinte (todas de la misma especie pero genéticamente especializadas para diferentes hábitats) mostraron que el origen del maíz doméstico se puede trazar al teosinte de la región Balsas en el sudoeste de México. El mismo estudio utilizó un "reloj molecular" para calcular que el maíz se originó hace aproximadamente 9000 años. Los relojes moleculares usan tasas de mutación conocidas para estimar hace cuánto tiempo divergieron dos organismos, o grupos de organismos, en base a sus diferencias genéticas.



Evidencias arqueológicas respaldan estas conclusiones. La arqueóloga Dolores Piperno buscó en cuevas y refugios en la región Balsas de México evidencias de la domesticación del maíz. Las condiciones dentro de estas cuevas son ideales para la preservación de restos vegetales, y el equipo de la Dra. Piperno encontró depósitos estratificados con restos de maíz, frijoles y calabaza.

Para establecer la edad de especímenes relativamente recientes que contengan carbono, los arqueólogos por lo general usan datación por carbono-14. Si un fósil es de tamaño suficientemente grande, es decir, es un **macrofósil**, se puede datar directamente. Es difícil encontrar macrofósiles de maíz porque, en la mayoría de los casos, trozos grandes de alimentos nutritivos se consumirían o se degradarían con el transcurso del tiempo. El espécimen más antiguo de maíz datado con carbono-14 proviene de la cueva Guilá Naquitz en Oaxaca, México, y tiene aproximadamente 6,250 años de antigüedad (Figura 2). Estos fósiles de maíz tienen un aspecto similar al del maíz moderno, excepto por su tamaño: la longitud de las "mazorcas" es de menos de 5 cm (2 pulgadas), y presentan pocas hileras y granos.

Los arqueólogos lograron hallar evidencias aún más antiguas de maíz al analizar restos microscópicos o microfósiles. Los microfósiles son demasiado pequeños como para aplicar directamente la datación por carbono-14. En su lugar, los arqueólogos determinan la antigüedad de depósitos de carbono que hallan en el mismo estrato que el microfósil. Los microfósiles de maíz incluyen polen, granos de almidón y fitolitos, que son cristales estables basados en sílice que se encuentran en tejidos vegetales. El maíz domesticado tiene granos de almidón irregulares distintivos que pueden distinguirse de los granos redondos del teosinte silvestre. Mediante el análisis de microfósiles, la Dra. Dolores Piperno encontró la evidencia más antigua de maíz domesticado: trozos de carbón de 8700 años de antigüedad fueron hallados junto con microfósiles de maíz extraídos de piedras de moler en la cueva refugio de Xihuatoxtla, en el valle central del río Balsas, en Guerrero, México.

