



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Facultade de Ciencias

Grao en Bioloxía

Memoria do Traballo de Fin de Grao

**Proyecto divulgativo: genética y evolución (domesticación) del
maíz**

**Proxecto divulgativo: xenética e evolución (domesticación) do
millo**

**Scientific dissemination project: Genetis and evolution
(domestication) of corn**

Laura Rodríguez Barba

Curso: 2020 - 2021. Convocatoria: Julio

Directora: Ana M. González Tizón

Resumen

La divulgación científica nace de la necesidad de transmitir conocimiento a un público no especializado. En este proyecto de divulgación se aborda la domesticación del maíz, que es uno de los cereales más consumidos a nivel mundial. Se explica la evolución desde el teosinte hasta el maíz actual, las diferencias morfológicas y genéticas entre ambos, así como la diversidad existente en la actualidad. Todo ello se expondrá en forma de un taller científico apoyado por diferentes soportes como pósteres, fotografías y maquetas.

Palabras clave: Divulgación científica, domesticación, genética, maíz, teosinte.

Resumo

A divulgación científica xorde da necesidade de transmitir o coñecemento a un público non especializado. Neste proxecto de divulgación abóndase a domesticación do millo, que é un dos cereais máis consumidos a nivel mundial. Explicarase a evolución dende o teosinte ata o millo actual, as diferenzas morfolóxicas e xenéticas entre ambos, así como a diversidade que existe na actualidade. Todo isto exhibirase en forma de un obradoiro científico apoiado por diferentes soportes como carteís, fotografías e maquetas.

Palabras clave: Divulgación científica, domesticación, millo, teosinte.

Abstract

Scientific dissemination comes from the need to transmit knowledge to a non-specialized audience. This dissemination project addresses the domestication of corn, which is one of the most consumed cereals worldwide. The evolution from the teosinte to current corn, morphological and genetic differences between the two, as well as the current diversity that exists today is explained. All this will be exhibited in the form of a scientific workshop supported by different supports such as posters, photographs and models.

Keywords: Scientific dissemination, domestication, genetics, corn, teosinte.

Índice de contenidos

	Pág.
1. Introducción	1
1.1. La divulgación científica	1
1.2. El maíz y su importancia	1
2. Objetivo	4
3. Metodología	5
4. Desarrollo	6
A. Cuestionario previo	6
B. Pósteres	7
C. Fotografías y dibujos	11
D. Modelos reales	15
E. Juego interactivo	17
F. Cuestionario final	18
5. Resultados esperados	19
6. Bibliografía	20

1. Introducción

1.1 La divulgación científica

La divulgación tiene por objetivo informar, poner al alcance del público cualquier tipo de conocimiento. Divulgar, según el Diccionario de la Real Academia Española, significa: “publicar, extender, poner al alcance del público algo”. En el caso la divulgación científica, la finalidad es transmitir el conocimiento científico a un público poco especializado empleando un lenguaje accesible (Barceló, 2007).

El objetivo de la divulgación es cortar el aislamiento entre la ciencia y el público (Massarani & Castro, 2004). La curiosidad y la necesidad de transmitir el conocimiento científico implica un beneficio cultural, importante para el desarrollo de una sociedad (Blanco, 2004), lo que contribuye a la democratización del conocimiento con la propagación de la ciencia, forjando una sociedad con mayor calidad de vida (Espinosa, 2010).

La divulgación, para Massarani (2007), es crear interés en la ciencia desde la infancia a través de la educación científica. Propone que los niños aprendan de ciencia de forma divertida y amena, empleando procesos creativos de actividades experimentales como, por ejemplo, talleres. Además, la divulgación científica es desarrollada mediante multitud de formatos (revistas, blogs, libros, pósteres, etc.).

La Universidad de A Coruña cuenta con una unidad de divulgación creada en 2009, con el objetivo de promover, fomentar, generar y transmitir la cultura científica (UDCC, 2016).

1.2 El maíz y su importancia.

Este trabajo aborda el proyecto divulgativo sobre la evolución genética del maíz (*Zea mays* Linneo 1753) o domesticación con el objetivo de informar a la

sociedad de los cambios genéticos que han soportado y soportan los cereales al ser seleccionados durante su cultivo. El maíz, como el resto de los cereales, es un producto básico de la alimentación a nivel global (Pruitt, 2016). Se siembra en 125 países, ocupando unos 100 millones de hectáreas, y se prevé que sea su mayor producción y demanda sea para el año 2025 (Prasanna, 2012).

El maíz (*Zea mays* L.) pertenece al Orden Poales, a la familia Poaceae, dentro de la tribu Andropogoneae, que incluye al genero *Zea* junto con otros 6 (Tovar, 2008).

Hace 10000 años, los humanos se asentaron y comenzó la domesticación de los animales y el cultivo de plantas como alimento (Doebly *et al.*, 2016). Así, se fueron seleccionado los mejores rasgos para mejorar la producción vegetal, obtener un mayor beneficio y emplearlo como fuente de alimento. Al aumentar la productividad de los cultivos, surgió la domesticación (Vollbrecht & Sigmon, 2006).

El conocimiento de la selección artificial ha permitido que la agricultura modifique las distintas variaciones morfológicas y fisiológicas de las plantas a través de la selección de semillas genéticamente diversas. Estas especies sirven como reservorio genético para estudiar la evolución genómica del maíz (Arteaga *et al.*, 2016).

Varios autores (Arteaga *et al.*, 2016; Stitzer & Ross-Ibarra, 2018; Vollbrecht & Sigmon, 2006; Yan *et al.*, 2020) manifiestan que fue hace aproximadamente 9000 años cuando comienza a cultivarse el maíz, en concreto, en América central, en el valle del río Balsas, al sur de México (figura 1).

