

Revista ARCHAEOBIOS N° 5, Vol. 1 Diciembre 2011
ISSN 1996-5214



<http://www.arqueobios.org>

REVISTA DE BIOARQUEOLOGÍA “ARQUEOBIOS” Nº 5 Vol. 1, Año 2011

DIRECTOR:

Víctor F. Vásquez Sánchez (ARQUEOBIOS)

COMITÉ EDITORIAL:

Teresa E. Rosales Tham (Universidad Nacional de Trujillo, Perú)
Gabriel Dorado Pérez (Universidad de Córdoba, España)
Eduardo Corona Martínez (INAH, Cuernavaca, Morelos-México)
César Gálvez Mora (Ministerio de Cultura, Trujillo-Perú)
Catherine Gaither (Metropolitan State Collage of Denver, USA)
Isabel Rey Fraile (Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, España)

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN:

Daniel S. Otiniano Quispe (Universidad Nacional de Trujillo, Perú)

INFORMACIÓN ADICIONAL:

Revista de Ciencias Aplicadas

Publicación Anual

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2007-07279

Centro de Investigaciones Arqueobiológicas y Paleoecológicas Andinas
“ARQUEOBIOS”

Apartado Postal 595, Trujillo, Perú

Teléfono: +51-44-949585847

URL: <http://www.arqueobios.org>

- El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores

CARÁTULA:

Cadena de ADN formada a partir de semillas de *Zea mays* “maíz” que participan como los nucleótidos y también inflorescencias de *teosinte* que forman los puentes de hidrógeno entre ambas cadenas.



CONTENIDO

• INTRODUCCIÓN	1
• ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN	4
<i>Estudio de la respuesta al cultivo de semillas y embriones de maíz (Zea mays) antiguo de la época Chimú (1420 años d.C.)</i> Víctor F. Vásquez; Teresa Rosales; Gabriel Dorado	4
• ARTÍCULOS DE REVISIÓN	16
<i>Early Prehistoric Maize from the Casma Valley, Perú</i> Thomas Pozorski; Shelia Pozorski	16
<i>Ancient nucleic acids from maize - A review</i> Gabriel Dorado; Teresa Rosales; Fernando Luque; Francisco Javier S. Sánchez-Cañete; Isabel Rey; Inmaculada Jiménez; Arturo Morales; Manuel Gálvez; Jesús Sáiz; Adela Sánchez; Víctor F. Vásquez; Pilar Hernández	21
<i>Population health effects of maize-dependent agriculture: one size does not fit all</i> Catherine M. Gaither	29
<i>Evolución natural y antropogénica de Zea spp. en Mesoamérica</i> Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez	36
<i>Eventos ENOS (El Niño, la Oscilación del Sur) y el cultivo de maíz en el desierto del sector medio del valle de Chicama, Perú</i> César Gálvez; Andrea Runcio	79
• LIBROS PUBLICADOS	98
• POLÍTICA EDITORIAL	99



INTRODUCCION

ARQUEOBIOS

INTRODUCCIÓN

Terminamos el año 2011 con la publicación del número 5 de la revista ARCHAEOBIOS, que ahora se encuentra incluida en el catálogo de LATINDEX (Folio 20163) y en DOAJ (Directory Open Access Journals). Esto nos permite ampliar la difusión de la revista en el ámbito internacional, lo cual genera una mayor expectativa para los investigadores extranjeros sobre la evolución y difusión de nuestras investigaciones.

En este número hemos querido dedicar la mayor parte del contenido a temas relacionados con el estudio de restos arqueológicos de *Zea mays* “maíz”, uno de los cereales más importantes del mundo, después del trigo y el arroz. Coincidentemente estos tres cereales, tienen una historia que está fuertemente relacionada con el hombre y su historia. Otras características en común es el amplio repertorio de parientes silvestres (que aún sobreviven) a partir de los cuales fueron domesticados y se siguen mejorando los cultivos modernos.

La domesticación de estos cereales, ha tenido una serie de eventos genéticos (mutaciones) donde el hombre con su continua observación de estas plantas silvestres que le aportaban sustento alimenticio, fue seleccionando características deseables que acumulaba con el transcurrir de muchas generaciones, hasta obtener el producto que le permitiera cosechar un planta con características deseables, lo cual constituiría el primer evento de la domesticación de estos cereales.

Se han escrito múltiples trabajos sobre la domesticación de estos cereales, y en el caso del maíz, la producción de trabajos sobre su proceso de domesticación, es abundante y rica en información. Todas las evidencias, especialmente los aportes de la genética molecular, indican que el maíz fue domesticado a partir del *teocintle* (*Zea mays parviglumis*) de la región central de México.

También las evidencias arqueológicas más tempranas de la presencia del maíz doméstico se encuentran en México, siendo aquellas evidencias de Guilá Naquitz (Oaxaca, México), las más antiguas reportadas a la fecha, con fechados directos mediante AMS que indican 5420 ± 60 (Beta-132511)¹. Desde esta fecha la dispersión que alcanzó este cereal hacia otros medios geográficos, tanto al norte como al sur, ha sido amplia y ha contribuido a mejorar el conocimiento de la historia de este cultivo.

Lamentablemente en nuestro medio no se han continuado estudios especializados sobre la presencia del maíz en sitios arqueológicos tempranos, y la información aún no está completa para la historia del maíz en los sitios andinos, lo que implica que pueden existir importantes evidencias, que puedan aportar nuevos conocimientos sobre este cultivo, especialmente en sitios precerámicos y del formativo temprano, donde deben estar las evidencias más tempranas de la presencia de este cereal en nuestro medio.

¹ Blake M (2008): Dating the Initial Spread of *Zea mays*. In: *Histories of Maize*. John Staller, Robert Tykot, Bruce Benz (Editores). Chapter 4, pp. 55-72, table 4-1

El contenido de la revista en esta oportunidad tiene la contribución de seis artículos, uno de ellos relacionado con una investigación realizada sobre la respuesta del cultivo *in vitro* de embriones y semillas de maíz de la época Chimú. En este estudio se demuestra que no se puede mediante la tecnología de cultivo de tejidos, desarrollar una plántula, incluso después de observar crecimiento celular a partir de los tejidos antiguos. Las pruebas de viabilidad y movimientos citoplasmáticos, tipo cyclosis, indicaron que los embriones antiguos, pudieron recuperar tejido nuevo, se pudo extraer ADN de buena calidad, pero fue imposible que estos siguieran creciendo para obtener una nueva planta.

Sin embargo este trabajo, tuvo como consecuencia demostrar, que todas aquellas noticias anecdóticas de germinación de semillas arqueológicas hasta obtener plantas, son anécdotas, sin valor científico y por tanto sin ninguna credibilidad. La aplicación práctica de este trabajo, permitió al banco de germoplasma de CIMMYT, regenerar accesiones de maíz con una antigüedad de 50 años, utilizando técnicas de cultivos de tejidos.

Otro artículo está referido al maíz de San Diego en el valle de Casma, donde las fechas radiocarbónicas de los restos asociados, indican un rango de 1040 a 160 años a.C. Lo más sorprendente de este hallazgo, son las medidas de las mazorcas, las cuales tienen un rango entre 36 a 84 mm, es decir se trata de mazorcas de maíz muy pequeñas, que puede implicar evidencias primitivas del fenotipo del maíz de estas fechas en la costa norte del Perú. También se indica en este trabajo que no hay vestigios de maíz para el período inicial (2100-100 aC) y período tardío precerámico (3000-2100 aC), lo que no necesariamente implica que otros sitios no puedan tener evidencias de maíz.

El siguiente artículo *Ancient nucleic acids from maize - A review*, es una revisión de los estudios relacionados con métodos de biología molecular, que han permitido el estudio de su ADN antiguo. Los estudios moleculares sobre evidencias antiguas de maíz, indican una uniformidad y falta de polimorfismo en este tipo de ADN, lo que podría deberse a un proceso de selección que favorecería la homocigosis. El proceso de domesticación de este cereal y de varios cultivares, tiene como consecuencia que aquellas plantas domesticadas han pasado por un cuello de botella, que tuvo como consecuencia una reducción de su diversidad y por tanto una tendencia a tener poblaciones más homogéneas, que al estar alejadas de los parientes silvestres, solo tendrían oportunidades de cruzarse entre ellas, originando la homocigosis. También los resultados obtenidos mediante su ADN sugieren que el actual acervo genético del maíz tiene millones de años de antigüedad, y que las actuales variedades domesticadas son el resultado de diversas poblaciones ancestrales silvestres.

Otro artículo está referido desde la perspectiva de los estudios de antropología forense, así, Catherine Gaither, examina las implicancias de salud de antiguas poblaciones andinas relacionadas con la agricultura y consumo de maíz. Indica que los estudios están relacionados a tres problemas de salud observados en poblaciones que dependen de maíz, como la anemia por deficiencia de hierro, la pelagra, y las enfermedades dentales. Las evidencias óseas de estas enfermedades y las interpretaciones salud de estas

poblaciones se presentan y discuten en el contexto del impacto biocultural de la aparición de la agricultura. Las conclusiones de este estudio indican que las respuestas de salud de las poblaciones que dependen del maíz no son uniformes y se sugiere la utilización de otras técnicas para recuperar y analizar los datos.

El contenido de la revista presenta una contribución muy importante de un especialista en germoplasma de maíz de México. El artículo de Jesús Cuevas Sánchez, nos proporciona datos actualizados relacionados con la taxonomía de los ancestros silvestres del maíz (*teocintles*). En este trabajo se hace un análisis de la información cuantitativa derivada de una evaluación experimental relacionada con algunas formas de uso de los carióspsides de *Zea mays* ssp. *mexicana*, que según la información molecular, estaría involucrada en la fase inicial del proceso de selección bajo domesticación, y que posteriormente condujo a la aparición de la planta conocida por los mexicas como *Centli*.

Este investigador mexicano, analiza las evidencias aportadas recientemente por diversos investigadores, donde señalan a Centroamérica como un importante centro de evolución y diversificación natural de varias poblaciones silvestres de *teocintles*, entre las que destacan las de *Zea nicaraguensis*, *Zea diploperennis* y *Zea mays* ssp. *parviglumis*, que fueron utilizadas por diversas culturas Mesoamericanas para la domesticación del maíz. El autor destaca el esfuerzo de selección que han realizado los pobladores del área Andina, cuyos productos se observan en la gran cantidad de razas de maíz existentes en dicha zona, que son producto de la evolución cultural e histórica de los pobladores de esta geografía.

Finalmente tenemos el artículo de César Gálvez y Andrea Runcio, que describen como en un contexto de cambios climáticos generados por El Niño, la Oscilación del Sur, y la disponibilidad de fuentes de aguas en las áreas quebradeñas del Ascope, y en base a la información etnográfica recopilada, las actividades de subsistencia, indican el desarrollo de una agricultura y en especial del cultivo del maíz en esta área desértica, lo que implica que este cereal puede adaptarse para el cultivo en estas circunstancias anómalas del clima regional como constituye un evento ENOS.

