

Recursos fitogenéticos de maíz para forraje y grano

ADELA MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ. Área de Nutrición, Pastos y Forrajes admartinez@serida.org

LUIS J. ROYO. Área de Nutrición, Pastos y Forrajes. lroyo@serida.org

CONSUELO GONZÁLEZ. Área de Nutrición, Pastos y Forrajes. cgonzalez@serida.org

ANTONIO MARTÍNEZ MARTÍNEZ. Jefe del Departamento Tecnológico y de Servicios. anmartinez@serida.org



←
Figura 1.Alguna de las poblaciones locales de maíz recuperadas a lo largo de la geografía asturiana y pendientes de evaluación.

Introducción

El maíz es una de las muchas especies importadas a Europa tras el descubrimiento de América. En Galicia y en la Cornisa Cantábrica se adaptó muy bien a la climatología y, dado su alto rendimiento, su explotación se fue extendiendo hacia toda Europa. Podemos decir que el cultivo del maíz fue causa y consecuencia de la revolución industrial de la agricultura. Aumentó el rendimiento de la superficie cultivada y permitió la estabulación de los animales, que empezaron a ser alimentados con piensos, mientras producían el estiércol necesario para abonar los cultivos, constituyendo desde entonces una parte muy importante de la dieta tanto humana como animal en Europa. En la

actualidad, prácticamente todo el maíz cultivado en las zonas templadas desarrolladas del planeta es **maíz híbrido**, resultante del cruzamiento de dos líneas puras. Los primeros híbridos europeos de maíz grano se produjeron en la Misión Biológica de Galicia en 1928, aunque su cultivo tardó varias décadas en generalizarse y con el paso del tiempo estos maíces para grano fueron convirtiéndose paulatinamente en maíces para forraje. En la actualidad el INRA (Institute National de la Recherche Agronomique), entidad pionera en la investigación sobre mejora genética en híbridos de maíz, lleva a cabo sus investigaciones manteniendo como criterio prioritario la obtención de variedades con un alto contenido en almidón, pero, sobre todo, orientadas a in-

crementar la digestibilidad de la parte verde de la planta, concretamente buscando una mejora de la digestibilidad por disminución de la cantidad de fibra no digestible. Todas esas variedades comerciales se han obtenido pensando en producción convencional y, por tanto, no contemplan entre sus requisitos características como **rusticidad y adaptación al medio ambiente**, sumamente importantes en la agricultura ecológica.

El cultivo de maíz en condiciones ecológicas, aunque está en una situación incipiente, es una alternativa prometedora y es previsible que aumente su demanda en los próximos años, tanto para la producción de forrajes y piensos para alimentación animal ecológica, como para la producción de alimentos humanos directos (maíz dulce, maíz de palomitas y harina de maíz). En este sentido, tanto en el maíz como en los demás cultivos, actualmente se tolera provisionalmente el uso de semilla obtenida en agricultura convencional para las explotaciones ecológicas, pero la práctica ortodoxa de la agricultura ecológica requiere la utilización de semilla producida en condiciones ecológicas. De hecho, las normas que regulan la producción ecológica (Reglamentos CE N.º 834/2007 y 889/2008), marcan como objetivo el empleo de **semillas locales** en los distintos cultivos, independientemente del uso al que vayan a ser destinadas (alimentación animal o humana). Por tanto, es necesario explorar al máximo las posibilidades de encontrar **poblaciones autóctonas de especies como el maíz, adaptadas a las distintas zonas de cultivo**.

Poblaciones locales de maíz en Asturias

La domesticación del maíz debió tener lugar en México alrededor de 5.000 años a.C., hecho que avalan tanto estudios arqueológicos, como la presencia de teosintes silvestres en esa zona. En las tierras altas de Perú, debió ocurrir un segundo centro de domesticación, entre los años 450 y 1.500 a.C., aunque no sería hasta el primer milenio a.C. cuando aparecieron maíces más vigorosos, producidos probablemente por cruzamientos con teosintes silvestres, que irían poco a

poco desplazando a los cultivos iniciales. La gran diversidad del maíz, que se extendía por todo el continente americano, desde Chile a Canadá, y se cultivaba desde las altas cordilleras alpinas hasta el nivel del mar, se explica por su reproducción alógama y por el cruzamiento de poblaciones de diferentes procedencias.