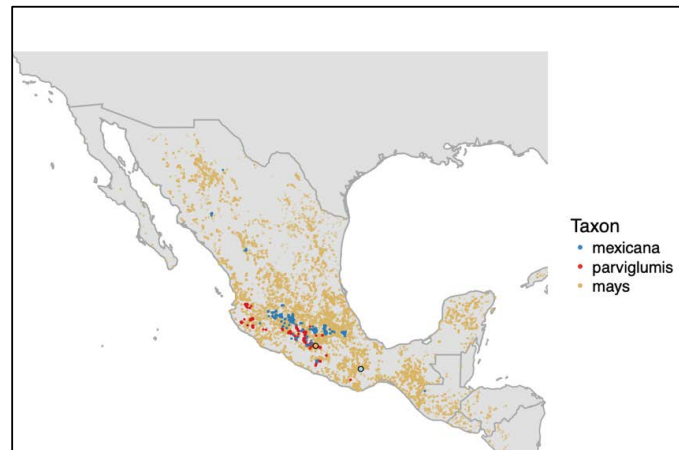


Figura 1. Origen del maíz (Stitzer & Ross-Ibarra, 2018)

La diversidad fenotípica del maíz es extraordinaria. Arteaga (2016) afirma que, existen cientos de castas locales con diferencias morfológicas y fisiológicas. Solo en México se cultivan cerca de 60 variedades.

La evolución se comprende a través de la domesticación de los cultivos, observando el cambio entre los rasgos del antepasado y los actuales (Yang *et al.*, 2017), como consecuencia de las modificaciones genéticas durante las siguientes generaciones (Chen *et al.*, 2020).

En la domesticación del maíz, tuvo un papel importante el fenómeno de la hibridación, la cual ocurre a menudo en las plantas (Serratos, 2009). La formación de híbridos es relativamente recurrente en plantas, pues en este proceso los individuos de grupos afines crean como descendencia una nueva especie (Dorado, Marina & Montoya, 2009).

Los cambios desde el teosinte salvaje (*Z. mays ssp. parviglumus*) a maíz actual son tanto morfológicos (figura 2) como genotípicos, creando complejos poliploides. Las diferencias fenotípicas de los rasgos vienen determinadas por varios genes (Elgueta *et al.*, 2019).

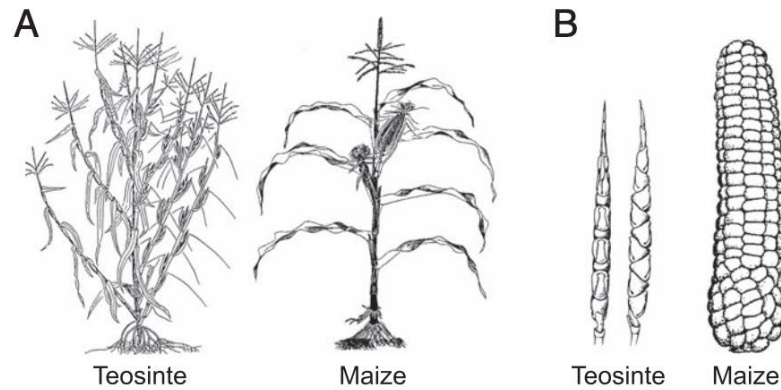


Figura 2. Diferencias entre las plantas de maíz y teosinte (A) y entre sus mazorcas (B) (Yang *et al.*, 2019)

2. Objetivo

El objetivo de este trabajo de divulgación científica es dar a conocer al público en general el origen del maíz (*Zea mays*) como ejemplo de selección genética durante su cultivo y domesticación, mostrando los cambios morfológicos (fenotipos) desde su antecesor, el teosinte, hasta las actuales variedades de mazorcas. Se pretende informar que las plantas cultivadas cambiaron genéticamente antes de entenderse la genética.

3. Metodologías

Se proponen diferentes herramientas para el desarrollo de este proyecto divulgativo, en formato de taller, en el que se abordarán los conocimientos que queremos transmitir:

- A. Cuestionario inicial: se elaborará un cuestionario corto que los participantes contestarán antes de iniciar el desarrollo del taller.
- B. Pósteres: se confeccionarán dos carteles, donde se pondrá en contexto el origen del maíz, las diferencias con el teosinte y la importancia en la alimentación humana. Por otro lado, se explicará su evolución resultado de la domesticación.
- C. Fotografías y dibujos: los participantes observarán fotografías de mazorcas de teosinte y de maíz, realizadas a escala, para comprobar las diferencias entre ellas. Este formato también se utilizará para que vean las partes de un grano de maíz y poder explicar, a nivel muy básico, porque hay granos de distintos colores. También emplearemos maquetas realizadas con diversos materiales (plastilina, funny gummy).
- D. Modelos reales: para visualizar las diferentes coloraciones de los granos de maíz se utilizará una colección de mazorcas comerciales compradas a través de www.carolina.com. En el caso de no disponer de la muestra, es posible el empleo de fotografías y dibujos. Es posible incluir la disección de un grano de maíz para ver en él las partes.
- E. Juego interactivo: se creará un juego de tarjetas y fichas fotográficas para relacionar el nombre con el dibujo que está relacionado.
- F. Cuestionario final: se realizarán de nuevo algunas de las preguntas iniciales y otras nuevas para comprobar si han comprendido lo explicado.

4. Desarrollo

Se propone a continuación, la dinámica para la exposición divulgativa.