Desde que apareció el maíz gracias a la presencia del hombre, se han sucedido eventos tan importantes en las civilizaciones mesoamericanas, centroamericanas y sudamericanas, tan especiales e importantes, que actualmente prodiga al mundo de alimento y últimamente de combustible, lo que indica que la conjunción maíz-hombre tal como surgió, inexorablemente terminara cuando el hombre se extinga y este cereal también, porque no habrá forma que pueda propagarse por sí mismo. Así es la historia de estas dos especies.

El Director



**ARTICULOS DE
INVESTIGACION**

ARQUEOBIOS

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

Estudio de la respuesta al cultivo de semillas y embriones de maíz (*Zea mays*) antiguo de la época Chimú (1420 años d.C.)

Víctor F. Vásquez¹, Teresa E. Rosales², Gabriel Dorado³

¹ Autor para correspondencia, Centro de Investigaciones Arqueobiológicas y Paleoecológicas Andinas ARQUEOBIOS, Apartado Postal 595, Trujillo (Perú); ² Laboratorio de Arqueobiología, Avda. Universitaria s/n, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo (Perú); ³ Dep. Bioquímica y Biología Molecular, Campus Rabanales C6-1-E17, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (ceiA3), Universidad de Córdoba, 14071 Córdoba (Spain)

Resumen

Se ha estudiado la respuesta al cultivo de semillas y embriones de maíz de la época Chimú de hace unos 700 años. Se ha observado crecimiento de tejido blanquecino en embriones de una mazorca recuperada de excavaciones en el sitio "El Brujo" (valle de Chicama, Perú). Se detectaron otros indicios de vida celular, como movimientos citoplasmáticos similares a ciclosis. Los cultivos de estos embriones permitieron recuperar ADN de buena calidad, el cual fue amplificado mediante RAPD. Ello ha permitido estudiar la biodiversidad de este material antiguo y compararla con entradas de germoplasma de maíz del CIMMYT, almacenadas durante más de 50 años. Sin embargo, no fue posible inducir la germinación de las semillas antiguas ni la regeneración de plantas a partir de los embriones en las condiciones de cultivo empleadas en este trabajo. Sin embargo, dado que las pruebas realizadas indican que las semillas antiguas contienen tejido vivo, podría ser posible obtener plantas de maíz a partir de las mismas, si se usaran medios de cultivo apropiados, desconocidos hasta el momento.

Palabras clave: arqueología, viabilidad, diacetato de fluoresceína, recuperación, rescate recursos fitogenéticos, DNA.

Abstract

The culture response of maize seeds and embryos of the Chimu epoch of about 700 years has been studied. White tissue growth has been observed on embryos from a cob recovered from excavations at the "El Brujo" site (Chicama valley, Peru). Other cellular life evidences were detected, like cytoplasmic movements similar to cyclosis. The cultures of these embryos allowed to recover good-quality DNA, which was amplified by RAPD. This has allowed to study the biodiversity of such ancient material and to compare it to maize germplasm accessions at the CIMMYT that had been stored for more than 50 years. Yet, it has not been possible to induce the ancient seed germination nor the plant regeneration from the embryos with the culture conditions tested in this work. Yet, since the tests carried out indicate that the ancient seeds contain live tissue, it could be possible to obtain maize plants from them, if appropriate, albeit so far unknown, culture media were used.

Keywords: archaeology, viability, fluorescein diacetate, recovery, rescue, phytogetic resources.

Introducción

Se han llevado a cabo diversos estudios sobre la germinación de semillas antiguas (Turner, 1933; Walters *et al*, 2005; Boerner, 2006; Rajjou y Debeaujon, 2008; Sallon *et al*, 2008; Li y Pritchard, 2009; Probert *et al*, 2009; Merritt y Dixon, 2011).

En general, se recomiendan ambientes secos y fríos (–18 a –20 °C) para preservar la capacidad germinativa de las semillas (Benson *et al*, 1998; Rao *et al*, 2006). La capacidad germinativa de semillas antiguas ha sido analizada usando distintas estrategias experimentales, dada la relevancia teórica y practica de este proceso. Estos experimentos han demostrado que la viabilidad germinativa de las semillas antiguas de no está necesariamente correlacionada con un perfil de historial tafonómico concreto (Odum, 1965). Dicha disparidad puede deberse al hecho de que las semillas de diferentes especies tienen distintos requerimientos de conservación.

Existen abundantes referencias bibliográficas de viabilidad germinativa de semillas antiguas conservadas hasta 2.000 años; por ejemplo:

- Tojo enano doble (*Cytisus biflorus*, ahora llamado *Cytisus ratisbonensis*), arbusto de mariposas (*Cassia bicapsularis*) y hormiguerilla (*Cassia multijuga*, ahora llamada *Senna multijuga*), con 84, 87 y 150 años de antigüedad, respectivamente (Labouriau, 1983).
- Hinojillo de conejo (*Bupleurum tenuissimum*), de 144 años (Godefroid *et al*, 2011).
- Árbol de la seda o "acacia" (sic) de Constantinopla (*Albizia julibrissin*), conservadas en el Museo Británico durante 200 años (Hartman y Kester, 1981).
- Acacias de varias especies (*Acacia* spp.) de 151 años (Leino y Edqvist, 2010).
- Acacia (*Acacia* sp.), Liparia (*Liparia* sp.) y acerico (*Leucospermum* sp.) de más de 200 años (Daws *et al*, 2007).
- Loto sagrado o loto de la India (*Nelumbo nucifera*), tras estar enterradas 1.288 años en una turbera de Manchuria (China) (Hartman y Kester, 1981; Shenmiller *et al*, 1995).
- Esparcilla (*Spergula arvensis*) tras 1.700 años (Odum, 1965).
- Maíz (*Zea mays*) del ex-museo de paleopatología del Hospital Dos de Mayo en Lima (Perú) de unos 1.800 años, procedentes de ofrendas de un fardo funerario Paracas, obteniéndose cuatro generaciones de plantas (sin publicar).
- Dátil (*Phoenix dactylifera*) de hace 2.000 años (Sallon *et al*, 2008).
- Alubia (*Phaseolus vulgaris*), pallar o alubia del Perú (*Phaseolus lunatus*) y pallar del gentil (*Canavalia ensiformis*), que provienen de cementerios

prehispánicos de Chancay, algunos sitios arqueológicos de la costa norte del Perú, e incluso de semillas almacenadas en museos de dicha zona (sin publicar).

No obstante, hay que tener cuidado con este tipo de estudios, ya que se prestan a generar resultados erróneos (falsos positivos), como ya denunció Turner en 1933. Un ejemplo más reciente es el de semillas de *Lupinus arcticus*, con una supuesta edad de 10.000 años (Porsild *et al*, 1967). Sin embargo, estudios posteriores han demostrado que correspondían a semillas modernas (Zazula *et al*, 2009).

El presente trabajo representa un estudio controlado de la viabilidad de germinación de semillas arqueológicas de maíz de la costa norte del Perú. En esta Investigación han participado especialistas en arqueobiología, biotecnología, biología molecular y química.

Materiales y Métodos

Excavación arqueológica

Con la finalidad de obtener muestras de semillas de *Zea mays* de contextos de la época Chimú, se llevaron a cabo excavaciones en contextos domésticos en el complejo arqueológico de “El Brujo”, realizando excavaciones controladas y dirigidas a recuperar las semillas en las condiciones más apropiadas para el estudio. Una vez recuperadas las semillas, fueron embaladas en bolsas de aluminio forradas con papel y selladas de inmediato para su traslado al laboratorio. Se tomaron diversos datos del contexto, como la temperatura y humedad del suelo mediante un termo-higrómetro digital con sonda móvil “EC Tester - Soil Tester” HI 98331 de Hanna Instruments (Woonsocket, RI, EUA).

Análisis físico-químico de suelos arqueológicos

Se realizaron muestreos de los suelos que las contenían. Se realizaron un total de 64 análisis, incluyendo valores de pH, conductividad eléctrica, y concentración de los iones de potasio, calcio, magnesio y fosfato.

Cultivos de embriones

Los cultivos de embriones del maíz Chimú se realizaron en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con sede en México. Las semillas recuperadas en las excavaciones fueron puestas en cuarentena y refrigeración, antes de su procesamiento para el cultivo de los embriones. Las semillas que aún estaban en mazorcas se desgranaron. Las semillas fueron esterilizadas y el embrión fue escindido de la semilla. Se usaron medios de cultivo especial para gramíneas, realizándose pruebas de viabilidad de semillas completas y de embriones aislados. Todo el proceso se realizó en condiciones de asepsia, control de temperatura y humedad. Se tomaron fotografías para registrar los progresos en el crecimiento celular. Las zonas de crecimiento

fueron sometidas a pruebas de viabilidad con carmín, fucsina ácida y DiAcetato de Fluoresceína (DAF). Paralelamente se realizaron pruebas con embriones de semillas de maíz almacenadas en el banco de germoplasma del CIMMYT, con edades que fluctuaban entre 10 a 30 años. De este modo se observó su crecimiento celular y se comparó con el cultivo de los embriones arqueológicos, determinando aquellas que crecían normalmente y podían ser sembradas en macetas para su evaluación en campo.

Análisis de ADN antiguo del producto del cultivo de embriones

Estos estudios también se realizaron en CIMMYT, empleando varios métodos, tanto para el maíz arqueológico, como para el moderno. En el caso del ADN antiguo, éste se realizó a partir de los tejidos regenerados en el cultivo de embriones, utilizando muestras muy pequeñas. Se llevó a cabo la amplificación de marcadores moleculares de tipo ADN polimórfico amplificado al azar (del inglés, "Random Amplified Polymorphic DNA"; RAPD). Se usaron cuatro pares de cebadores. El ADN amplificado se segregó mediante electroforesis en gel de agarosa MetaPhor al 3%. Para propósitos comparativos, se realizaron análisis con ADN de maíz moderno, y así tratar de establecer algunos cambios ocurridos después de 500 a 700 años.

Resultados y Discusión

Cultivo de Embriones

Los cultivos de embriones empezaron a realizarse en agosto de 1994, en los medios especiales enriquecidos con fitohormonas y nutrientes esenciales. En total se cultivaron 630 embriones, observándose resultados prometedores de crecimiento celular en cinco embriones que provenían de la muestra 12 del complejo arqueológico de "El Brujo" (Figura 1).



Figura 1. Mazorca de maíz Chimu (muestra 12). Se aprecian las hileras rectas de granos de color púrpura, cuyos embriones experimentaron crecimiento celular.

Esta mazorca de maíz, fue fechada en los laboratorios del Museo Nacional de Dinamarca, arrojando resultados de 1300 a 1420 años después de

Cristo; es decir, Chimú tardío (590 ± 70 ^{14}C ref. 1950, con δ^{13} de $-12,9\%$ en relación al estándar de belemnites del Pee Dee (del inglés, "Pee Dee Belemnite"; PDB).

Ninguna de las semillas que fueron puestas en medios de cultivo presentaron signos de germinación, pero varios embriones, especialmente aquellos de la muestra 12, desarrollaron abultamientos pequeños, blanquecinos y amarillentos, los cuales fueron sugerentes de un desarrollo de callos o tejidos desorganizados (Figuras 2 y 3).