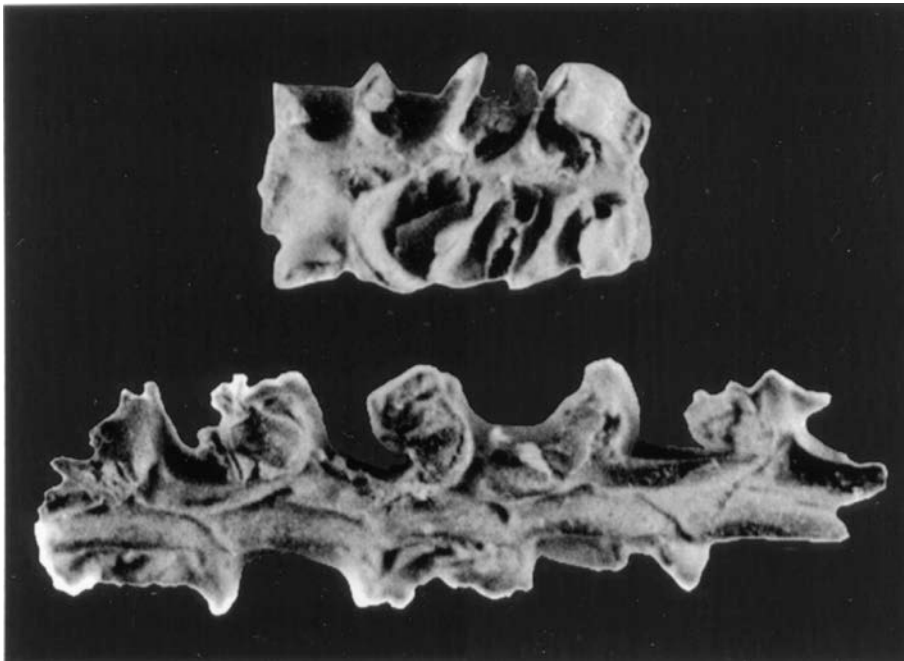


Figura 2. Las dos mazorcas de maíz más antiguas del Nuevo Mundo, de la cueva de Guilá Naquitz. (Fuente: Proceedings of the National Academy of Sciences. vol. 98 no. 4 D. R. Piperno, 2101–2103, doi: 10.1073/pnas.98.4.2101. Copyright (2001) National Academy of Sciences, U.S.A.)



PUNTOS DE DISCUSIÓN

- Para evitar confusión, puede mencionar que las palabras "choclo" y "maíz" se pueden usar indistintamente. Maíz es el nombre de cualquiera de las incontables variedades de *Zea mays*. Choclo o maíz es el nombre que se le da en Sudamérica [equivalente a "corn" en los Estados Unidos].
- Verifique que los estudiantes comprendan que las especies modernas no son los antepasados de otras especies modernas. Por lo tanto, el teosinte que crece hoy en día no es el antepasado del maíz. El antepasado del maíz es una variedad de teosinte que existió hace aproximadamente 9000 años. El teosinte también ha evolucionado durante los últimos 9000 años, aunque no tan dramáticamente como el maíz.
- Los primeros agricultores probablemente no se propusieron domesticar plantas a propósito. A medida que seleccionaban y recolectaban plantas silvestres por sus características deseadas, algunas semillas se habrían caído y germinado, mientras otras eventualmente se sembrarían. Logre que los estudiantes reflexionen sobre la domesticación del maíz preguntándoles por qué las plantas con menos mazorcas y más granos por mazorca habrían sido deseables para los agricultores. *Respuesta:* Habría sido más fácil cosechar y procesar un número menor de mazorcas con más granos por mazorca.
- La domesticación ha generado plantas más fáciles de cultivar y comer, y con mayor densidad de calorías. Existen más de 30000 plantas comestibles en el mundo, pero solo se han domesticado unos pocos cientos de ellas. Increíblemente, tres de estos cultivos domesticados: maíz, arroz y trigo, constituyen el 60% del consumo humano de calorías. Si se incluye en los cálculos el ganado doméstico, como el vacuno, que depende también de esos cultivos para su alimentación, el porcentaje es aún mayor (referencia: <http://www.fao.org/news/story/en/item/174330/icode/>). Las plantas domesticadas tienen menor diversidad genética que sus antepasados silvestres. Esto se debe a que los alelos preferidos por los agricultores alcanzan la fijación más rápidamente, y los genes cercanos viajan con ellos, reduciendo la diversidad genética total en la población. Pida a los estudiantes que consideren las ventajas y desventajas de la domesticación.
- Pregunte por qué los científicos tratan de identificar a los parientes silvestres de los cultivos modernos y crear bancos de semillas que incluyan las semillas de los parientes silvestres. Una respuesta sería que los conocimientos sobre los antepasados silvestres de los cultivos modernos permiten a los científicos aumentar la diversidad dentro de un cultivo mediante cruces con los parientes cercanos silvestres. De hecho a comienzos del año 1900, exploradores notaron que en ciertas regiones de México, la gente afirmaba que el crecimiento del teosinte en los alrededores era "bueno para el maíz". Esto se debe a que los cruces genéticos entre el maíz y el teosinte ayudaban a aumentar la diversidad genética del maíz y a aliviar problemas generados por el alto nivel de endogamia. Otro motivo es que la identificación de los genes que controlan características que cambiaron durante la domesticación podría proporcionar maneras de seguir mejorando estos cultivos.