Según referencias históricas, las primeras semillas de maíz llegaron a Asturias, concretamente a Tapia de Casariego en el siglo XVII, traídas del continente americano por el Gobernador de Florida Gonzalo Méndez de Cancio. Este maíz se cultivó en comunidades cerradas y lugares apartados durante siglos, sin riesgo de contacto con los maíces híbridos introducidos a mediados del siglo XX, y se fue adaptando progresivamente a unas determinadas zonas geográficas, consiguiendo **rusticidad y adaptación al medio ambiente** para resistir condiciones de estrés, plagas y enfermedades endémicas.

La recolección sistemática de poblaciones locales de maíz cobró gran importancia a mediados del siglo pasado ante la evidencia de la sustitución de las poblaciones locales por los híbridos americanos, lo que implicaba pérdidas irreversibles de recursos fitogenéticos, y el consiguiente aumento de la vulnerabilidad de los cultivos con estrecha base genética. Este empeño resultó en una proliferación de colecciones de germoplasma que, con frecuencia, no se conservaban ni multiplicaban debidamente. En España, las poblaciones locales de maíz recuperadas están conservadas mayoritariamente en bancos de germoplasma procedentes de prospecciones realizadas en los años 70. Además, hay otras poblaciones conservadas por los agricultores que, por su aislamiento geográfico y correcto manejo histórico, se consideran suficientemente protegidas de contaminación por híbridos comerciales. También se encuentran regiones que, por sus singulares condiciones e historia, contienen recursos fitogenéticos insuficientemente recolectados y estudiados pero con elevado interés potencial, tales como el archipiélago Canario o Asturias.

En el caso concreto de Asturias, diversas poblaciones locales de maíz se conservan en diferentes bancos de germo-

plasma. Sin embargo, la recolección de las poblaciones no ha sido hecha de forma sistemática, por lo que es de prever que haya algunas zonas muestreadas en exceso y otras insuficientemente. Aún hoy, existen áreas en las que no se han recolectado los recursos genéticos de maíz porque se trata de cultivos residuales en explotaciones pequeñas, sin importancia económica para los agricultores, aunque, se continúan cultivando poblaciones locales debido a su empleo en la elaboración de productos típicos. La situación y orografía de la región hace que tenga unas condiciones ambientales muy heterogéneas, donde es de esperar una amplia diversidad entre las poblaciones locales recolectadas. Por tanto, hace falta conocer el origen geográfico exacto de todas las poblaciones asturianas que se conservan en las distintas colecciones, para identificar las zonas insuficientemente muestreadas.

La diversidad morfológica de algunas de las poblaciones recuperadas a lo largo de la geografía asturiana se puede apreciar en la Figura 2.

Por otra parte, la mejora genética que se aplica a los híbridos también podría aplicarse a las poblaciones locales, dirigida específicamente a conseguir aumentos de rendimiento que den como resultado variedades competitivas con los híbridos comerciales en las condiciones de producción ecológicas. Estas poblaciones locales una vez mejoradas podrían ser cultivadas por los agricultores durante varios años sin experimentar grandes pérdidas de rendimiento y paliando los principales problemas del cultivo de híbridos, ya que los caracteres a mejorar tienen una estructura genética que permite su mejora eficaz.

Además, de igual manera que se han obtenido maíces híbridos con aptitud para grano y para forraje, las poblaciones locales del Norte y Noroeste de España pueden diferir en su aptitud para ambas producciones, e incluso en las características del grano. En concreto, **las poblaciones locales de maíz asturianas** han sido empleadas tradicionalmente para alimentación animal y humana. Algunas de estas poblaciones locales pueden ser aptas para producir forraje con destino a en-

silado, otras pueden tener aptitud de cereal grano para industria de elaboración de alimentos compuestos para animales y otras ser aptas para su uso en la industria harinera para panadería y repostería típicas. Por otro lado, la producción de maíz autóctono para consumo humano en condiciones de agricultura ecológica puede ser una interesante alternativa para paliar el progresivo abandono de las explotaciones tradicionales que, además, responde a una demanda social de productos autóctonos y de mayor seguridad alimentaria. Además, la conservación de recursos locales permite recuperar tradición y aspectos culturales en desuso. Pero, antes de plantearse un proceso de mejora genética, se necesita llevar a cabo una **caracterización y evaluación** tanto morfológica como agronómica de las poblaciones locales recuperadas, que permita la elaboración de un catálogo de variedades locales de maíz potencialmente útiles para alimentación animal y/o humana en el marco de la producción ecológica.