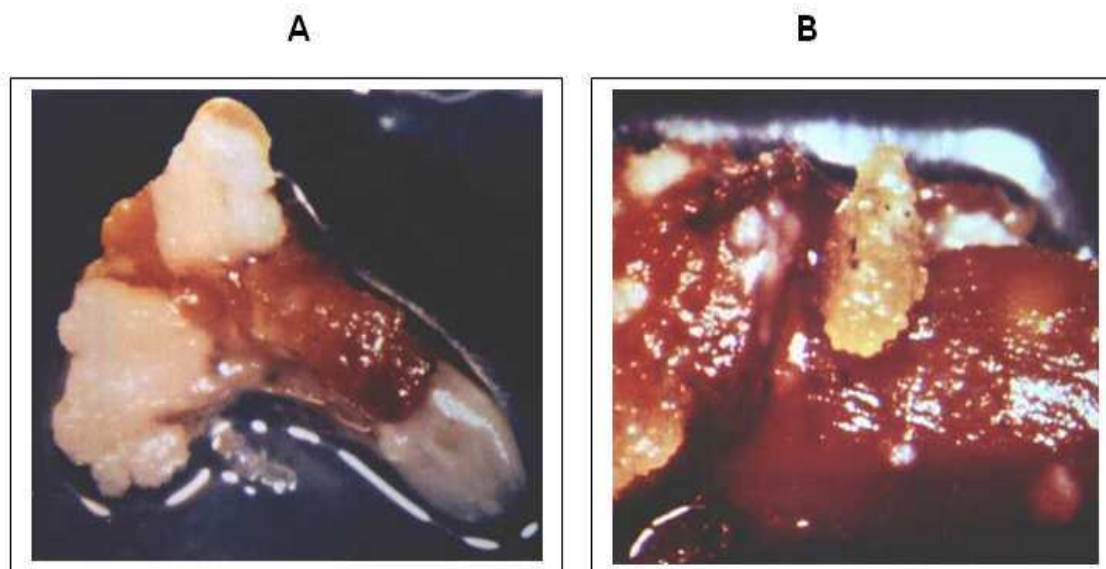


Figura 2. Cultivo de embriones de maíz Chimú (muestra 12). **A.** Embrión de la muestra 12, con zonas abultadas de color blanquecino correspondiente al crecimiento de tejido para formar callos. **B.** Abultamiento amarillento de tejido nuevo crecido a partir del cultivo de embrión (células meristemáticas).

El cultivo de embriones produjo crecimiento de callos; es decir, conjuntos de células meristemáticas, y por tanto no diferenciadas (Figura 2B), que fueron aislados y cultivados en medio especial de crecimiento de callos, aunque no se logró la generación de plántulas.

La viabilidad de los tejidos regenerados se analizó mediante hidrólisis de diacetato de fluoresceína, siendo observados bajo luz ultravioleta (UV; revisado de Priestley, 1986:129). Los resultados fueron intrigantes, porque la fluorescencia obtenida era amarillo-verde de intensidad fuerte en muchas células (Figura 3), lo cual suele considerarse un indicio de funcionamiento enzimático celular.

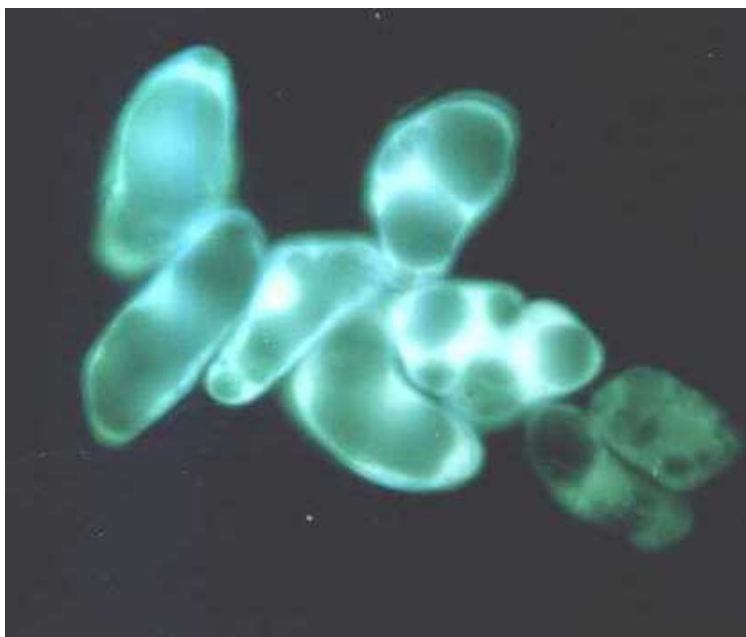


Figura 3. Test de viabilidad. Células de tejido regenerado a partir de los cultivos de embriones del maíz Chimú (muestra 12), teñidas con DAF e irradiadas con luz UV. Se observa el color verde-amarillo, típico de células vivas.

Adicionalmente, se observaron flujos citoplásmicos en las células, parecidos a ciclosis, si bien no tan rápido o extenso como en células modernas, por lo que podría tratarse de un movimiento browniano (Figura 4).



Figura 4. Posible movimiento citoplásmico. Células de tejido regenerado a partir de embriones de maíz Chimú (muestra 12), con un posible movimiento citoplasmático parecido a la ciclosis.

Estos resultados indican que las células provenientes de los tejidos formados a partir del cultivo de embriones del maíz Chimú no estaban muertas, presentando un lento incremento celular en el medio de cultivo. Dichos cultivos se mantuvieron durante casi nueve meses, conservando el mismo aspecto blanquecino-amarillento, pero sin aumentar en tamaño, por lo que el estudio experimental culminó en dicho momento.

La revisión de diversos casos donde hubo excepcionales eventos de germinación de semillas antiguas sugiere un posible cuadro fisiológico conocido como *criptobiosis*. Éste se presenta cuando las semillas se liberan de la planta con embriones muy pequeños e inmaduros. Este fenómeno se caracteriza por una tasa muy pequeña de consumo de oxígeno y una disminución de la velocidad de liberación de CO₂. Esta ralentización metabólica está ligada a una disminución de actividades de las enzimas de la glucólisis y ciclo de Krebs (Labouriau, 1983). Así, una de las probables explicaciones del lento crecimiento de los callos formados y su escasa actividad catabólica sería la también escasa actividad anabólica, parándose entonces muchas reacciones metabólicas por la falta de los respectivos catalizadores específicos. De este modo se ralentizaría y bloquearía el proceso global de crecimiento celular.

Los resultados de viabilidad obtenidos con las células regeneradas a partir del cultivo de los embriones del maíz Chimú son interesantes porque un embrión muerto cambia de color, luego se vuelve suave, de color café, y en el lapso de dos a 10 días son invadidos por hongos (Hartman y Kester, 1981), situación que no ocurrió con los embriones de maíz Chimú, que se mantuvieron intactos hasta durante nueve meses, pero en condiciones controladas de asepsia.

Análisis de suelos arqueológicos

En la actualidad, los suelos que albergaron estas muestras tenían valores de pH superiores a 8, a excepción de la muestra de suelo 3 (pH 7,8) y la muestra de suelo 6 (pH 7,7) (Tabla 1). Estos altos valores indican la presencia de carbonatos, producto de la lixiviación de las conchas de moluscos, con las que se encontraban asociadas algunas muestras de semillas de *Zea mays* de la época Chimú. La alcalinidad del suelo puede deberse a distintos factores. La muestra de maíz 12 (muestras de suelo 7 y 8 en la Tabla 1), presentó altos valores de pH (8,2 y 8,1, respectivamente), lo que indica que el pH actual no está significativamente correlacionado con la viabilidad, siendo por tanto un parámetro no significativo para este tipo de estudios.

Por su parte, la Conductividad Eléctrica (CE) está relacionada con el gradiente de potencial de reducción-oxidación (redox), que puede tener importantes consecuencias físicas, químicas, bioquímicas y biológicas. Los bajos valores actuales en las muestras de suelo 3, 4, 7 y 8 (asociadas a la muestra de semilla 12), sugieren una relativa estabilidad de estos suelos en relación a posibles cambios físicos y químicos. Ello implica que parámetros como la temperatura y la humedad son uniformes en la actualidad, lo que debe favorecer su conservación.

Tabla 1. Resultados de los análisis de suelos arqueológicos de la época Chimú.

Muestra	pH	CE (mmΩ/cm)	Humus (%)	P (ppm)	Ca ⁺² (%)	Mg ⁺² (%)	K ⁺ (%)	Na ⁺ (%)
1	8,1	1,324	2,52	292	0,27	0,22	0,53	0,750
2	8,1	1,106	2,41	385	0,27	0,37	0,718	0,845
3*	7,8	0,317	2,16	163	0,66	0,12	0,215	0,550
4*	8,0	0,328	2,04	140	0,45	0,13	0,140	0,465
5	8,3	1,115	10,35	460	0,98	0,24	0,990	3,6
6	7,7	1,090	10,05	466	0,70	0,34	0,975	4,4
7*	8,2	0,415	2,04	140	1,37	0,23	0,370	0,855
8*	8,1	0,482	1,88	152	1,79	0,40	0,33	0,840

* Muestras de suelos asociadas a la mazorca Chimú denominada muestra 12 (ver texto anterior). CE: Conductividad Eléctrica. Ω: ohmio. ppm: partes por millón.

Por otro lado, se observaron altos porcentajes de calcio (Ca²⁺) en las muestras de suelo 7 y 8, que albergaron la muestra de maíz 12 previamente descrita. Esto sugiere que la matriz del suelo que albergó dicha mazorca habría sido sometida a temperaturas bajas estables y constantes. Ello permitiría que dicho catión se acumulara en este tipo de suelo, con un posible efecto favorable sobre la conservación de la semilla. De hecho, se han descrito también altos valores de calcio en los suelos de sitios daneses que albergaban semillas de diversas especies que mostraron resultados positivos de germinación (Odum, 1965: tabla II).

Los demás parámetros químicos (Tabla 1) no muestran correlación con los resultados del cultivo de embriones de maíz Chimú. Por lo tanto, la determinación del calcio (Ca⁺²) y la CE de los suelos que albergan las semillas antiguas podrían ser parámetros a considerar en futuras investigaciones de viabilidad de semillas de maíz arqueológico. Debe tenerse en cuenta que el maíz mantiene la viabilidad germinativa en condiciones de temperatura y humedad relativa óptimas durante al menos 100 años (CIMMYT, 1990).

Análisis de ADN antiguo

Se aisló ADN de los embriones y abultamientos que crecieron de ellos, a partir de 22 muestras arqueológicas y de 24 variedades modernas, incluyendo cuatro variedades de la costa norte del Perú, tres de la sierra (Apurímac y Cuzco) y una de Panamá.