Cortometraje **Estalló el secreto: el misterioso origen del maíz**

- La búsqueda de respuestas a preguntas científicas a menudo requiere estrategias interdisciplinarias. Pida a los estudiantes que identifiquen diferentes disciplinas científicas que se destacaron en la película. (*Respuesta:* genética y arqueología.) Conversen sobre la manera en que cada disciplina aportó evidencia para demostrar que el teosinte es el antepasado del maíz.
- La capacidad de generar híbridos fértiles teosinte-maíz puede llevar a que los estudiantes pregunten si el maíz y el teosinte son diferentes especies. La definición biológica de especie implica la capacidad de generar descendientes fértiles. Sin embargo, esta definición puede resultar particularmente problemática cuando se aplica a las plantas, porque muchas especies de plantas cercanamente emparentadas generan con facilidad híbridos fértiles, y algunas plantas tienen reproducción asexual. La definición de teosinte y maíz como especies separadas depende de la definición de especie, un tema de intenso debate entre los biólogos. Lo importante es que existen diferencias estructurales claras entre los dos taxones, lo que hace posible determinar si un microfósil corresponde al teosinte o al maíz antiguo.
- Los gráficos que muestran los cruces de F₁ del Dr. Beadle están simplificados para ilustrar el concepto. Ellos muestran solo tres fenotipos: el fenotipo del teosinte, el fenotipo del maíz y un fenotipo híbrido que es mitad teosinte y mitad maíz. En realidad, los descendientes híbridos presentan grados variables de parecido con el maíz o con el teosinte, y el Dr. Beadle tuvo que determinar cuáles fenotipos tenían probabilidad de representar un genotipo homocigoto o heterocigoto para cada característica.
- Si los estudiantes han visitado alguna vez un mercado, posiblemente conozcan el término "heirloom crop" (en inglés) que hace referencia a cultivos tradicionales que son diferentes a las variedades comerciales cultivadas más comúnmente. Por ejemplo, son bastante comunes las variedades de tomates "heirloom" grandes e irregulares, al igual que las papas "heirloom" púrpuras, y las zanahorias "heirloom" amarillas. Los cultivos "heirloom" suelen ser más sabrosos y nutritivos que sus parientes comerciales. Pregunte a los estudiantes: ¿De qué manera la selección de algunas características, como forma, tamaño o color, pudo haber resultado en la pérdida de otras características valiosas, como sabor o contenido nutricional?
- Es posible que los estudiantes hayan aprendido que la evolución siempre es lenta y gradual. El debate sobre el ritmo y la magnitud de los cambios evolutivos se revoca a la época de Darwin y su famosa cita "*Natura non facit saltum*" o "la naturaleza no hace saltos." Esta idea puede dificultar la comprensión de cómo pueden evolucionar rápidamente nuevas estructuras. Enfatique el mensaje de la película con respecto a que cambios pequeños en genes reguladores pueden generar cambios evolutivos rápidos. Por ejemplo, un cambio en un solo nucleótido en el gen de la cubierta del fruto, *tga1*, resulta en cubiertas mucho más pequeñas que dejan las semillas expuestas. Mediante mutaciones en genes reguladores, pueden producirse cambios importantes con bastante rapidez.
- En los últimos años, investigadores han logrado modificar el código genético de una planta mediante la introducción de genes de otra especie vegetal, o de un microorganismo, para crear organismos transgénicos (GMO, por sus siglas en inglés). Un ejemplo, el maíz Bt, lleva ese nombre porque se introdujo en él un gen de la bacteria *Bacillus thuringiensis* que codifica un insecticida natural. Otro ejemplo es la



introducción de genes que hacen que las plantas sean resistentes a un herbicida ampliamente utilizado, conocido como glifosato o por la marca comercial "Roundup". Aunque las herramientas son diferentes, la meta de estas tecnologías es la misma que la del cruzamiento artificial selectivo: producir cultivos con características deseables.

- Tal vez quiera conversar sobre el tema transgénicos con los estudiantes. Pregunte qué creen ellos que significa ser transgénico, y exploren las ventajas y desventajas del uso de transgénicos mediante la lectura de artículos y noticias relacionados con el tema.

OTROS MATERIALES DE BIOINTERACTIVE RELACIONADOS CON EL TEMA

Breeding Corn from Teosinte (<http://www.hhmi.org/biointeractive/breeding-corn-teosinte>) Este video clip de 52 segundos de duración muestra una comparación de las morfologías del maíz moderno y del teosinte para ilustrar cómo la selección artificial puede causar cambios dramáticos en plantas.