Descripción de los ensayos de evaluación y caracterización de poblaciones locales de maíz asturiano

Desde el año 2007, dentro del Programa de Investigación sobre Pastos y Forrajes del Servicio Regional de Investigación

↓
Figura 2.-Poblaciones locales de maíz recuperadas en prospecciones realizadas en varios puntos de la geografía asturiana.



y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA), se están realizando prospecciones y recuperación de material de poblaciones locales de maíz en varios puntos de la geografía asturiana, con el propósito de obtener información científica y técnica sobre:

- Diversidad del germoplasma de maíz asturiano: lo que ensanchará la base genética disponible para mejorar la adaptación a zonas templado-húmedas y la resistencia a factores ambientales adversos como plagas y enfermedades endémicas.
- Variabilidad de los ambientes en los que se cultiva maíz en Asturias: información complementaria a la anterior para proporcionar una idea de la singularidad de la colección.
- Valor potencial del maíz asturiano para su cultivo en agricultura ecológica: información útil para los mejoradores y agricultores que busquen variedades adecuadas para su modalidad de producción.
- Valor potencial del maíz asturiano para producción forrajera: información útil para los mejoradores que busquen fuentes de alelos favorables para la utilización de la planta entera de maíz en la alimentación del ganado.

– Valor potencial del maíz asturiano para producción de harina panificable: información útil para los mejoradores que busquen fuentes de alelos favorables para molinería y elaboración de productos artesanales.

Con esta actividad se pretende construir la **colección asturiana de poblaciones de maíz autóctono** e identificar las mejores poblaciones locales de maíz para usos forrajero y panadero, así como aportar estrategias y directrices para la producción de maíz enfocada hacia las necesidades de la agricultura ecológica.

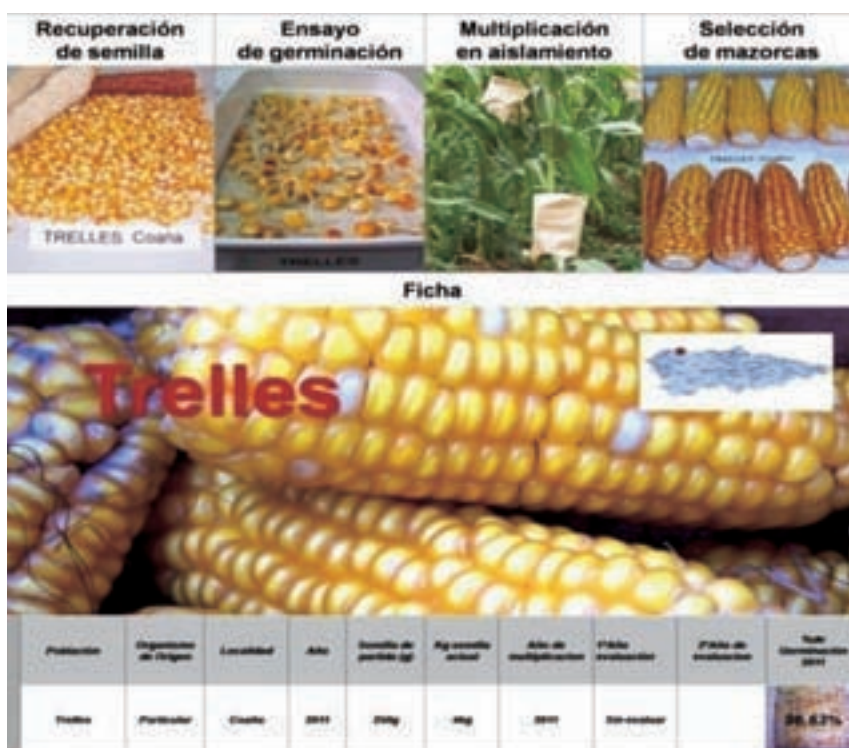
Hasta el momento se ha recuperado semilla de un total de **27 poblaciones locales**, de las cuales se han evaluado un total de 19.

Una vez recuperadas las poblaciones, se procede a realizar **ensayos de germinación** en condiciones controladas de temperatura y humedad para evaluar la viabilidad de las semillas.