El marcador molecular de tipo RAPD usa cebadores inespecíficos o aleatorios de 10 bases que pueden hibridar con muchas dianas en el genoma. Suelen producir múltiples bandas tras la electroforesis en geles de agarosa y pueden presentar el inconveniente de falta de reproducibilidad; sobre todo si se modifican las condiciones experimentales. Por todo ello pueden presentar problemas de interpretación de las bandas generadas, que a veces pueden ser o parecen iguales o equivalentes. En tal caso puede llevarse a cabo una electroforesis en gel de poliacrilamida, a fin de obtener una mayor resolución de las bandas generadas. Asimismo, presentan herencia co-dominante, lo que los hace menos ventajosos para estudios de genotipaje, trazabilidad, paternidad y mejora genética. No obstante, tienen la ventaja de no requerir un

conocimiento previo de la secuencia del ADN a amplificar y son relativamente baratos y rápidos. Por ello se han usado y todavía se usan para analizar los genomas de microorganismos, plantas y animales.

En el presente trabajo se emplearon marcadores moleculares de tipo RAPD para evaluar la calidad del ADN extraído de los abultamientos del cultivo de embriones del maíz Chimú, a fin de usar posteriormente otros marcadores, como las repeticiones de secuencia simple o microsatélites (del inglés, "Simple Sequence Repeats"; SSR) y el polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción (del inglés, "Restriction Fragment Length Polymorphism"; RFLP).

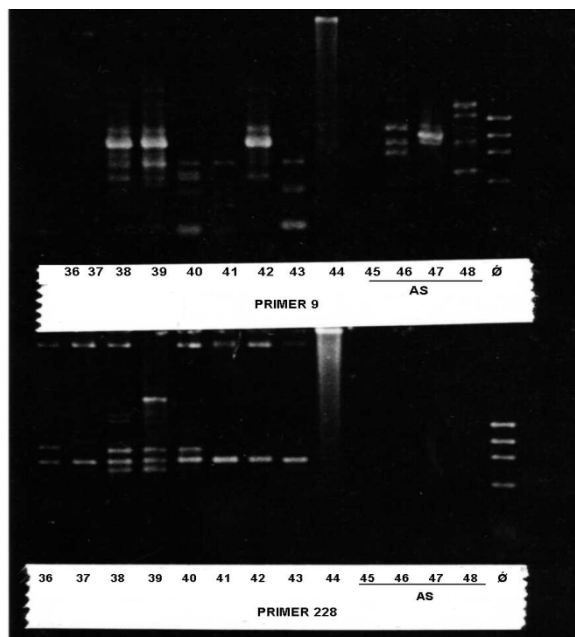


Figura 5. Amplificación de ADN moderno y antiguo mediante RAPD y separación electroforética. Se muestran las bandas generadas tras electroforesis en gel de agarosa MetaPhor. El cebador 228 no amplificó ninguna muestra arqueológica (AS), pero el cebador 9 amplificó ADN de tres muestras antiguas (46, 47 y 48).

Se muestran los resultados obtenidos con muestras modernas (carriles 36 a 42), y antiguas (carriles 45 a 48) tras amplificación mediante la técnica RAPD y segregación en gel de agarosa (Figura 5). El cebador 228 no amplificó ADN de las muestras antiguas. Sin embargo, el cebador 9 amplificó ADN de tres (46 a 48) de las cuatro muestras de embriones antiguos (del inglés, "Ancient Sample" AS). Dichas bandas son únicas y muy probablemente no son contaminantes. También se observó una amplificación inespecífica en la muestra 44, mostrando ADN degradado.

Estos resultados permitieron además correlacionar que el color y la textura de los embriones arqueológicos pueden guiar para seleccionar aquellos embriones blanquecinos y/o amarillentos, que pueden proveer ADN de mejor calidad, que pueda ser amplificado y separado electroforéticamente en bandas específicas en geles de agarosa.

Todo ello puede facilitar el aislamiento de ADN de embriones antiguos para futuras evaluaciones comparativas entre genomas antiguos y modernos, analizar las relaciones evolutivas y de domesticación mediante árboles filogenéticos o dendrogramas, e incluso llevar a cabo experimentos de transgénesis.

Conclusiones

La germinación de semillas antiguas y el cultivo de embriones de semillas antiguas pueden ser difíciles, e incluso imposible en algunos casos. La viabilidad germinativa depende de la especie considerada, el tiempo transcurrido y el historial tafonómico del lugar de donde se obtuvieron dichas semillas. El presente trabajo no ha logrado la germinación de semillas de maíz de la época Chimú, pero sí ha logrado un cierto crecimiento celular a partir de los embriones de dichas semillas. No obstante, dicho crecimiento no prosiguió, por lo que no ha sido posible regenerar plantas completas a partir de dichos embriones.

El presente estudio ha servido también para determinar una serie de parámetros físico-químicos del lugar (suelo) de donde se obtuvieron las semillas que puedan servir de guía a fin de elegir muestras con una mayor viabilidad germinativa potencial. En este sentido, conviene resaltar que este tipo de investigaciones deben abordarse desde una perspectiva multidisciplinaria, para poder articular todos los datos obtenidos y convertirlos en una información de valor práctico para el avance de la ciencia y también desde el punto de vista económico.

El cultivo de embriones de maíz de la época Chimú, no sólo ha permitido conocer aspectos interesantes de la viabilidad de las semillas y embriones de maíz antiguo, sino que ha permitido extraer ADN de suficiente calidad como para ser amplificado mediante marcadores moleculares de tipo RAPD. Este tipo de material amplificable permitirá el estudio de los genomas antiguos del maíz prehispánico, no sólo mediante marcadores moleculares, sino también mediante las nuevas técnicas de secuenciación de segunda y tercera generación (Walters *et al*, 2006; Dorado *et al*, 2008; Leino *et al*, 2009).

Finalmente, este estudio ha permitido que el Banco de Germoplasma de Maíz del CIMMYT haya podido regenerar numerosas entradas de maíz que llevaban almacenadas más de 50 años y que habían perdido su viabilidad para germinar por métodos convencionales, lo cual permitió rescatar un valioso germoplasma para el futuro de la agricultura de este cereal. Todos estos resultados ponen de manifiesto la relevancia de las técnicas de biología molecular en arqueología (Dorado *et al*, 2007) y sus implicaciones en genética de poblaciones y evolución (Leino y Hagenblad, 2010).

Agradecimientos. Esta investigación fue posible gracias a la beca concedida por la Agencia Danesa de Desarrollo Internacional (DANIDA). Asimismo agradecemos el soporte logístico de los laboratorios de Biotecnología Aplicada y Biología Molecular del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México. Se agradece especialmente el apoyo de los científicos Natasha Bohorova, David Hoisington, Larry Buttler y Robert McKelvy Bird, que permitió obtener valiosos resultados. Asimismo, se agradece la ayuda de Regulo Franco y

César Gálvez (directores del proyecto arqueológico “El Brujo” en el Perú), que facilitaron las labores de campo. Agradecemos al Ingeniero Químico Jorge Rivero su participación en los análisis físico-químicos de los suelos arqueológicos, brindando valiosos resultados. Finalmente, mostramos también nuestro agradecimiento a la Dra. Ing. Schjellerup (Museo Nacional de Dinamarca) y al Dr. Ramiro Matos (Smithsonian Institute de Washington), quienes fueron los supervisores de esta investigación.

Referencias Bibliográficas

- Benson EE, Lynch PT, Stacey GN (1998): Advances in plant cryopreservation technology: current applications in crop plant biotechnology. *AgBiotech News and Information* 10: 133N-141N.
- Boerner A (2006): Preservation of plant genetic resources in the biotechnology era. *Biotechnology Journal* 1: 1393-1404.
- CIMMYT (1990): Una vida más larga para *Zea mays*. *Geneflow*. Marzo 1990. IBPGR Italia.
- Daws MI, Davies J, Vaes E, VanGelder R, Pritchard HW (2007): Two-hundred-year seed survival of *Leucospermum* and two other woody species from the Cape Floristic region, South Africa. *Seed Science Research* 17: 73-79.
- Dorado G, Vásquez V, Rey I, Luque F, Jiménez I, Morales A, Gálvez M, Sáiz J, Sánchez A, Hernández P (2008): Sequencing ancient and modern genomes (Review). *Archaeobios* 2: 75-80.
- Dorado G, Vásquez V, Rey I, Vega JL (2007): Archaeology meets Molecular Biology (Review). *Archaeobios* 1: 1-2.
- Godefroid S, VanDeVyver A, Stoffelen P, Robbrecht E, Vanderborcht T (2011): Testing the viability of seeds from old herbarium specimens for conservation purposes. *Taxon* 60: 565-569.
- Hartman H, Kester D (1981): “Propagación de Plantas: Principios y Prácticas”. Compañía Editorial Continental (México).
- Labouriau L (1983): “A Germinação das Sementes”. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (Caracas) y Secretaria General de la OEA, programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico (Washington DC).
- Leino MW, Edqvist J (2010): Germination of 151-year old *Acacia* spp. seeds. *Genetic Resources and Crop Evolution* 57: 741-746.
- Leino MW, Hagenblad J (2010): Nineteenth Century Seeds Reveal the Population Genetics of Landrace Barley (*Hordeum vulgare*). *Molecular Biology and Evolution* 27: 964-973.
- Leino MW, Hagenblad J, Edqvist J, Strese EMK (2009): DNA preservation and utility of a historic seed collection. *Seed Science Research* 19: 125-135.
- Li DZ, Pritchard HW (2009): The science and economics of ex situ plant conservation. *Trends in Plant Science* 14: 614-621.
- Merritt DJ, Dixon KW (2011): Restoration seed banks-a matter of scale. *Science* 332: 424-425.
- Odum, S. 1965. Germination of ancient seeds. Floristical observations and experiments with archaeologically dated soil samples. *Danks Botanisk Ark* 24: 1-70.
- Porsild A, Harrington C, Mulligan G. 1967. *Lupinus arcticus* Wats. Grown from seeds of Pleistocene age. *Science* 158: 113-114.

- Priestley, DA. 1986. Seed Aging. Implications for seed storage and persistence in the soil. Comstock Publishing Associates (Cornell University Press) Ithaca, NY.
- Probert RJ, Daws MI, Hay FR (2009): Ecological correlates of ex situ seed longevity: a comparative study on 195 species. *Annals Of Botany* 104: 57-69.
- Rajjou L , Debeaujon I (2008): Seed longevity: Survival and maintenance of high germination ability of dry seeds. *Comptes Rendus Biologies* 331: 796-805 .
- Rao NK, Hanson J, Dulloo ME, Ghosh K, Nowell D and Larinde M (2006): "Manual of Seed Handling in Genebanks". Handbooks for Genebanks No. 8. Bioversity International (Roma).
- Sallon S, Solowey E, Cohen Y, Korchinsky R, Egli M, Woodhatch I, Simchoni O, Kislev M (2008): Germination, genetics, and growth of an ancient date seed. *Science* 13:1464.
- Shenmiller J, Mudgett MB, Schopf JW, Clarke S, Berger R (1995): Exceptional seed longevity and robust growth - ancient sacred lotus from China. *American Journal of Botany* 82: 1367-1380.
- Turner JH (1933): The viability of seeds. *Kew Bull Misc Inform* 1933: 257-269.
- Walters C, Reilley AA, Reeves PA, Baszczak J, Richards CM (2006): The utility of aged seeds in DNA banks. *Seed Science Research* 16: 169-178.
- Walters C, Wheeler LM, Grotenhuis JM (2005): Longevity of seeds stored in a genebank: species characteristics. *Seed Science Research* 15: 1-20.
- Zazula GD, Harington CR, Telka AM, Brock F (2009): Radiocarbon dates reveal that *Lupinus arcticus* plants were grown from modern not Pleistocene seeds. *New Phytologist* 182: 788-792.