Selection in Action (<http://www.hhmi.org/biointeractive/selection-action>) Esta charla de una hora es parte de la serie Holiday Lectures on Science del año 2005, Evolución: Cambios Constantes y Patrones en Común, y compara la selección artificial en perros y en maíz, con un caso de selección natural en los peces espinosos.

RECURSOS ADICIONALES

El sitio web Panzea ofrece recursos didácticos en <http://www.panzea.org/#!for-teachers/c1b5b>, incluida una exposición itinerante sobre la domesticación del maíz.

CÓMO USAR EL CUESTIONARIO

El cuestionario está diseñado como una evaluación sumativa de la comprensión del alumno sobre los conceptos clave tratados en la película. Sin embargo, algunos docentes usan el cuestionario antes y durante la película para evaluar los conocimientos previos de los estudiantes y para guiarlos mientras ven la película. Se recomienda al docente que elija el uso que mejor se adapte a sus objetivos de aprendizaje y a las necesidades de los estudiantes. Asimismo, debido a la complejidad del vocabulario y los conceptos, se recomienda al docente que modifique el cuestionario (por ejemplo, planteando solo algunas de las preguntas o definiendo vocabulario complicado), conforme haga falta.

CUESTIONARIO Y RESPUESTAS

1. (Concepto clave A) ¿Cuál de las siguientes afirmaciones describe el concepto de domesticación?
 - a. *Es el proceso mediante el cual se enseña a animales a realizar trucos útiles para las necesidades humanas.*
 - b. Es el proceso mediante el cual las especies silvestres se han convertido en especies con características útiles para las necesidades humanas.**
 - c. *Es el proceso mediante el cual los animales construyen nidos para atraer pareja y criar descendientes.*



Cortometraje
Estalló el secreto: el misterioso origen del maíz

- d. Es el proceso mediante el cual las plantas han evolucionado a lo largo del tiempo para ocupar nichos ecológicos.
2. (Concepto clave A) Con el fin de ilustrar cómo el maíz común está presente en una dieta típica estadounidense, el narrador da muchos ejemplos, desde la mazorca de maíz hasta alimentos que contienen almidón de maíz y jarabe de maíz. El narrador también menciona la carne. ¿Cuál es la conexión entre la carne que consumimos y el maíz?

Los animales reciben alimentación a base de maíz.

3. (Conceptos clave B y C) El Dr. Beadle concluyó que el teosinte fue el probable antecesor del maíz. ¿Sobre qué evidencia basó esta conclusión? Marque todas las respuestas que correspondan.
- a. El teosinte es parecido al maíz.

Falso; el teosinte tiene un aspecto muy diferente al del maíz. Las diferencias son tan pronunciadas que la hipótesis del Dr. Beadle no fue aceptada ampliamente.

- b. Los cromosomas del teosinte y del maíz son casi idénticos.

Verdadero

- c. Un cruce entre el teosinte y el maíz genera descendientes híbridos fértiles.

Verdadero

- d. Cristóbal Colón descubrió registros escritos de la domesticación del maíz a partir del teosinte.

Falso; Cristóbal Colón encontró maíz cuando llegó a Norteamérica, pero no registros escritos de su domesticación.

4. a. (Concepto clave C) Complete la siguiente tabla para comparar el teosinte y el maíz:

	Cantidad de ramificación	Número de filas de granos por mazorca	Tipo de grano (desnudo o encerrado en una cubierta dura)
Teosinte	Muy ramificado	Pocos granos dispuestos en pocas hileras	Encerrado en una cubierta dura
Maíz	Poco ramificado	Muchos granos dispuestos en muchas hileras	Desnudo

- b. (Concepto clave A) Elija de la tabla una de las características del maíz y explique de qué manera hace que el cultivo resulte más útil para humanos que el teosinte.

Las respuestas variarán. Una posible respuesta es que los granos desnudos son más fáciles de comer. Otra respuesta es que la poca ramificación lo hace más fácil de cosechar.