A. Cuestionario inicial.

Se plantearán las siguientes 4 cuestiones:

- ¿De dónde viene el maíz?
- ¿De qué color es el maíz?
- ¿Coméis maíz?
- ¿Os comeríais maíz manipulado genéticamente o maíz mutante?

Se espera que las respuestas sean más o menos unánimes por parte del público.

Previsiblemente contestarán: América, amarillo, sí y no, respectivamente.

B. Pósteres.

Se presentarán dos pósteres para poner en contacto al público con algunas características básicas del maíz.

Póster 1. El origen del maíz.

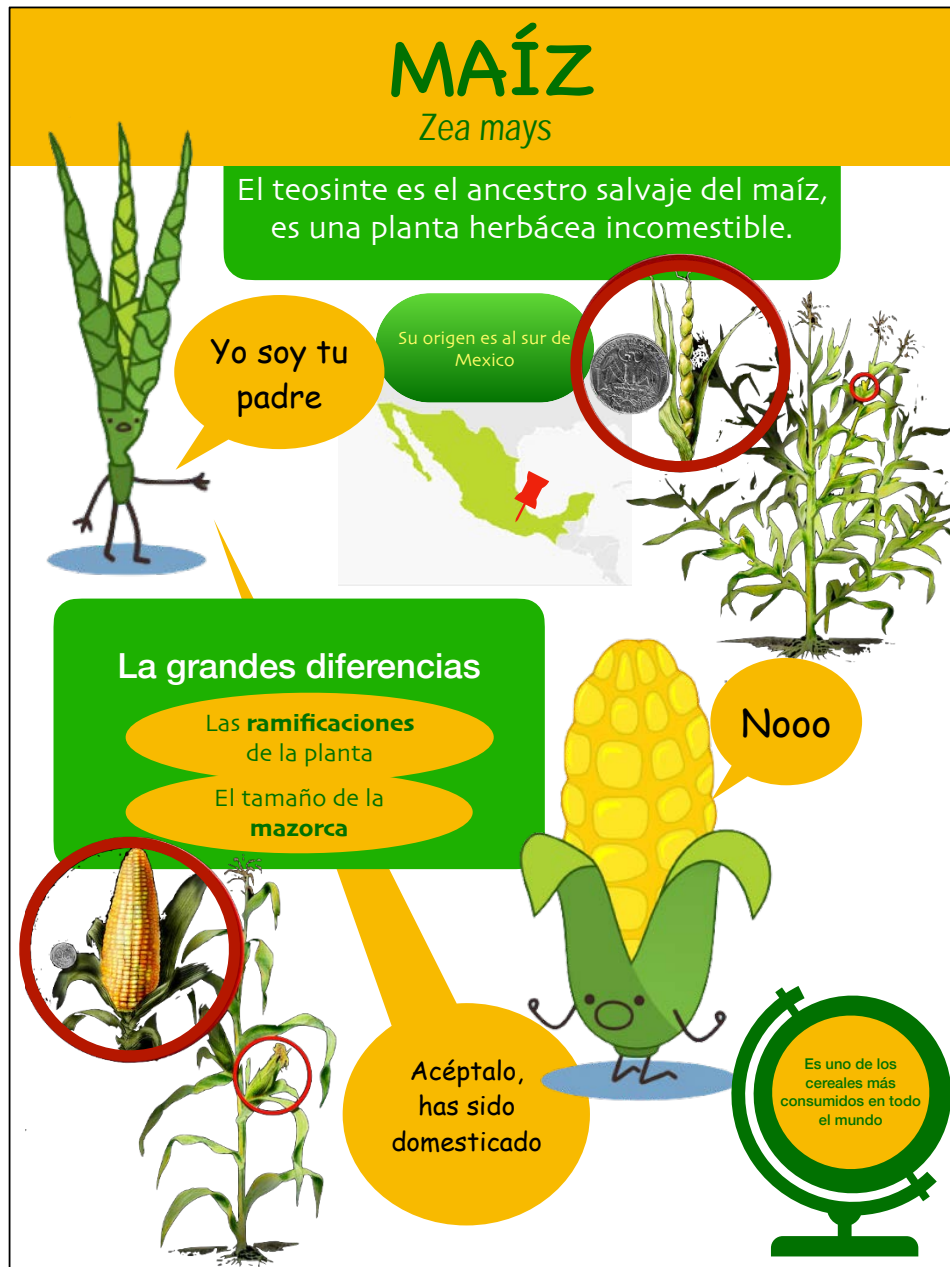


Figura 3. Póster que muestra el origen del maíz a partir del teosinte y las diferencias entre ambos. Dibujos de mazorca y teosinte cedidas por Carlos Pazos de molasaber.org.

Este póster servirá para realizar una pequeña introducción sobre el maíz, su origen a partir del teosinte en el sur de México (Stitzer & Ross-Ibarra, 2018), así como su posterior introducción en Europa y Asia, y su consumo actual a nivel mundial (Pruitt, 2016).

Explicaremos también, representadas en forma de viñeta, las diferencias más notables entre las mazorcas del teosinte y del maíz moderno, como por ejemplo, que una mazorca de teosinte solo produce de 5 a 12 granos, mientras que la de maíz actual tiene varios cientos de granos, adheridos, pero sin protección, por lo que es más fácil su manipulación por los humanos para su consumo (Vollbrecht & Sigmon, 2006). También explicaremos la estructura de la planta: ramificada en el teosinte *versus* un solo eje vertical del maíz actual (Yang *et al.*, 2019).

Poster 2. Origen genético del maíz.