**ARTICULOS DE
REVISION**

ARQUEOBIOS

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

Early Prehistoric Maize from the Casma Valley, Perú

Thomas Pozorski and Shelia Pozorski

*Department of Psychology and Anthropology
University of Texas-Pan American*

Abstract

We report the discovery of 56 cobs of maize cut 6 on the northeast corner of San Diego site, recovered in the 1980 field season. The radiocarbon dates associated with maize remains have a range of 1040 to 160 years BC. Measurements of the length of these cobs have ranges from 36 to 84 mm, and a median length of 56 mm. The number of rows of kernels varies from 14 to 22 rows, with median of 18 rows, and the kernels of these cobs have ranges in length from 3,3 to 6,8 mm, with an median length of 5,8 mm. Excavations carried out by our project found no traces of maize for the Initial Period (2100-1000 BC) and Late Preceramic period (3000-2100 BC).

Keys Word: maize, cobs, Early Horizon, San Diego

Resumen

Se reporta el hallazgo de 56 mazorcas de maíz del corte 6 de la esquina noreste del sitio San Diego, recuperadas en la temporada 1980. Los fechados radiocarbonicos de los restos asociados al maíz tienen un rango de 1040 a 160 años a.C. Las mediciones de la longitud de estas mazorcas tienen intervalos entre 36 a 84 mm, y un promedio de 56 mm. El número de hileras de granos varia entre 14 a 22 hileras, con un promedio de 18, los granos de estas mazorcas tienen rangos de longitud de 3,3 a 6,8 mm, con una longitud promedio de 5,8 mm. Las excavaciones de nuestro proyecto indican que no hay vestigios de maíz para el período inicial (2100-100 aC) y período tardío precerámico (3000-2100 aC).

Palabras Clave: maíz, mazorcas, Horizonte Temprano, San Diego

This is a brief report on the earliest maize that has been encountered during excavations conducted by the Proyecto Casma Temprano from 1980 through 2011. Various stratigraphic excavations and architectural clearings were conducted at several sites in the Casma Valley area that range in date from the Middle Prececeramic (6000-3000 B.C.) through the Early Horizon (1000-200 B.C.). These sites include the coastal sites of Huaynuná, Tortugas, Bahía Seca, San Diego, Almejas and Las Haldas as well as the more inland sites of Taukachi-Konkán, Sechín Alto, Pampa Rosario, Pampa de las Llamas-Moxeke and Huerequeque. The earliest maize is present in the Early Horizon components found at Tortugas, Bahía Seca, San Diego, Las Haldas, Sechín Alto, and Pampa Rosario. No maize remains dating to the Initial Period (2100-1000 B.C.), Late Prececeramic Period (3000-2100 B.C.) or Middle Prececeramic Period have been found by our project excavations. The radiocarbon dates associated with the maize finds range from 1040 to 160 B.C. (Pozorski and Pozorski 1987:10-11, 2005:150).



Figure 1. Cobs of *Zea mays* "maíz" from cut 6, San Diego

Most of the maize remains found have been in the form of partial or whole maize cobs without kernels preserved. Occasionally, other plant parts have been found including stalks, leaves, whole kernels and cobs with kernels still attached. The most remarkable find of maize was a cache of 51 whole cobs with attached kernels adjacent to a stack of whole maize stalks in cut 6 in the northwest corner of the site San Diego in 1980 (Figure 1; Pozorski and Pozorski 1987: Figure 28; 63).



Figure 2. Cobs of *Zea mays* "maize" from of San Diego, with a length of 36 a 84 mm and mean of 56 mm.



Figura 3. Cobs of *Zea mays* "maize" has the rows of kernels ranged in number from 14 to 22 rows with a median row count of 18.

It appears that this cache of maize lay near a *quincha* house at the site, perhaps laid on the ground to dry in a manner similar to maize remains drying near modern *campesino* houses in the Casma area. At some point in time,

these maize remains became covered by a thin layer of sand that protected them from weathering up until the time of their discovery in 1980.

Measurements of these maize remains from San Diego revealed the following information. The length of the cobs ranges from 36 to 84 mm with a median length of 56 mm. The rows of kernels ranged in number from 14 to 22 rows with a median row count of 18. These rows typically spiral around the length of the cob instead of being straight along the cob length (Figures 2-6).



Figure 4. Cob of *Zea mays* "maize" has 62 mm in length



Figure 5. Cob of *Zea mays* "maize" has 60,5 mm in length, kernels have a deep purple color

A total of 1005 loose kernels were also recovered. All of these kernels are much smaller than maize kernels observed from maize remains at later sites in the Casma. All of the kernels observed, both on cobs as well as loose kernels, have a deep purple color. Each of these kernels weighs approximately 0,05 grams. Measurements of these kernels shows that the kernel length ranges from 3,3 to 6,8 mm with a median length of 5,8 mm; kernel width ranges from 3,8 to 6,0 mm with a median width of 4,6 mm; and kernel thickness ranges from 3,0 to 5,1 mm with a median thickness of 3,8 mm.



Figura 6. Cob of *Zea mays* "maize" has 72 mm in length, the rows typically spiral around the length of the cob.

Reference Cited

Pozorski S, Pozorski T. (1987): *Early Settlement and Subsistence in the Casma Valley, Peru*. University of Iowa Press, Iowa City.

Pozorski T, Pozorski S. (2005): Architecture and Chronology at the Site of Sechín Alto, Casma Valley, Peru. *Journal of Field Archaeology* 30:143-161.

REVIEW

Ancient nucleic acids from maize - A review

Gabriel Dorado ¹, Teresa Esperanza Rosales ², Fernando Luque ⁴, Francisco Javier S. Sánchez-Cañete ⁴, Isabel Rey ⁵, Inmaculada Jiménez ⁶, Arturo Morales ⁷, Manuel Gálvez ⁸, Jesús Sáiz ⁹, Adela Sánchez ⁹, Víctor F. Vásquez ¹⁰, Pilar Hernández ¹¹

¹ Author for correspondence, Dep. Bioquímica y Biología Molecular, Campus Rabanales C6-1-E17, Universidad de Córdoba, 14071 Córdoba (Spain), eMail: <bb1dopeg@uco.es>; ² Laboratorio de Arqueobiología, Avda. Universitaria s/n, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo (Peru); ³ Laboratorio de Producción y Sanidad Animal de Córdoba, Ctra. Madrid-Cádiz km 395, 14071 Córdoba; ⁴ EE.PP. Sagrada Familia de Baena, Avda. Padre Villoslada 22, 14850 Baena (Córdoba); ⁵ Colección de Tejidos y ADN, Museo Natural de Ciencias Naturales, 28006 Madrid; ⁶ IES Puertas del Campo, Avda. San Juan de Dios 1, 51001 Ceuta; ⁷ Dep. Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Cantoblanco (Madrid); ⁸ Dep. Radiología y Medicina Física, Unidad de Física Médica, Facultad de Medicina, Avda. Menéndez Pidal s/n, Universidad de Córdoba, 14071 Córdoba; ⁹ Dep. Farmacología, Toxicología y Medicina Legal y Forense, Facultad de Medicina, Avda. Menéndez Pidal, s/n, Universidad de Córdoba, 14071 Córdoba; ¹⁰ Centro de Investigaciones Arqueobiológicas y Paleoecológicas Andinas ARQUEOBIOS, Apartado Postal 595, Trujillo (Peru); ¹¹ Instituto de Agricultura Sostenible (IAS), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Alameda del Obispo s/n, 14080 Córdoba

Abstract

The maize (*Zea mays*) is a widely cultivated American cereal grass, being domesticated from the teosinte in southwestern Mexico about 9,000 years ago. The maize was a cornerstone on the development and preponderance of the Maya and Aztec civilizations, as well as other ancient American cultures. Formerly, the maize remains were analyzed from a morphological point of view. Fortunately, the development of molecular biology methodologies has allowed the study of ancient DNA (aDNA). Reports of uniformity and lack of polymorphism of maize aDNA could be due to a biased selection process favoring homozygosity. The available results suggest that the current maize gene pool is millions of years old, and that the current domesticated varieties are derived from several wild ancestral populations. On the other hand, the new second- and third-generation nucleic acid sequencing platforms allow to sequence full genomes in a cost-efficient way, and most importantly from an archaeological point of view, they even allow the sequencing of ancient genomes. The possibility to analyze the ancient RNA (aRNA) is also exciting. The study ancient nucleic acids from maize using the new sequencing technologies opens the door to understand not only the evolution and domestication of such cereal grass, but also to decipher the mysteries of some American cultures from a multi disciplinary point of view.

Key words: Indian maize, corn, ears, cobs, kernels, molecular markers, microsatellites, simple sequence repeats, SSR, aRNA, amRNA, nuclear DNA, nuDNA, chloroplastidial DNA, cpDNA, mitochondrial DNA, mtDNA.

Resumen

El maíz (*Zea mays*) es un cereal herbáceo americano extensamente cultivado, que fue domesticado a partir del teocinte suroeste de Méjico hace unos 9.000 años. El maíz fue una piedra angular para el desarrollo y preponderancia de la civilización Maya y Azteca, así como otras culturas antiguas americanas. Inicialmente, los restos del maíz fueron analizados desde un punto de vista morfológico. Afortunadamente, el desarrollo de métodos de biología molecular ha permitido el estudio del ADN antiguo (ADNa). Diversos estudios acerca de la uniformidad y la falta de polimorfismo del aDNA del maíz indican que podría deberse a un proceso de selección sesgada que favorece la homocigosis. Los resultados disponibles sugieren que el actual acervo genético del maíz tiene millones de años de antigüedad, y que las actuales variedades domesticadas son el resultado de diversas poblaciones ancestrales silvestres. Por otro lado, los nuevos programas de secuenciación de ácidos nucleicos de segunda y tercera generación permiten secuenciar genomas completos de manera eficaz, y lo más importante desde el punto de vista arqueológico, incluso permiten la secuenciación de genomas antiguos. La posibilidad de analizar el ARN antiguo (ARNa) es también apasionante. El estudio de los ácidos nucleicos antiguos del maíz usando las nuevas técnicas de secuenciación abre la puerta para entender no sólo la evolución y domesticación de la mayoría de los cereales herbáceos, sino también para descifrar los misterios de algunas de las culturas americanas desde un punto de vista multidisciplinar.

Palabras clave: maíz indio, mazorca, marcadores moleculares, microsátelites, polimorfismo de nucleótido sencillo, SSR, ARNa, ARNma, microARN, ADN nuclear, ADNnu, ADN cloroplastidial, ADNcp, ADN mitocondrial, ADNmt.