5. (Conceptos clave B y E) El Dr. Beadle llevó a cabo un experimento para determinar cuántos genes controlan las diferencias entre el maíz y el teosinte. Él cruzó teosinte con maíz (las dos plantas parentales) para producir híbridos F_1 , y luego cruzó las plantas F_1 para producir una generación F_2 (descendientes). Luego, observó la apariencia o fenotipo de los descendientes. En base a la genética clásica, estimó que si un solo gen fuera responsable de todas las diferencias entre el maíz y el teosinte, se esperaría un fenotipo parental en uno de cada cuatro descendientes, o sea, $\frac{1}{4}$ de los descendientes se parecería al maíz y $\frac{3}{4}$ se parecería al teosinte. Si estuvieran involucrados dos genes, uno de cada 16 descendientes se parecería al maíz y uno de cada 16 se parecería al teosinte. Se puede resumir esta relación mediante la siguiente ecuación: $X = (\frac{1}{4})^n$

- a. En esta ecuación, X representa la proporción de descendientes que se espera tendrá un fenotipo parental. ¿Qué representa n ?



n representa el número de genes responsables de las diferencias en fenotipo.

- b. El Dr. Beadle sembró 50,000 plantas y descubrió que 1 de cada 500 descendientes presentaba el fenotipo de un progenitor y 1 de cada 500 presentaba el fenotipo del otro progenitor. ¿Cuántas plantas, aproximadamente, presentaron un fenotipo de teosinte? ¿Cuántas presentaron un fenotipo de maíz? ¿Qué fenotipo(s) presentó(aron) el resto de las plantas?

Se esperaría que aproximadamente 100 plantas presentaran el fenotipo del teosinte y 100 el fenotipo del maíz. El resto de las plantas presentaría una mezcla de características del maíz y del teosinte.

- c. Use la ecuación $X = (\frac{1}{4})^n$ para explicar cómo el Dr. Beadle concluyó que son cuatro o cinco los genes responsables de las diferencias entre el maíz y el teosinte.

Aproximadamente 1/500 plantas F_2 presentó un fenotipo parental. $(\frac{1}{4})^4$ es igual a 1/256 y $(\frac{1}{4})^5$ es igual a 1/1024; 1/500 se encuentra entre esos dos valores, con lo cual serían cuatro o cinco los genes responsables de las diferencias.

- d. (Concepto clave F) Explique cómo cambios en un pequeño número de genes pueden resultar en plantas de aspectos muy diferentes.

Los genes reguladores, como los factores de transcripción, controlan la expresión de muchos otros genes. Como resultado, cambios en los genes reguladores pueden ejercer un gran impacto sobre el fenotipo.

6. (Conceptos clave B, C y D) La película describe dos fuentes independientes de evidencias que se han utilizado para estimar cuándo se domesticó por primera vez el maíz: evidencia genética y evidencia arqueológica. ¿Se respaldan estas dos fuentes de evidencia entre sí? Explique su respuesta.

Sí. Los microfósiles más antiguos (mazorcas de maíz) tienen una antigüedad de tan solo unos 6,000 años, pero los datos de microfósiles permitieron fijar la fecha de la domesticación del maíz en unos 8,700 años atrás. Esta fecha coincide en gran medida con los datos genéticos, los cuales estiman una fecha de domesticación en unos 9,000 años atrás.

8. (Conceptos clave B y F) Con el fin de demostrar cómo dos genes diferentes pueden explicar diferentes características en el teosinte y el maíz, el Dr. Doebley y sus colegas realizaron cuidadosos cruces para trasplantar genes de un organismo al otro. En la siguiente tabla, dibuje y/o escriba los resultados de cada cruce y lo que puede deducir sobre el funcionamiento de los genes.

Gen	Trasladado de	Trasladado a	Dibuje el resultado	¿Qué puede deducir acerca de la función del gen?
gen de la cubierta del grano	Teosinte	Maíz	Cubierta más cerrada	El gen de la cubierta del grano ejerce un importante efecto sobre el grado de apertura de la cubierta. Téngase en cuenta que el gen no controla todas las diferencias entre el maíz y el teosinte.
	Maíz	Teosinte	Cubierta más abierta	
gen de la ramificación	Teosinte	Maíz	Más ramificado	El gen de la ramificación ejerce un importante efecto sobre el grado de ramificación de la planta. Téngase en cuenta que el gen no controla todas las diferencias entre el maíz y el teosinte.
	Maíz	Teosinte	Menos ramificado	



Cortometraje
Estalló el secreto: el misterioso origen del maíz

8. (Conceptos clave A, B y C) Los humanos han ido seleccionando características deseables del maíz desde el comienzo de la domesticación de este cultivo. El siguiente diagrama describe las características de las mazorcas de maíz encontradas en cuatro depósitos arqueológicos en la cueva de Tehuacán en Puebla, México. Diámetro del raquis (rachis diameter) se refiere al diámetro de la mazorca en su base. Número promedio de filas se refiere al número de hileras de granos por mazorca.

a. ¿Cuál estrato arqueológico contiene los restos más antiguos de maíz? ¿Cuál contiene los menos antiguos?