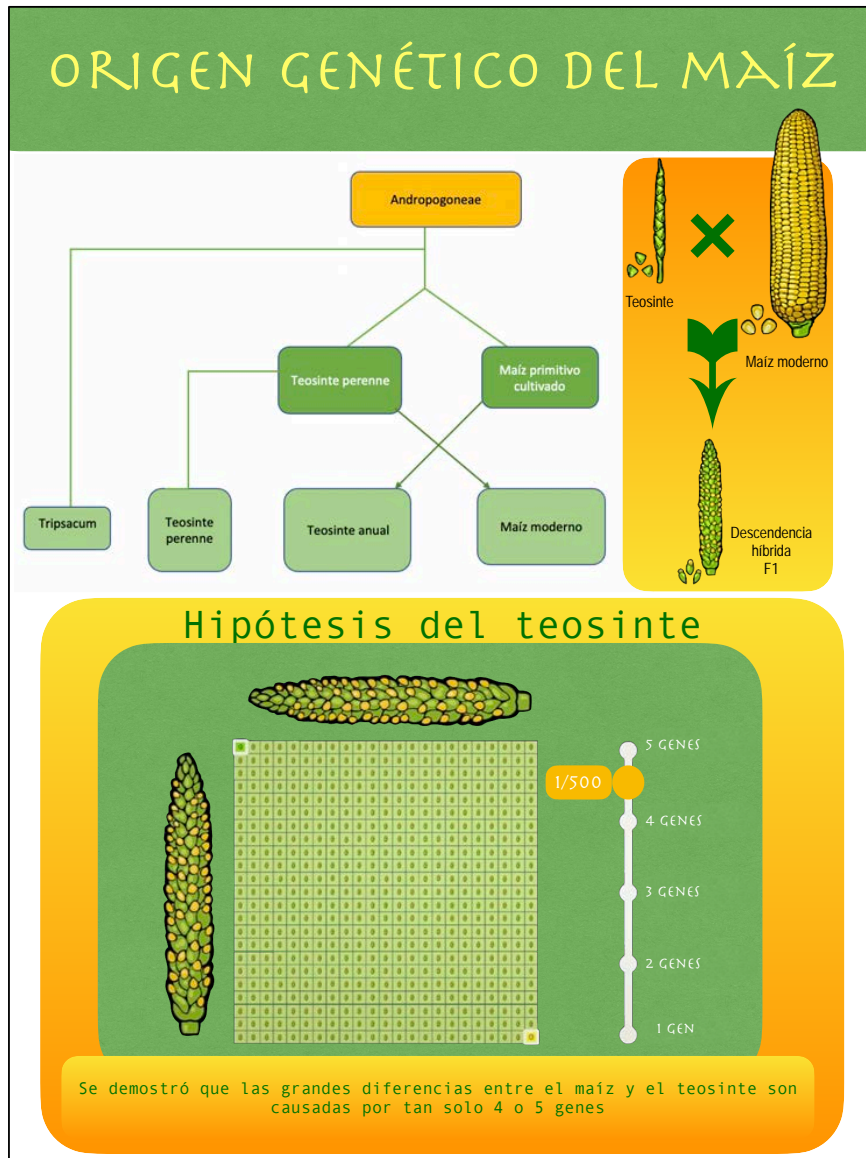


Figura 4. Poster donde se muestra la genealogía del maíz. Adaptación de imágenes (Beadle, 1939)

Este segundo póster muestra el origen genético del maíz a través de su genealogía.

También se explicará el experimento de Beadle (1980), donde se propone la hipótesis que postula al teosinte como el progenitor del maíz, tras obtener una descendencia híbrida (F1) resultado del cruce entre el teosinte y el maíz moderno. Al cruzar esta descendencia entre sí se observó que aproximadamente

1/500 individuos se parecía a cada uno de sus ancestros (maíz y teosinte) como se muestra en la figura 4 (parte inferior). Concluyó que son tan solo 4 o 5 genes los responsables de los cambios morfológicos durante la domesticación del maíz.

Los rasgos surgidos como causa de la domesticación se explican mediante los genes clave que controlan los principales cambios. Los genes conocidos son asociados rasgos como la altura de la planta, el rendimiento y el tiempo de floración. Se observa una relación entre la domesticación y algunos rasgos del maíz que no son fruto de la evolución natural, a diferencia del peso del grano, que a mejorado poco en comparación con el teosinte (Liu *et al.*, 2020).

C. Fotografías y dibujos.

Como complemento de los pósteres se emplearán fotografías o dibujos para ampliar algunos conceptos y presentar otros.

En la imagen 1 (figura 5) los participantes podrán apreciar una diferencia más evidente entre los granos de teosinte (izquierda) y de maíz moderno (derecha). Mientras que el grano de teosinte está oculto por una cubierta endurecida, el grano de maíz actual muestra el endospermo (En), el embrión (Em) y el tejido nutritivo del cotiledón (Sc).

Imagen 1. Diferencias entre los granos.