Introduction

The *Zea mays* plant is known as maize, Indian maize or corn. It is a widely cultivated American cereal grass, bearing seeds on elongated ears (cobs). The words maize and corn are also used to designate the cobs and its edible seeds (kernels). From a biochemical point of view, the maize is a C4 carbon-fixation plant, being therefore more efficient than C3 plants under certain conditions, as drought and high temperatures. Thus, the maize uses more efficiently precious resources like water, maintaining in this way the soil moisture more efficiently, and thus being better capable of growing in arid environments. In fact, its shallow root system makes such plant dependent on soil moisture. On the other hand, maize is intolerant to cold. These facts have a significant agronomical impact for maize breeding.

From an archaeological and historical point of view, the maize cultivation has had an extraordinary relevance. Previous to the industrial revolution and international trading as a source of commerce and thus currency and wealth, ancient cultures flourished only when a stable and abundant food supply was available, once agricultural practices started about 15,000 years Before Present (BP) in the Middle East. Cereal grasses like wheat (Middle East), rice (Asia) and maize (America) have played a key role on the emergence and further

development of ancient cultures. Thus, the maize had a vital influence on the Maya and Aztec civilizations, as well as other ancient American cultures. Actually, the archaeological and genetic evidence suggests that about 9,000 years BP there was a single domestication event from teosinte by the Aztec, in the Rio Balsas drainage area of southwestern Mexico (Benz, 2001; Matsuoka et al, 2002; Lia et al, 2007; Zizumbo-Villarreal and Colunga-GarciaMarin, 2010) (Figs. 1 & 2).



Figure 1. Maize domestication. Graphical representation of the maize domestication from the small teosinte ear to the large cob of the modern hybrid corn. Credit: original picture from Prof. Dr. José Ignacio Cubero; first published as the front cover of his book “Introducción a la Mejora Genética Vegetal” [“Introduction to Plant Breeding”]; © Mundi-Prensa (1999) <<http://www.mundiprensa.com>>, now Ediciones Paraninfo <<http://www.paraninfo.es>> (Grupo Paraninfo) <<http://www.grupoparaninfo.com>>.

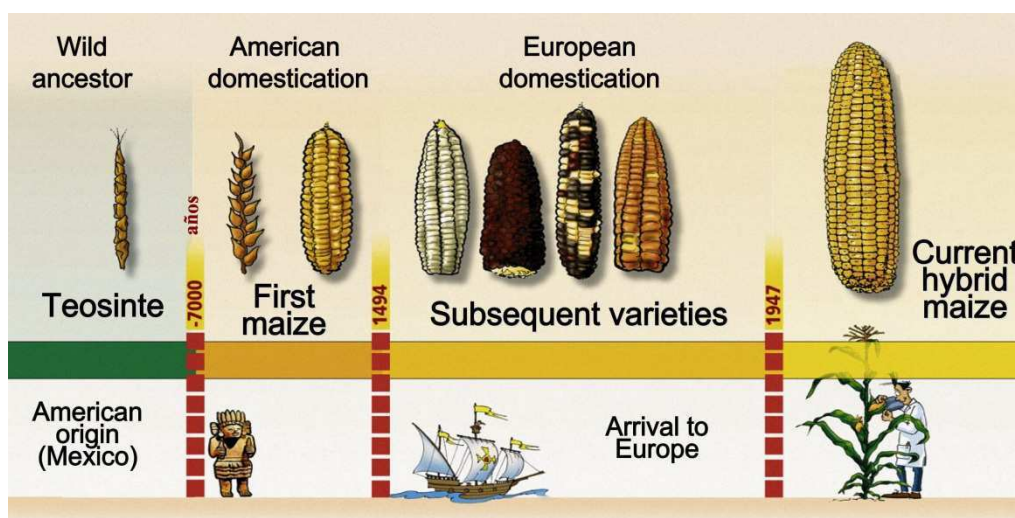


Figure 2. Maize domestication timeline. Chronology of the maize domestication; a remarkable breeding accomplishment that took thousands of years. Credit: Groupement National Interprofessionnel des Semences et plants (GNIS); © Gnis, 2006 <<http://www.gnis.fr>>.

Maize archaeology, ancient DNA and genomics

Due to its strategic relevance to maintain human civilizations, the maize ears and the corn seeds have been a typical element on archaeological remains of the Aztec and other American civilizations. Thus seeds and even full ears have been preserved to our days. This has been favored by the presence of dry climates, as is the case of some sites located on the Pacific coast of America, as is the case of Peru. Formerly, the maize remains were analyzed from a morphological point of view, using paleoecological and archaeobotanical data. Fortunately, the development of molecular biology methodologies has allowed the study of ancient DNA (aDNA), which brings such powerful technology to the archaeology (Rollo et al, 1988, 1994; Goloubinoff et al, 1993, 1994; Bird et al, 1995; Jaenicke-Despres, 2003; Dorado et al, 2007-2009; Lia et al, 2007; Schlumbaum et al, 2008). Such methodologies may involve the use of the Polymerase Chain Reaction (PCR) *in vitro* amplification, as well as modern second- and third-generation sequencing approaches, as described below. It is important to remark here that besides the scarcity of material and the fact that the DNA may be highly fragmented and chemically degraded (eg., tautomeric nitrogenous base changes), special care should be taken to avoid cross-contamination of aDNA with modern DNA (mDNA) (Goloubinoff et al, 1993, 1994).

The analyses of plant aDNA in general (Schlumbaum et al, 2008) and maize aDNA in particular opens the door for genomic comparisons with modern maize (synteny). This allows to study the taxonomy of ancient species and varieties, their evolutionary and domestication pathways, phylogeography and biogeography, as well as their adaptation to both abiotic and biotic stresses. One of the goals of these studies is to determine the formation of the maize-bean-squash multicrop milpa system and agro-food system in America, which started about 10,000 years ago and allowed the development of important ancient cultures in America (Zizumbo-Villarreal and Colunga-GarciaMarin, 2010). It is also important to note that the problem of dealing with scarce and incomplete data from the ancient samples to estimate the nitrogenous base substitution rates has been addressed by different statistical approaches, including the Bayesian Markov Chain Monte Carlo (MCMC) (Navascues and Emerson, 2009; Ho et al, 1011).

Concerning the molecular markers, the Variable Number of Tandem Repeats (VNTR) can be classified as minisatellites and microsatellites. The later are also known as Simple Sequence Repeats (SSR) in plants and Short Tandem Repeats (STR) in animals. They are very popular for DNA fingerprinting (genotyping) among plant and animal breeders, since they are codominant (the heterozygote can be differentiated from the two homozygotes), simple to analyze, amenable to automation, fast and cost-effective. Thus, they have also been used with aDNA in general and maize aDNA in particular. Reports of uniformity and lack of polymorphism of maize SSR from nuclear DNA (nuDNA) have been published from samples dated 300 to 2,000 (Lia et al, 2007), which could be due to a biased selection process favoring homozygosity. Indeed, even current rural populations around the world follow an agricultural process that involves selection of the best ears for the next season

sowings (instead of random seeds or the best seeds from the total pool of seeds). Such practice may drastically reduce the maize polymorphism, mainly if there are not germplasm introgressions from other places. Some other loci have also been analyzed on maize aDNA samples dated 4,400 to 4,700 years ago, including genes related to the gene alcohol dehydrogenase 2 (*adh2*) gene, as well as genes related to the starch biosynthesis, storage proteins and control of the plant architecture, finding the same alleles than the modern maize has. These results suggest that the current maize gene pool is millions of years old, and that the current domesticated varieties are derived from several wild ancestral populations (Goloubinoff et al, 1993, 1994; Jaenicke-Despres, 2003).

As a practical example of its usefulness, the ancient DNA has helped to reveal the routes taken by agriculture as it spread away from its origin. Such is the case of indigenous landraces of maize and archaeological specimens from Brazil, which have been used to study the origins of South American maize. They are based on the Single Nucleotide Polymorphisms (SNP) and different SSR found on the maize *adh2* gene. Thus, the simpler GA_n SSR has been found through the Andean region. A more complex GA_nTA SSR was found along the lowlands of the northeast coast of Brazil, which probably reached such areas through the river systems. The most complex $GA_1AA_1GA_n$ SSR was found in Brazil and Paraguay. These results suggest two routes for the maize cultivation spreading into South America, as well as some cultural contact between Chile and Paraguay (Freitas et al, 2003).

On the other hand, the organelle DNA can be a good target for aDNA studies, since each cell may contain many chloroplasts and mitochondria (which in turn may contain many organellar genomes inside), instead of the two copies of the nuclear chromosomes found on diploid cells. Thus, plants may have about 5,000 to 10,000 chloroplast genomes (chloroplastial DNA; cpDNA) per cell and about 100 to 200 mitochondrial genomes (mitochondrial DNA; mtDNA) per cell. Besides, the organelles evolved from ancestral parasites that became endosymbionts millions of years ago, thus being protected by a double membrane envelope (the inner membrane derived from them and the outer one from the host cell). Furthermore, the organellar DNA is circular, and thus resistant to exonucleases (Besnard et al, 2011). Thus, the cytoplasmic DNA may be particularly relevant for aDNA studies, which usually deal with scarce and degraded DNA, as previously indicated.

Concerning genomics, the maize genome has 2.3 Gigabase pairs (Gbp) and about 33,000 genes (for comparison, the human genome has 3 Gbp and about 26,000 genes) as shown by the Maize Genome Sequencing Project (MGSP) <<http://www.maizesequence.org>>. Surprisingly, nearly 85% of the maize genome is made of transposons. Interestingly, most part of the wheat genome has been duplicated and reorganized by helitrons, which are a group of transposons that replicate by a rolling-circle mechanism (Schnable et al, 2009). Fortunately, the new second- and third-generation nucleic acid sequencing platforms allow to sequence full genomes in a cost-efficient way, and most importantly from an archaeological point of view, they even allow the sequencing of ancient genomes (Dorado et al, 2008), as demonstrated with several Neandertal samples collected at different sites, dating 38,000 to 70,000

years (Green et al, 2010). The sequencing of the modern maize genomes and the ones from archaeological samples should bring archaeology to unprecedented levels to decipher the evolution and domestication of his important crop.

The possibility to analyze the ancient RNA (aRNA), and in particular the messenger RNA (amRNA) and microRNA (miRNA) from archaeological samples is also exciting (Rollo et al, 1994). The microRNA are small RNA molecules (about 22 nucleotides long), found in most eukaryotic cells. They bind to complementary sequences on target mRNA, usually resulting in degradation of the target or translational inhibition, and thus gene silencing. This kind of regulation could date back more than 400 million years. An important group of genes related with the maize domestication are transcriptional regulators. Some studies have shown that maize MicroRNA target transcription factors and other genes involved in key cellular roles (Floyd and Bowman, 2004; Doebley et al, 2006; Zhang et al, 2006). Such molecules could be analyzed on ancient samples using third-generation nucleic acid platforms capable of reading single molecules, without requiring previous retrotranscription or amplification steps that could fail and bias the results.

In conclusion, the maize was a cornerstone on the development and preponderance of the Aztec and other old American cultures. The study of the aDNA and even aRNA from maize using the new sequencing technologies opens the door to understand not only the evolution and domestication of such cereal grass, but also to decipher the mysteries of some American cultures from a multidisciplinary point of view related to archaeology, biology, agronomy, geography, history and sociology.