En los casos en que la muestra obtenida de una determinada población procedente de los bancos de germoplasma o de las prospecciones realizadas resulte insuficiente, se procede a su **multiplicación en condiciones de aislamiento** con el fin de disponer de semilla en cantidad suficiente para los posteriores ensayos de caracterización y evaluación. Los ensayos de multiplicación se realizan en condiciones de manejo ecológico, siguiendo el método habitual consistente en sembrar al menos 150 granos para hacer todos los cruzamientos posibles de parejas de plantas, de modo que cada planta pueda actuar como macho o como hembra una sola vez. Dado que el número de poblaciones a multiplicar resulta elevado, el ensayo de multiplicación de semilla, se fracciona a lo largo del marco temporal previsto, continuando en el momento actual.

Posteriormente se procede a **seleccionar las mejores mazorcas de cada población** obtenidas en el ensayo de multiplicación, entre las que presentan una buena conformación y están ausentes de daños, para finalmente recuperar su semilla, parte de la cual se conserva como reservorio genético, y otra parte se

↓
Figura 3.-Actividades previas a la realización de los ensayos de evaluación y caracterización.



utiliza en los ensayos de caracterización morfológica de planta, mazorca y grano, y de evaluación de aptitud forrajera y de producción de grano.

Con esta información, para cada variedad local recuperada se confecciona una ficha, en la cual se va incorporando progresivamente toda la información disponible sobre la misma: fotografías disponibles, lugar de procedencia incluyendo coordenadas geográficas para su localización, ciclo FAO al que pertenece, resultados de los ensayos de germinación, disponibilidad de semilla, cantidad de la misma, fecha de las evaluaciones realizadas y características recogidas en los ensayos relativos a la planta entera, mazorca y grano, así como cualquier otra información considerada de interés.

En la figura 3 se puede ver una descripción de de las actividades descritas correspondiente a una de las poblaciones locales recuperadas.

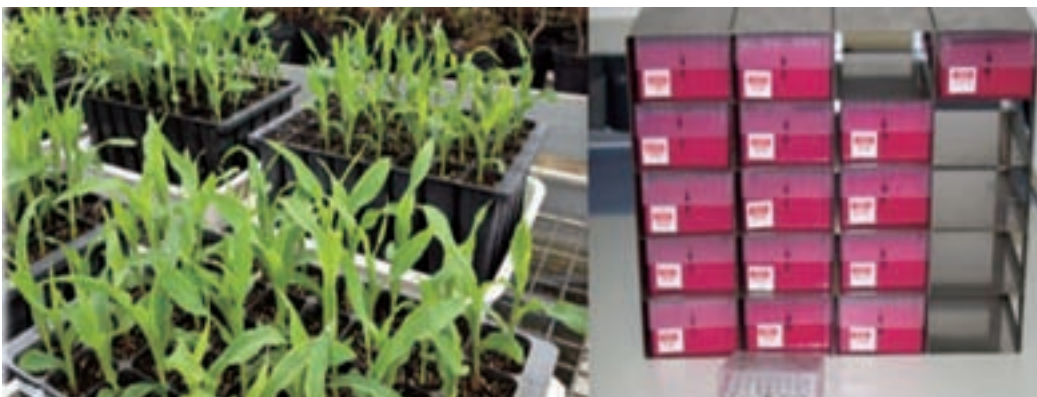
Paralelamente y con el propósito de conocer **su singularidad y establecer las relaciones filogenéticas existentes entre las poblaciones recuperadas**, se pretende genotipar la colección de poblaciones locales recuperadas con una batería de marcadores genéticos.

Se utilizarán como testigo, otras poblaciones de la Península Ibérica y de las tierras altas de México, consideradas estas últimas como origen de la domesticación del maíz. Para ello, se seleccionan 10 semillas representativas de cada una de las poblaciones recuperadas. Estas semillas se siembran en condiciones

adecuadas de germinación, hasta alcanzar el estadio de 3 hojas y unos 10 cm de altura. En este momento se recogen, se identifican adecuadamente y se almacenan a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su posterior análisis. A partir de hoja verde tierna se extrae el ADN utilizando para ello el Kit comercial GeneMATRIXPlant&Fungi DNA Purification Kit (EURx) y se conserva a 4°C , constituyendo el banco de germoplasma de maíz local del Principado de Asturias (Ver Figura 4).