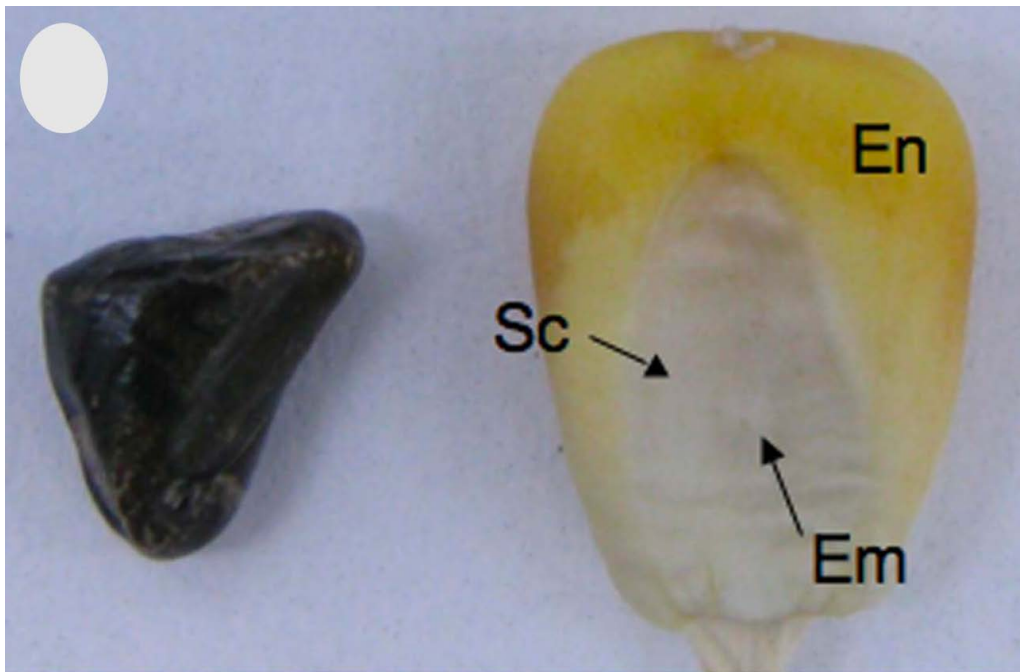


Figura 5. Comparación de los granos de maíz y teosinte (Hake & Ross-Ibarra, 2015). (En: endospermo, Em: embrión y Sc: tejido nutritivo)

En la imagen 2 (figura 6) se explica, a través del árbol filogenético, la ordenación taxonómica del género *Zea*, partiendo de *Tripsacum*, género de gramíneas herbáceas, como grupo externo. El teosinte, *Zea mays ssp. parviglumus*, es el grupo ancestral del género *Zea*, en el que coexisten especies anuales (*Zea luxurians* y *Zea mays*) y perennes (*Zea perennis* y *Zea diploperennis*), que son los antepasados de los que deriva el maíz moderno (Vollbrecht & Sigmon, 2006).

Imagen 2. Árbol filogenético.

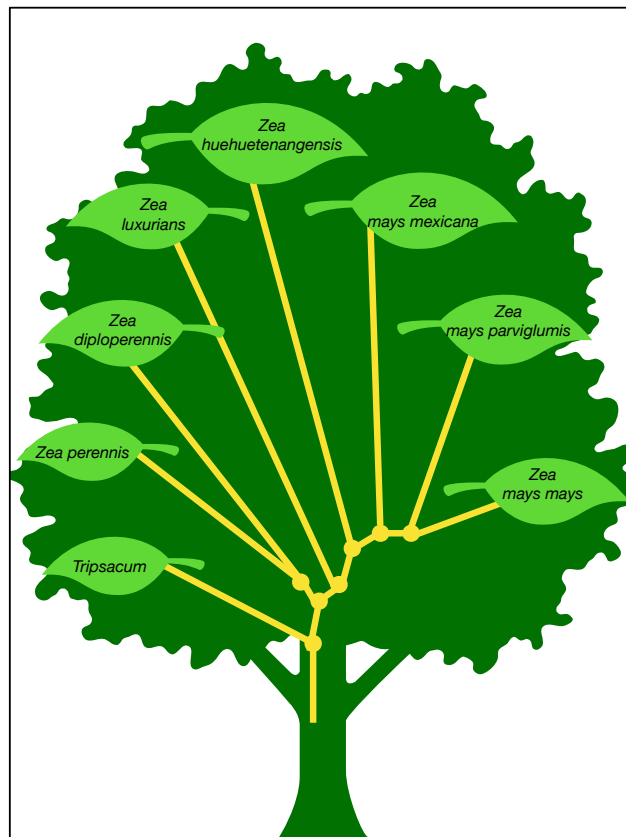


Figura 6. Árbol filogenético del maíz. Adaptación (Vollbrecht & Sigmon, 2006).

Tanto en el maíz, como en el resto de las plantas, tiene un papel importante la presencia de más de un genoma por célula, que se denomina poliploidía (Adams & Wendel, 2005). La duplicidad del genoma (poliploidía) es el evento más reciente en el linaje del maíz, según la teoría de Beadle (1980). Para ilustrarlo, se empleará la imagen 3 (figura 7). Con esta imagen explicaremos que el cambio de ploidía es posible dada la plasticidad y variación genética (Riddle *et al.*, 2006). El teosinte tetraploide pertenece a *Zea perennis* ($2n = 40$) que, al ser cruzado

con los distintos tipos de maíz (diploide y tetraploide), da lugar a la existencia de dos formas intermedias (MP30 y MP40) (Kartout-Benmessaoud & Ladjali-Mohammed, 2018) generando híbridos con diferentes números cromosómicos (Poggio & González, 2018; Yan *et al.*, 2020).

Imagen 3. Hibridaciones del maíz.