Acknowledgements. Supported by “Ministerio de Ciencia e Innovación” (MICINN grants AGL2010-17316); “Consejería de Agricultura y Pesca” of “Junta de Andalucía” (041/C/2007, 75/C/2009 and 56/C/2010); “Grupo PAI” (AGR-248); and “Universidad de Córdoba” (“Ayuda a Grupos”), Spain. We are indebted to both Prof. Dr. José Ignacio Cubero and Mundi-Prensa <<http://www.mundiprensa.com>>, now Ediciones Paraninfo <<http://www.paraninfo.es>> (Grupo Paraninfo) <<http://www.grupoparaninfo.com>> for providing the picture shown on Fig. 1 with reproduction permission for this article of Archaeobios. We are also very grateful to the “Groupement National Interprofessionnel des Semences et plants” (GNIS) for providing the Fig. 2 and the reproduction permission for this article.

References Cited

- Benz BF (2001): Archaeological evidence of teosinte domestication from Guilá Naquitz, Oaxaca. *Proc Natl Acad Sci USA* 98: 2104-2106.
- Besnard G, Hernández P, Khadari B, Dorado G, Savolainen V (2011): Genomic profiling of plastid DNA variation in the Mediterranean olive tree. *BMC Plant Biology* 11: 80-92.
- Bird R, Bohorova N, GonzalezDeLeon D, Hoisington D (1995): Old maize and ancient DNA. *Maize Gen Coop News* 69: 99-100.
- Doebley JF, Gaut BS, Smith BD (2006): The molecular genetics of crop domestication. *Cell* 127: 1309-1321.

- Dorado G, Rey I, Rosales TE, Sánchez-Cañete FJS, Luque F, Jiménez I, Gálvez M, Sáiz J, Sánchez A, Vásquez VF (2009): Ancient DNA to decipher the domestication of dog (REVIEW). *Archaeobios* 3: 127-132.
- Dorado G, Vásquez V, Rey I, Luque F, Jiménez I, Morales A, Gálvez M, Sáiz J, Sánchez A, Hernández P (2008): Sequencing ancient and modern genomes. *Archaeobios* 2: 75-80.
- Dorado G, Vásquez V, Rey I, Vega JL (2007): Archaeology meets Molecular Biology. *Archaeobios* 1: 1-2.
- Floyd SK, Bowman JL (2004): Gene regulation: ancient microRNA target sequences in plants. *Nature* 428: 485-486.
- Freitas FO, Bandel G, Allaby RG, Brown TA (2003): DNA from primitive maize landraces and archaeological remains: implications for the domestication of maize and its expansion into South America. *Journal of Archaeological Science* 30: 901-908.
- Goloubinoff P, Paabo S, Wilson AC (1993): Evolution of maize inferred from sequence diversity of an *adh2* gene segment from archaeological specimens. *Proc Natl Acad Sci USA* 90: 1997-2001.
- Goloubinoff P, Paabo S, Wilson AC (1994): Molecular characterization of ancient maize: potentials and pitfalls. In Johannessen S, Hastorf CA: "Corn and culture in the prehistoric New World". Westview Press (Boulder): 113-125.
- Green RE, Krause J, Briggs AW, Maricic T, Stenzel U, Kircher M, Patterson N, Li H, Zhai W, Fritz MH, Hansen NF, Durand EY, Malaspina AS, Jensen JD, Marques-Bonet T, Alkan C, Prufer K, Meyer M, Burbano HA, Good JM, Schultz R, Aximu-Petri A, Butthof A, Hober B, Hoffner B, Siegemund M, Weihmann A, Nusbaum C, Lander ES, Russ C, Novod N, Affourtit J, Egholm M, Verna C, Rudan P, Brajkovic D, Kucan Z, Gusic I, Doronichev VB, Golovanova LV, Lalueza-Fox C, de la Rasilla M, Fortea J, Rosas A, Schmitz RW, Johnson PL, Eichler EE, Falush D, Birney E, Mullikin JC, Slatkin M, Nielsen R, Kelso J, Lachmann M, Reich D, Paabo S (2010): A draft sequence of the Neandertal genome. *Science* 328: 710-722.
- Ho, SYW, Lanfear, R, Phillips, MJ, Matthew J, Barnes I, Thomas JA, Kolokotronis SO, Shapiro B (2011): Bayesian Estimation of Substitution Rates from Ancient DNA Sequences with Low Information Content. *Sys Biol* 60: 366-374.
- Jaenicke-Despres V, Buckler ES, Smith BD, Gilbert MTP, Cooper A, Doebley J, Paabo S (2003): Early allelic selection in maize as revealed by ancient DNA. *Science* 302: 1206-1208.
- Lia VV, Confalonieri VA, Ratto N, Hernandez JAC, Alzogaray AMM, Poggio L, Brown TA (2007): Microsatellite typing of ancient maize: insights into the history of agriculture in southern South America. *Proc Roy Soc B-Biol Sci* 274: 545-554.
- Matsuoka Y, Vigouroux Y, Goodman MM, Sanchez G J, Buckler E, Doebley J (2002): A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc Natl Acad Sci USA* 99: 6080-6084.
- MGSP (2011): Maize Genome Sequencing Project <<http://www.maizesequence.org>>.
- Navascues M, Emerson BC (2009): Elevated substitution rate estimates from ancient DNA: model violation and bias of Bayesian methods. *Mol Ecol* 18: 4390-4397.

- Rollo F, Amici A, Salvi R, Garbuglia A (1988): Short but faithful pieces of ancient DNA. *Nature* 335: 774-774.
- Rollo F, Venanzi FM, Amici A (1994): Dried samples: Hard tissues: DNA and RNA from ancient plant seeds. In Herrmann B, Hummel S (eds): "Ancient DNA: Recovery and Analysis Of Genetic Material from Paleontological, Archaeological, Museum, Medical, and Forensic Specimens". Springer-Verlag (New York): 218-236.
- Schnable PS, Ware D, Fulton RS, Stein JC, Wei F, Pasternak S, Liang C, Zhang J, Fulton L, Graves TA, Minx P, Reily AD, Courtney L, Kruchowski SS, Tomlinson C, Strong C, Delehaunty K, Fronick C, Courtney B, Rock SM, Belter E, Du F, Kim K, Abbott RM, Cotton M, Levy A, Marchetto P, Ochoa K, Jackson SM, Gillam B, Chen W, Yan L, Higginbotham J, Cardenas M, Waligorski J, Applebaum E, Phelps L, Falcone J, Kanchi K, Thane T, Scimone A, Thane N, Henke J, Wang T, Ruppert J, Shah N, Rotter K, Hodges J, Ingenthron E, Cordes M, Kohlberg S, Sgro J, Delgado B, Mead K, Chinwalla A, Leonard S, Crouse K, Collura K, Kudrna D, Currie J, He R, Angelova A, Rajasekar S, Mueller T, Lomeli R, Scara G, Ko A, Delaney K, Wissotski M, Lopez G, Campos D, Braidotti M, Ashley E, Golser W, Kim H, Lee S, Lin J, Dujmic Z, Kim W, Talag J, Zuccolo A, Fan C, Sebastian A, Kramer M, Spiegel L, Nascimento L, Zutavern T, Miller B, Ambroise C, Muller S, Spooner W, Narechania A, Ren L, Wei S, Kumari S, Faga B, Levy MJ, McMahan L, Van Buren P, Vaughn MW, Ying K, Yeh CT, Emrich SJ, Jia Y, Kalyanaraman A, Hsia AP, Barbazuk WB, Baucom RS, Brutnell TP, Carpita NC, Chaparro C, Chia JM, Deragon JM, Estill JC, Fu Y, Jeddelloh JA, Han Y, Lee H, Li P, Lisch DR, Liu S, Liu Z, Nagel DH, McCann MC, SanMiguel P, Myers AM, Nettleton D, Nguyen J, Penning BW, Ponnala L, Schneider KL, Schwartz DC, Sharma A, Soderlund C, Springer NM, Sun Q, Wang H, Waterman M, Westerman R, Wolfgruber TK, Yang L, Yu Y, Zhang L, Zhou S, Zhu Q, Bennetzen JL, Dawe RK, Jiang J, Jiang N, Presting GG, Wessler SR, Aluru S, Martienssen RA, Clifton SW, McCombie WR, Wing RA, Wilson RK (2009): The B73 maize genome: complexity, diversity, and dynamics. *Science* 326:1112-1115.
- Schlumbaum A, Tensen M, Jaenicke-Despres V (2008): Ancient plant DNA in archaeobotany. *Veg His Archaeobot* 17: 233-244.
- Zhang B, Pan X, Anderson TA (2006): Identification of 188 conserved maize microRNAs and their targets. *FEBS Letters* 580: 3753-3762.
- Zizumbo-Villarreal D, Colunga-GarciaMarin P (2010): Origin of agriculture and plant domestication in West Mesoamerica. *Gen Res Crop Evol* 57: 813-825.

Population health effects of Maize-dependent agriculture: One size does not fit all

Catherine M. Gaither

Department of Anthropology, Metropolitan State College of Denver, Email: gaither@mscd.edu

Abstract

This article examines the population health implications related to maize dependent agriculture, specifically as it pertains to bioarchaeological research in the Andean region. It addresses three health problems seen in maize dependent populations: iron deficiency anemia, pellagra, and dental disease. Skeletal evidence of disease and population health interpretations are presented and discussed in the context of the biocultural impact of the rise of agriculture. The evidence demonstrates that population health responses to maize-dependent agriculture are not uniform, even within the Andean region. It is, therefore, important for researchers to utilize meticulous techniques for gathering and analyzing data. They must also consider contextual information in their interpretation.

Key words: maize, anemia, pellagra, periostitis, andean

Resumen

El presente artículo examina las implicaciones de salud de la población relacionadas con la agricultura dependen del maíz, específicamente en lo que respecta a la investigación bioarqueológicos en la región andina. Se dirige a tres problemas de salud vistos en las poblaciones que dependen del maíz: la anemia por deficiencia de hierro, la pelagra, y las enfermedades dentales. Evidencia ósea de la enfermedad y las interpretaciones salud de la población se presentan y discuten en el contexto del impacto biocultural de la aparición de la agricultura. Las pruebas demuestran que las respuestas de salud de la población con la agricultura que dependen del maíz no son uniformes, incluso dentro de la región andina. Es, por tanto, importante que los investigadores utilizan técnicas meticulosas para recuperar y analizar datos. También debe tener en cuenta la información contextual en su interpretación.

Palabras clave: maíz, anemia, pellagra, periostitis, andes

Introduction

Bioarchaeological research in the area of subsistence transitions in various human populations is a thriving field of interest. Numerous projects have focused specifically on the transition to agriculture from a foraging strategy. Several researchers have documented population health problems that often accompany such a change, including anemia, a decrease in stature, and various vitamin deficiencies (Allison, 1984; Cohen and Armelagos 1984; Cohen 1989; Benfer, 1990; Ubelaker, 1992; Verano, 1992; Holland and O'Brien 1997; Eaton and Eaton 1999; Strassman and Dunbar 1999; Tung, 2003; Farnum, 2002).