El estrato más antiguo es el Estrato A, de aproximadamente 5,500 años. El estrato menos antiguo es el Estrato D, de aproximadamente 1,850 años.

b. Use los datos para comparar las mazorcas más y menos antiguas en el registro arqueológico.

Las mazorcas más antiguas presentan un diámetro menor (0.26 vs. 0.4) y menos hileras de granos (7.3 vs. 9.7) en comparación con las mazorcas menos antiguas.

c. Los autores compararon el maíz antiguo con dos variedades diferentes de maíz moderno: Arrocillo y Tabloncillo.

¿Cómo se comparan estas dos variedades con las mazorcas encontradas en el registro arqueológico? ¿Por qué cree que el estudio decidió usar estas dos variedades en las comparaciones?

Las mazorcas de Arrocillo son cortas y gruesas, con un número medio de 8.1 hileras y un raquis promedio de 1.09 cm de diámetro. Las mazorcas de Tabloncillo son más largas y más delgadas, con un número promedio de 17 hileras de granos y un raquis de diámetro promedio de 0.9 cm. En general, ambas variedades tienen más granos por mazorca que las mazorcas antiguas. Los autores utilizaron dos variedades diferentes porque el maíz moderno presenta diversos fenotipos. Estas dos variedades representan los dos extremos.

d. En base a estos datos, ¿qué puede decir sobre los tipos de características que han ido seleccionando los agricultores en el maíz durante los últimos 5,000 años?

La tendencia a lo largo de los últimos 5,000 años ha sido que las mazorcas sean más anchas con un mayor número de hileras de granos. Los agricultores han ido seleccionando plantas con mayor número de granos por mazorca.