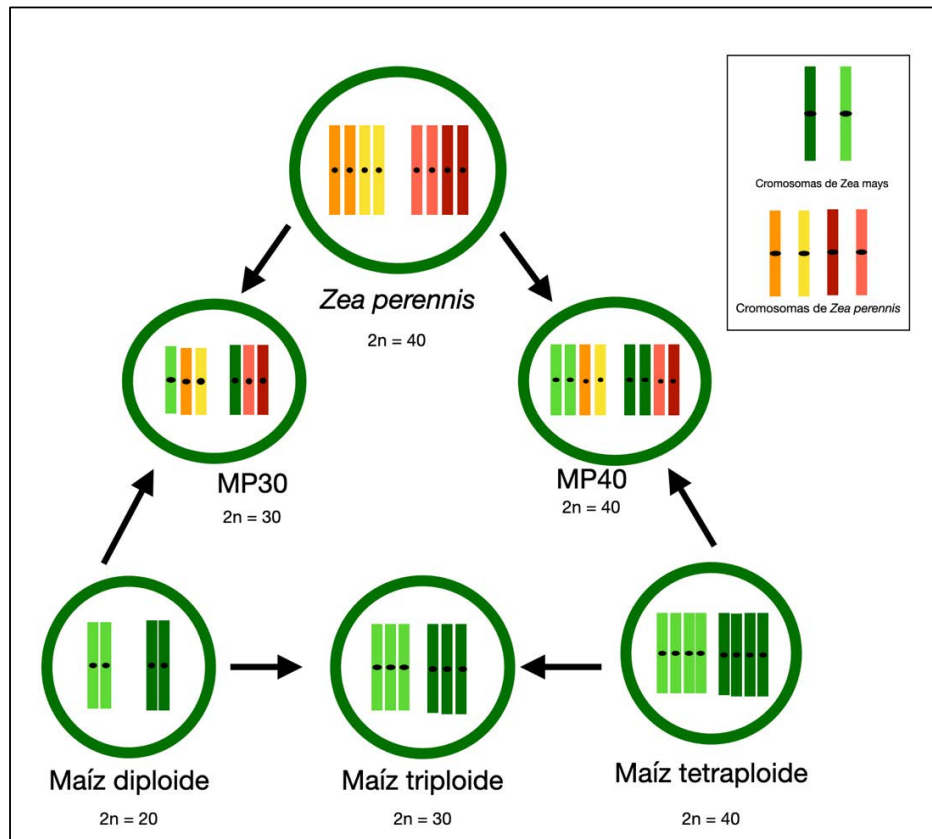


Figura 7. Distintos grados de ploidía del maíz. Adaptación de imagen (Kartout-Benmessaoud & Ladjali-Mohammed, 2018)

Durante la domesticación del maíz se fueron seleccionado rasgos (color, tamaño de la mazorca, cantidad de azúcar por grano) que favorecen las diferencias fenotípicas causadas por varios genes, lo cual ha generado una amplia diversidad. Emplearemos la imagen 4 (figura 8) para ilustrar algunas de las variedades de mazorcas, de diferentes tamaños (Prasanna, 2012) y coloraciones, que son consideradas razas locales de México (Arteaga *et al.*, 2016).

Imagen 4. Diversidad de mazorcas.

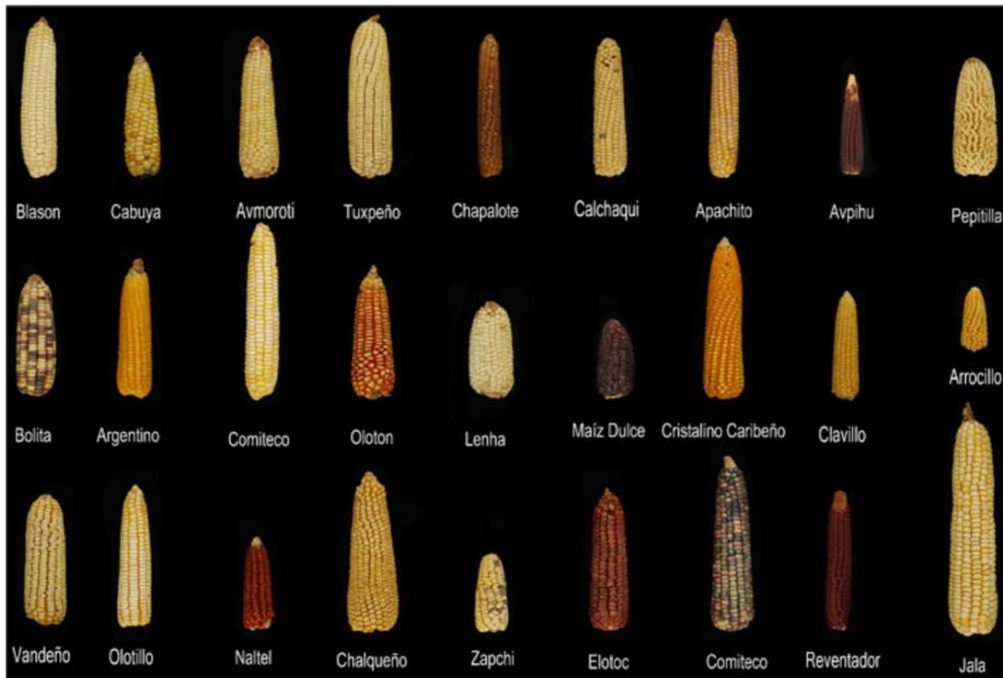


Figura 8. Variedades de maíz mexicano (Prasanna, 2012).

D. Modelos reales

Se empleará la colección de mazorcas, como muestra la imagen 5 (figura 9), para ilustrar las diferentes coloraciones de los granos de maíz.

Imagen 5. Coloración del grano de maíz.



Figura 9. Mazorcas con coloraciones de grano diferentes.

Se muestran las mazorcas de diferentes colores amarillas, anaranjadas, negras, rojas/púrpuras y blancas, así como los diferentes colores dentro de una misma mazorca ampliados en la imagen 6 (figura 10).

Imagen 6. Granos de diferentes colores.



Figura 10. Mazorcas con granos de diferentes colores.