El siguiente paso en el proceso de caracterización de estas poblaciones locales es realizar la siembra (Ver Figura 5). Esta se realiza en una parcela con historial previo de aprovechamiento bajo los requerimientos de la producción ecológica y cuya extensión permite que el ensayo esté alejado de zonas de influencia de cultivo de híbridos comerciales de maíz, para evitar posibles cruzamientos. Se siembran cuatro 4 surcos con 25 granos por surco de cada población a caracterizar, a una dosis inicial equivalente a 90.000 semillas/ha, pero buscando una densidad final más baja, para facilitar la toma de datos, que se consigue con un aclareo cuando las plantas alcanzan los 20 cm de altura.

Los ensayos de evaluación realizados hasta el momento se realizaron en 2008 y 2011 utilizando un diseño aumentado con cuatro repeticiones incluyendo en el campo de evaluación algún testigo procedente de poblaciones mejoradas y/o híbridos comerciales para actuar como testigos indicadores del ciclo de cultivo. Concretamente, en estos ensayos se utilizó como testigo el híbrido comercial de ciclo corto "Pollen", que previamente había sido evaluado con buenos resultados



←
Figura 4.-Estado vegetativo del maíz para la extracción de ADN y constitución del banco de germoplasma.



↑
Figura 5.-Campo de evaluación de poblaciones locales de maíz en manejo ecológico en Grado (zona interior baja de Asturias).

en la misma zona del ensayo “Zona interior baja de Asturias” en los ensayos de evaluación de variedades comerciales de maíz que el SERIDA viene realizando desde 1996.

La toma de datos correspondiente a los **descriptores morfométricos** de todas las poblaciones sembradas se realiza en el periodo comprendido entre los estados fenológicos de floración de las plantas de maíz y maduración del grano, utilizando los descriptores primarios y secundarios pertinentes propuestos por el Internacional Plant Genetic Resources Institute de México (IPGRI, 1991).

Para la preselección de las poblaciones con mejores aptitudes, tras los procesos de recuperación, multiplicación, caracterización y evaluación se realiza un seguimiento del cultivo y se toman datos de:

- Producción forrajera (en t de materia seca por ha).
- Relación peso seco mazorca/planta en estado de cosecha forrajera.
- Rendimiento de mazorca en peso seco.
- Rendimiento de grano.
- Humedad del grano.
- Estado sanitario.

Para la evaluación y control de parámetros de aptitud forrajera (producción y contenido en principios nutritivos) y producción de grano, se realizan los siguientes controles:

- Vigor de establecimiento.
- Fecha de aparición de estilos.
- Número de plantas.
- % de plantas caídas.
- % de plantas con el tallo partido por debajo de la espiga.
- Altura de las plantas.
- Altura de la inserción de la mazorca principal.
- Presencia de plagas.
- Presencia de enfermedades.

Las muestras recogidas para el control de producción forrajera se homogeneizan y se toman submuestras para la determinación de sus principios nutritivos. Estas muestras una vez secas y molidas, son analizadas en el laboratorio de Nutrición Animal del SERIDA, para determinar materia seca final, cenizas, proteína bruta, fibra neutro detergente y su digestibilidad con celulasa, almidón y estimación de la digestibilidad *in vivo* de la materia orgánica, energía metabolizable y UFL por kg de materia seca cosechada.

Previsiones de futuro

Hay que tener en cuenta que la caracterización y mantenimiento de la Colección del SERIDA de poblaciones de maíz autóctono se considera una actividad continua, y que los técnicos del SERIDA, en colaboración con agricultores locales, están constantemente en busca de nuevas poblaciones para ser añadidas al banco. En este trabajo se presenta el protocolo de trabajo establecido por el Área de Nutrición Pastos y Forrajes del SERIDA para la evaluación y caracterización de las poblaciones locales de maíz. Hasta el momento hay 19 poblaciones evaluadas. Existen otras ocho variedades incorporadas al banco, y, alguna más está en estos momentos en fase de estudio para ser incorporada. El primer paso futuro será la multiplicación de estas poblaciones en condiciones de aislamiento y manejo



ecológico con el fin de disponer de semilla en cantidad suficiente para los posteriores ensayos de caracterización y evaluación. Posteriormente se caracterizarán y evaluarán, siguiendo el protocolo establecido.