Cortometraje
Estalló el secreto: el misterioso origen del maíz

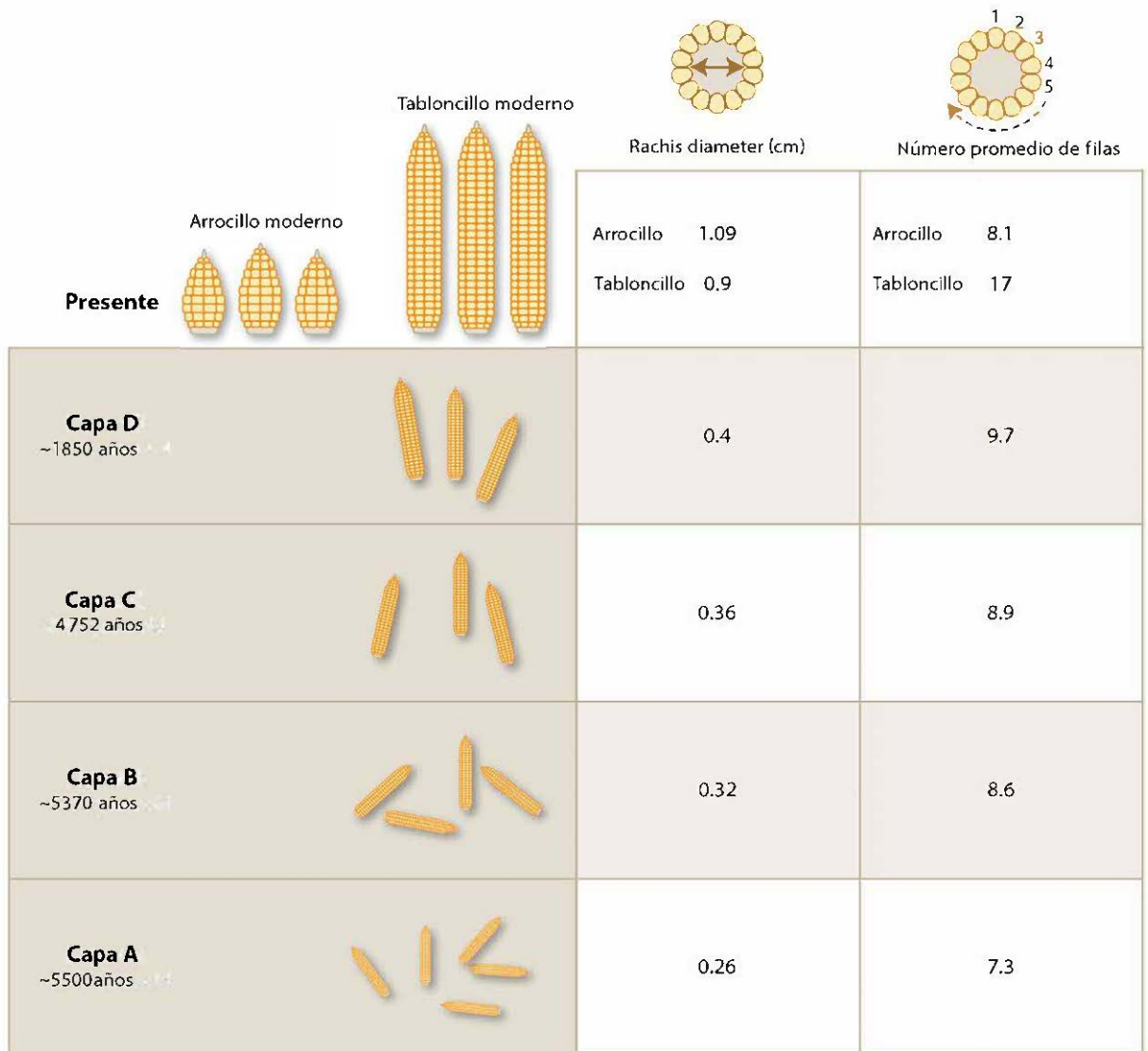


Figura 3. Mazorcas fósiles descubiertas en diferentes horizontes de la cueva Tehuacán en México. Se indica la antigüedad de cada estrato. El maíz actual consta de dos variedades diferentes. Para cada muestra de maíz, se indican los valores medios de diámetro del raquis (rachis diameter) y número de filas.



Cortometraje
**Estalló el secreto: el misterioso
origen del maíz**

BIBLIOGRAFÍA

- Beadle, G.W. 1977. "The origin of *Zea mays*." En *Origins of Agriculture*, editado por C. E. Reed, 615–535. The Hague: Mouton.
- Beadle, G.W. 1978. "Teosinte and the origin of maize." En *Maize Breeding and Genetics*, editado por D.B. Walden, 113–128. New York: John Wiley & Sons.
- Beadle, G.W. 1980. "The ancestry of corn." *Scientific American* 242(1):112–119.
- Doebley, J.F. 1990. "Molecular evidence and the evolution of maize." *Society for Economic Botany* 44(suplemento 3): 6–27.
- Doebley, J.F., A. Stec, J. Wendel, and M. Edwards. 1990. "Genetic and morphological analysis of a maize-teosinte F2 population: Implications for the origin of maize." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 87(24): 9888–9892.
- Doebley, J.F., B.S. Gaut, and B.D. Smith. 2005. "The molecular genetics of crop domestication." *Cell* 127(7):1309–1321.
- Piperno, D.R., Flannery K.V. 2001. "The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico: new accelerator mass spectrometry dates and their implications." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 98(4): 2101–2103.
- Piperno, D.R. 2007. "Identifying crop plants with phytoliths (and starch grains) in Central and South America: A review and an update of the evidence." *Quaternary International* 193(1–2):146–159.
- Smith, B.D. 1995. *The Emergence of Agriculture*. New York: Scientific American Library.
- Wilkes, H.G. 1967. *Teosinte: the Closest Relative of Maize*. Cambridge: The Bussey Institute, Harvard University.

AUTORES

- Escrito (versión original en inglés) por Ellie Rice, PhD, Franklin & Marshall University.
Editado por Stephanie Keep, asesora; Laura Bonetta, PhD, HHMI.
Revisado por Paul Beardsley, PhD, Cal Poly Pomona; Alessandra York, University of Wisconsin.