Finalmente, para observar las partes del grano se empleará la imagen 6 (Figura 10), como guía visual y, en este punto del taller, realizaremos cortes en granos de maíz para que los participantes distingan, *in situ*, la estructura interna del grano.

Imagen 6. Partes del grano de maíz.

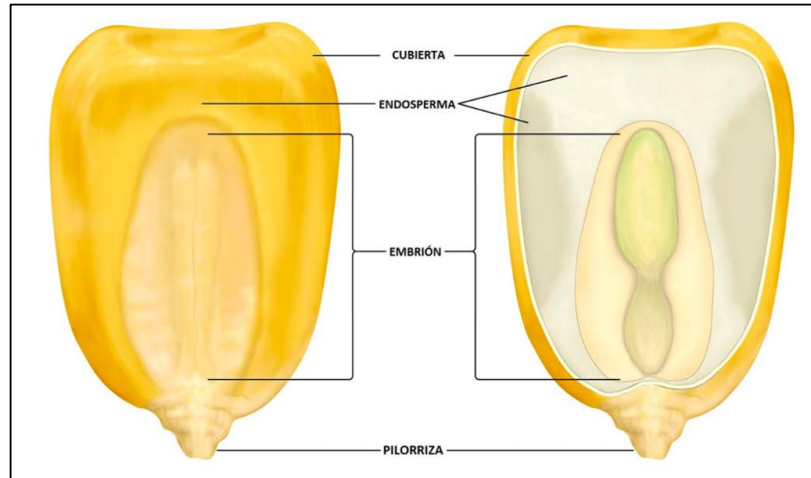


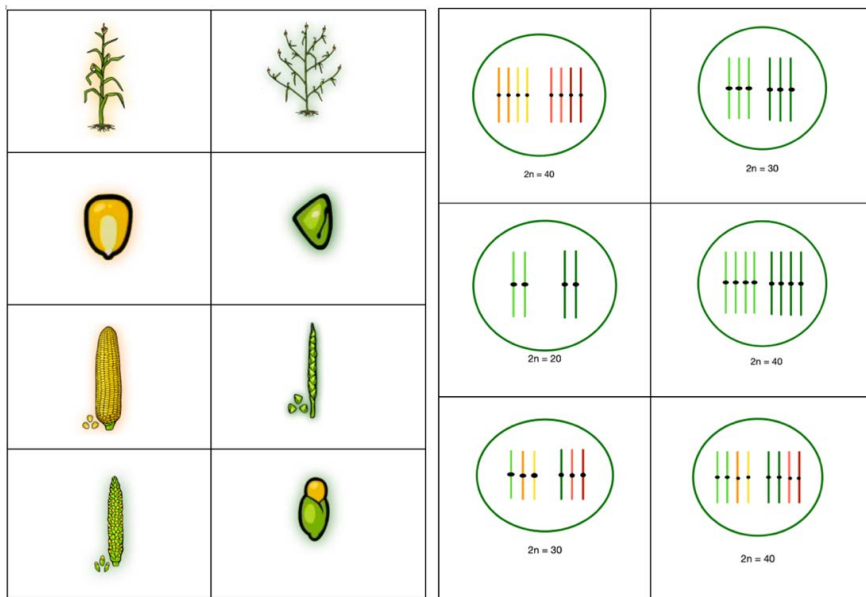
Figura 10. Partes del grano de maíz (Saleres, 2018)

E. Juego interactivo

Se podrá demostrar lo aprendido en forma de un juego de cartas para relacionar el nombre de las tarjetas (figura 11) con el dibujo de las fichas (figuras 12 y 13).

Planta del maíz	Planta de teosinte
Grano de maíz	Grano de teosinte
Mazorca de maíz	Mazorca de teosinte
Mazorca híbrida	Grano híbrido
<i>Zea perennis</i>	Maíz tetraploide
Maíz diploide	Maíz triploide
Maíz híbrido MP30	Maíz híbrido MP40

Figura 11. Tarjetas con nombres.



Figuras 12 y 13. Fichas con imágenes.

F. Cuestionario final.

La última parte del taller consistirá en una ronda de preguntas. Los participantes deberán volver a responder algunas de las cuestiones iniciales:

- ¿De qué color es el maíz?
- ¿Os comerías maíz manipulado genéticamente o mutante?

Y otras relacionadas con lo visto anteriormente:

- ¿Cuál es el antepasado del maíz actual?
- ¿Cuáles son las mayores diferencias entre el maíz actual y el teosinte?
- ¿Cuántos genes fueron seleccionados durante la domesticación?

5. Resultados esperados

Tras la realización de este taller divulgativo sobre el maíz, como ejemplo de domesticación en plantas, se espera que el público:

- Comprenda en qué consiste la evolución y cómo se produjo la domesticación del maíz.
- Conozca la gran variación generada en las plantas de maíz debida a los cambios genéticos producidos a lo largo del tiempo.
- Genere un pensamiento propio con el cual pueda evitar los prejuicios sobre las modificaciones genéticas (teniendo en cuenta el rechazo generalizado que éstas producen en la sociedad).

Además, con la elaboración y comparación de las respuestas dadas en los cuestionarios inicial y final, se espera comprobar si lo explicado en el taller científico ha influido en el público.

También se espera que se sorprendan de la gran variedad de colores de los granos de maíz y que desde hace tiempo comen maíz modificado genéticamente.

6. Bibliografía

Adams, K. L., & Wendel, J. F. (2005). Polyploidy and genome evolution in plants. *Current Opinion in Plant Biology*, 8(2), 135–141.