De la misma manera, se completará el banco de germoplasma y ADN con tejido verde de plantas en estadio de 3 hojas y unos 10 cm de tamaño, y el ADN de 10 individuos de cada población. A partir de este material genético, se pretende genotipar las poblaciones con una batería de 15 marcadores neutros (no sometidos a selección) para establecer las relaciones filogenéticas entre ellas, identificar poblaciones singulares, y determinar la proporción de migrantes entre parejas de poblaciones. Una vez obtenida y estudiada toda la información disponible, se pretende establecer:

- Una descripción de cada una de las poblaciones locales en cuanto a su valor potencial en agricultura ecológica, para producción forrajera y/o para producción de harina panificable.
- Un ranking de las poblaciones teniendo en cuenta las prioridades de conservación.

Asimismo, se pretende determinar la calidad harinera de cada población en estudio, para lo cual se determinarán los parámetros de: densidad, prueba de molido y, rotura de pericarpio.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a todas las personas que han contribuido a la recuperación de las semillas. Al personal de campo del SERIDA de Grado. Al personal técnico del laboratorio de Nutrición del SERIDA de Villaviciosa y a Alfonso Carballal Samalea por el apoyo informático.

Referencias bibliográficas

- ALONSO FERRO, R. C.; MALVAR, R. A.; REVILLA, P.; ORDÁS, A.; CASTRO, P.; MORENO GONZÁLEZ, J. 2008. Genetics of quality and agronomic traits in hard endosperm maize. *Journal of Agricultural Science*, 146, 551-560.
- ARGAMENTERÍA, A.; CARBALLAL SAMALEA, A.; GONZÁLEZ GARCÍA, C.; MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, A.; DE LA ROZA DELGADO, B.; SOLDADO CABEZUELO, A.; MODRÑO LOZANO, S. 2013. Variedades de maíz. Actualización año 2012. Informe Técnico. SERIDA. 33 pp.
- BOUZA-BREY, F. 1953. Noticias históricas sobre la introducción del cultivo del maíz en Galicia. *Bol. Real Academia Historia*, 132:35-72.
- IPGRI. 1991. Descriptores para maíz. International Plant Genetic Resources Institute, Mexico.
- KATO, T. A.; MAPES, C.; MERA, L. M.; SERRATOS, J. A.; BYE, R. A. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 pp. México, D.F.
- MALVAR, R. A.; REVILLA, P.; MORENO-GONZÁLEZ, J.; BUTRÓN, A.; SOTELO, J.; ORDÁS, B. 2008. White maize: genetics of quality and agronomic performance. *Crop Science*, 48:1373-1381.
- MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, A.; VANEGAS RUÍZ, J. L.; ARGAMENTERÍA, A.; MARTÍNEZ MARTÍNEZ, A. 2011. Tecnologías del cultivo de millo forrajero en producción ecológica e convencional. *Afriga* 91: 54-60.
- MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, A.; GONZÁLEZ GARCÍA, C. 2013. Poblaciones locales de maíz en Asturias para forraje y grano. *Afriga*: 90-96.
- MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, A.; MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, A. 2014. Evaluación de poblaciones locales de maíz en Asturias. Resultados para forraje y grano. *Afriga*: 109, 98-104.
- ORDÁS, A. 2003. Cruz Gallástegui, pionero de la mejora genética de plantas. En: *Los orígenes de la mejora genética en España. Sociedad Estatal de Conmemoraciones Culturales S.A.* Pp 299-326. Edita: M. Candela (Madrid).
- PIPERNO, D.R.; RANERE, A. J.; HOLST, I.; IRIARTE, J.; DICKAU, R. 2009. Starch grain and phytolith evidence for early ninth millennium BP maize from the Central Balsas River Valley, Mexico. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 106: 5019-5024.
- REGLAMENTO (CE) n.º 834/2007 DEL CONSEJO de 28 de junio de 2007 sobre producción y etiquetado ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) n.º 2091/91.
- REGLAMENTO (CE) n.º 889/2008 DE LA COMISION de 5 de setiembre de 2008 por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) n.º 834/2007 del Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y su control.
- RUÍZ DE GARRALETA GÓMEZ, J. I. 1992. Agrupación de poblaciones locales de maíz (*Zea mays*, L.) mediante caracteres morfológicos y parámetros ambientales. Tesis Doctoral. Servicio de publicaciones, Universidad de Lleida (España). 161 pp. ■