Arteaga, M. C., Moreno-Letelier, A., Mastretta-Yanes, A., Vázquez-Lobo, A., Breña-Ochoa, A., Moreno-Estrada, A., Eguiarte, L. E., & Piñero, D. (2016). Genomic variation in recently collected maize landraces from Mexico. *Genomics Data*, 7, 38–45.

Barceló, M. (2007). *Ciencia, divulgación científica y ciencia ficción Science, science popularisation and science fiction. 2007*, 1–8.

Beadle, G. W. (1980). The ancestry of corn. *Scientific American*, 242(1), 112–119.

Beadle, G. W. (1939). Teosinte and The Origin Of Maize. *Journal of Heredity*, 30(6), 245–247.

Blanco López, Á. (2004). *Ciencia y tecnología Educación Sociedad. 1*, 70–86.

Chen, Q., Samayoa, L. F., Yang, C. J., Bradbury, P. J., Olukolu, B. A., Neumeyer, M. A., Romay, M. C., Sun, Q., Lorant, A., Buckler, E. S., Ross-Ibarra, J., Holland, J. B., & Doebley, J. F. (2020). The genetic architecture of the maize progenitor, teosinte, and how it was altered during maize domestication. *PLOS Genetics*, 16(5), e1008791.

Dorado, D. El, Marina, L., & Montoya, A. (2009). *El maíz, el verdadero*.

Elgueta, A. V., Hinojosa, L. F., Pérez, M. F., Peralta, G., & Rodríguez, M. U. (2019). Genetic and phenotypic diversity in 2000 years old maize (*Zea mays* L.) samples from the Tarapacá region, Atacama Desert, Chile. *PLoS ONE*, 14(1), 1–20.

Espinosa Santos, V. (2010). Difusión Y Divulgación De La Investigación Científica. *Idesia (Arica)*, 28(3), 5–6.

Hake, S., & Ross-Ibarra, J. (2015). Genetic, evolutionary and plant breeding insights from the domestication of maize. *ELife*, 4, 1–8.

Kartout-Benmessaoud, Y. Mai. N. 2/Muhammad Z pd., & Ladjali-Mohammedi, K. (2018). Banding cytogenetics of chimeric hybrids *Coturnix coturnix* × *Coturnix japonica* and comparative analysis with the domestic fowl. *Comparative Cytogenetics*, 12(2), 247–265.

Liu, J., Fernie, A. R., & Yan, J. (2020). The Past, Present, and Future of Maize Improvement: Domestication, Genomics, and Functional Genomic Routes toward Crop Enhancement. *Plant Communications*, 1(1), 100010.

Massarani, L. (2007). *Reflexiones sobre la divulgación científica para niños* Página 1 de 5. 1–5.

Massarani, L., & Castro Moreira, I. (2004). Divulgación de la ciencia: perspectivas históricas y dilemas permanentes. *Quark*, 32, 30-35–35.

Poggio, L., & González, G. E. (2018). Cytological diploidization of paleopolyploid genus *Zea*: Divergence between homoeologous chromosomes or activity of pairing regulator genes? *PLoS ONE*, 13(1), 1–17.

Prasanna, B. M. (2012). Diversity in global maize germplasm: Characterization and utilization. *Journal of Biosciences*, 37(5), 843–855.

Pruitt, J. D. (2016). A Brief History of Corn: Looking Back to Move Forward. *Doctoral Document*, 5–6.

Riddle, N. C., Kato, A., & Birchler, J. A. (2006). Genetic variation for the response to ploidy change in *Zea mays* L. *Theoretical and Applied Genetics*, 114(1), 101–111.

Saleres, A. S. (2018). *Aplicación web para la clasificación de granos de maíz*.

Serratos, H. (2009). El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. *Greenpeace. México, DF, January 2009*, 1–40.

Stitzer, M. C., & Ross-Ibarra, J. (2018). Maize domestication and gene interaction. *New Phytologist*, *220*(2), 395–408.

Tovar Benítez, T. (2008). *Caracterización Morfológica y Térmica Del Almidón De Maíz (Zea mays L) Obtenido*.

UDCC. (2016). *Reglamento da Unidade de Divulgación Científica e Cultural da Universidade da Coruña*. Consello de Goberno Da UDC.

Vollbrecht, E., & Sigmon, B. (2006). Amazing grass: Developmental genetics of maize domestication. *Biochemical Society Transactions*, *33*, 1502–1506.

Yan, X., Cheng, M., Li, Y., Wu, Z., Li, Y., Li, X., He, R., Yang, C., Zhao, Y., Li, H., Wen, X., Zhang, P., Sam, E., Rong, T., He, J., & Tang, Q. (2020). Tripsazea, a novel trihybrid of *zea mays*, *tripsacum dactyloides*, and *zea perennis*. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, *10*(2), 839–848.

Yang, C. J., Samayoa, L. F., Bradbury, P. J., Olukolu, B. A., Xue, W., York, A. M., Tuholski, M. R., Wang, W., Daskalska, L. L., Neumeyer, M. A., de Jesus Sanchez-Gonzalez, J., Romay, M. C., Glaubitz, J. C., Sun, Q., Buckler, E. S., Holland, J. B., & Doebley, J. F. (2019). The genetic architecture of teosinte catalyzed and constrained maize domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *116*(12), 5643–5652.

Yang, N., Xu, X. W., Wang, R. R., Peng, W. L., Cai, L., Song, J. M., Li, W., Luo, X., Niu, L., Wang, Y., Jin, M., Chen, L., Luo, J., Deng, M., Wang, L., Pan, Q., Liu, F., Jackson, D., Yang, X., ... Yan, J. (2017). Contributions of *Zea mays* subspecies mexicana haplotypes to modern maize. *Nature Communications*, *8*(1), 1–10.