As the methodological technology has changed, researchers are now able to ask and answer more focused questions regarding population health. Stable isotope analysis has allowed researchers to more specifically identify dietary patterns as they attempt to analyze the impact of dietary change on health (Schwarcz and Schoeninger 1991).

In the Andean region, maize dependent agriculture became the mainstay for numerous populations. A re-analysis of the health effects of this subsistence strategy demonstrates more variability than what had been presumed previously.

This paper will examine the research that has been done regarding three specific health problems (anemia, pellagra, and dental disease) which have been identified in maize-dependent agricultural populations, and discuss the implications for research in the Andean region.

Anemia and Maize consumption

Anemia is defined as a reduction in the concentration of hemoglobin and/or red blood cells. Iron is a necessary element for the development of hemoglobin, which is the component of red blood cells that allow the cells to carry oxygen, i.e., their main function. An anemic person has red blood cells that become pale and small, and have a much shorter lifespan than normal red blood cells. Aside from helping with the formation of hemoglobin, iron is also necessary for the transmission of nerve impulses for collagen synthesis and it aides in strengthening the immune system.

Thus, a deficiency of iron can result in a number of health problems including anemia. Iron is found in high quantities in red meat, legumes, and shellfish, but iron from plants is harder to absorb. This is particularly true for the two staples of domestication, wheat and maize, because both of these plants contain substances called phytates, which actually serve to inhibit the absorption of iron in the intestines.

Additionally, these cereal crops are poor sources of iron. Thus, a maize dependent diet could lead to iron deficiency anemia (Roberts and Manchester 1997). It is necessary to point out, however, that a number of other causes can lead to anemia, including parasitic infections, cancer, and infectious disease,

the latter of which Stuart-Macadam (1992) pointed to as a major etiological factor in anemia associated with iron deficiency. Thus, diet is but one of a number of possible contributions to the development of anemia. Larsen and Sering (2000), for example, found that although the population of the late prehistoric Georgia Bight was dependent upon maize agriculture as a subsistence strategy, there was no increase in evidence for iron deficiency anemia.

The authors attribute this to an equally strong dependence on marine resources which may have increased the bioavailability of iron. In the Andean region, numerous researchers have documented the high frequency of anemia as evidenced by the skeletal indicators of porotic hyperostosis and cribra orbitalia in the coastal regions of Peru (Allison, 1984; Benfer, 1990; Ubelaker, 1992; Verano, 1992; Tung, 2003; Farnum, 2002). The factors implicated in the condition, however, are more difficult to pinpoint. Maize was often a prominent dietary staple for the populations in these studies; however, marine resources were also readily available (Blom et al. 2005).

In their study of anemia in coastal Peru, Blom et al. (2005) found that unlike the population of the Georgia Bight, a mixed maize and marine dependent diet was likely to be more predictive of anemia in childhood. That contradicts expectations indicated by the Georgia Bight study (Larsen and Sering 2000). The authors concluded that dietary practices were not the likely explanation for the patterns seen; rather environmental stressors such as parasites were more likely the culprit. They found that less arid environments resulted in higher levels of anemia, and this regardless of whether those environments were the result of landscapes manipulated by irrigation or natural variation. Environments with more water are associated with higher parasite loads and more water-borne pathogens (Blom et al. 2005). Thus, while maize has been implicated as a contributing factor for anemia in many populations (numerous authors in Cohen and Armelagos 1984; Holland and O'Brien 1997), the picture appears more complicated in the Andean region.

Pellagra and Maize consumption

Pellagra is a niacin/tryptophan deficiency disease. Niacin is also known as water soluble vitamin B₃ and a deficiency in niacin disrupts the maintenance of cellular processes. Tryptophan is an amino acid that can be converted to niacin if dietary protein intake is adequate; however, if other factors inhibit this conversion or the bioavailability of both is limited, the disease pellagra is the result. This can occur in populations overly dependent on maize agriculture with limited protein intake. Maize contributes to the problem because of the tendency for essential minerals to bind with the phytates in maize (Lynch, 1997; Reddy, 1989) and form insoluble complexes that make them biologically unavailable to the consumer.

The symptoms associated with pellagra include dermatitis, diarrhea, dementia, and eventually death. An analysis of known pellagrins from a population in South Africa by Brenton and Paine (2007) demonstrates high frequencies of periostitis (71%), dental caries (35.7%), and cribra orbitalia

and/or porotic hyperostosis (28.5%). These are many of the same symptoms that are labeled as non-specific indicators of stress which are generally interpreted as indicating overall poor health, and while the authors of this study could not identify pathognomic lesions for this disease, they suggest it needs to be added to the list of dietary problems associated with populations undergoing subsistence transition. They note that it can also seasonally affect populations where winter months may both further reduce protein intake and increase reliance on stored maize; another factor which must be considered by bioarchaeologists and paleonutritionists as they strive to interpret their findings.

The significance of this study suggests that aside from simply analyzing maize consumption, it should be considered in conjunction with protein intake. This has implications for all researchers in the field of paleonutrition including those in the Andean region, where high levels of periostitis, dental caries, cribra orbitalia and/or porotic hyperostosis have also been identified, particularly in coastal areas (Allison, 1984; Benfer, 1990; Ubelaker, 1992; Verano, 1992; Tung, 2003; Farnum, 2002).

Dental disease and Maize consumption

Another main argument for a decline in health with the rise of agriculture is in the area of dental health. Many researchers have noted an increase in dental disease, specifically dental caries, with the transition to plants with high levels of sucrose, such as maize, as dietary staples (Roberts and Manchester 1997). Recent research, however, has questioned the validity of this broad claim. Temple and Larsen (2007) found that people of the Yayoi period in Japan, the earliest point of agricultural dependence (ca. 2500 BP) did not have significantly different carious tooth frequencies than Jomon period foragers.

Wet rice was the primary food source for these early agriculturalists, and while their study indicates that it is a cariogenic food, they found that it was not more cariogenic than foods consumed by the foragers. Thus, there was no significant difference in frequency between the two groups. There are, of course, a number of studies that have demonstrated an increase in the frequency of carious lesions with the transition to agriculture (Lukacs, 1996; Larsen, 1997; Hillson, 1996, 2001).

General figures developed by Turner (1978, 1979) and Schollmeyer and Turner (2004) indicate carious frequencies of 0% - 5.3% in foraging groups, .44% - 10.3% in groups with a mixed economy, and anywhere from 2.2% - 26.9% in agricultural groups. Clearly, there is significant overlap in these numbers, but there is also a general increase in frequency as groups transitioned into agriculture. Still, the numbers are not incontrovertible, and a number of factors come into play when considering the research.

Lanfanco and Eggers (2010) found no significant increase in the frequency of dental caries between populations living in the coastal desert of Peru who merely experimented with maize agriculture and those from a later time period when agriculture in the region was at its apogee and the society was highly stratified. They did note, however, that there was a statistically

significant increase in the depth of carious lesions and there was a change in the location of the caries from occlusal to extra-occlusal sites. They concluded that when this information is taken into consideration with an evaluation of dental wear, it could be used to reconstruct subsistence strategies in ancient populations.

Discussion

This paper is not meant to be an exhaustive discussion of the research that has taken place in the field of paleodiet reconstruction and paleonutrition, nor even of the discussion of the bioarchaeological research into cultures dependent upon maize as their main dietary staple. It examines three areas where there have been claims of a correlation between health problems and agriculture, particularly maize-dependent agriculture. What is clear from this short discussion, however, is that one size does not fit all. While there are reasons why human health may have declined in some areas with the advent of agriculture, such a decline can in no way be assumed to have occurred with the rise of agriculture in any given population and there is significant evidence that on the whole, the transition to agriculture has been a positive event in human history.

Gage (2005) notes that an analysis of mortality and life expectations in ancient populations demonstrates a trend of a decline in total mortality correlated with a decline in infectious diseases and degenerative diseases as a whole. He also points out that the argument by people in the field of evolutionary medicine, among others, that novel environmental conditions, such as would be created with the advent of agriculture, should be detrimental to human health is not a foregone conclusion. He argues that positive effects are noted in the case of 'genotype by environment correlation' whereby particular genotypes seek out, or in the case of humans build, environments to which they are best suited. Thus, future research in this field should not rely on assumptions, but should gather meticulous data using isotopic studies as well as contextual information that includes environmental factors in order to assess the particular situation of any given population.

References Cited

- Allison MJ (1984): Paleopathology in Peruvian and Chilean populations. In: Cohen MN, Armelagos GJ, editors. *Paleopathology at the origins of agriculture*. New York: Academic Press, pp. 515-529.
- Benfer, RA Jr. (1990): The preceramic period site of Paloma, Peru: bioindications of improving adaptation to sedentism. *Latin American Antiquity* 1:284-318.
- Blom, DE, Buikstra, JE, Keng, L, Tomczak, PD, Shoreman, E, and Stevens-Tuttle, D (2005): Anemia and childhood mortality: latitudinal patterning along the coast of Pre-Columbian Peru. *American Journal of Physical Anthropology* 127: 152-169.
- Brenton, BP and Paine, RR (2007): Reevaluating the health and nutritional status of maize-dependent populations: evidence for the impact of pellagra on

- human skeletons from South Africa. *Ecology of Food and Nutrition* 46: 345-360.
- Cohen MN (1989): Health and the rise of civilization. New Haven: Yale University Press.
- Cohen, MN and Armelagos, GJ (1984): Paleopathology at the origins of agriculture. Orlando: Academic Press.
- Eaton, SB, and Eaton SB III (1999): The evolutionary context of chronic degenerative diseases. In: Stearns SC, editor. Evolution in health and disease. Oxford: Oxford University Press, pp. 251-259.
- Farnum, J (2002): Biological consequences of social inequalities in prehistoric Peru. PhD dissertation, University of Missouri, Columbia.
- Gage, TB (2005): Are modern environments really bad for us? Revisiting the demographic and epidemiologic transitions. *Yearbook of Physical Anthropology* 48: 96-117.
- Hillson, SW (1996): Dental anthropology. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hillson, SW (2001): Recording dental caries in archaeological human remains. *International Journal of Osteoarchaeology* 11: 249-289.
- Holland, TD and O'Brien, MJ (1997): Parasites, porotic hyperostosis, and the implications of changing perspectives. *American Antiquity* 62: 183-193.
- Lanfranco, LP and Eggers, S (2010): The usefulness of caries frequency, depth, and location in determining cariogenicity and past subsistence: a test on early and later agriculturalists from the Peruvian coast. *American Journal of Physical Anthropology* 143: 75-91.
- Larsen, CS (1997): Bioarchaeology, interpreting behavior from the human skeleton. New York: Cambridge University Press.
- Larsen, CS and Sering, LE (2000): Inferring iron-deficiency anemia from human skeletal remains: the case of the Georgia Bight. In: Lambert PM, editor. Bioarchaeological studies of life in the age of agriculture: a view from the southeast. Tuscaloosa: University of Alabama Press, pp. 116-133.
- Lukacs, JR (1996): Sex differences in dental caries rates with the origin of agriculture in South Asia. *Current Anthropology* 37: 147-153.
- Lynch, SR (1997): Interaction of iron with other nutrients. *Nutrition Reviews* 55: 102.
- Reddy, NR (1989): Phytates in cereals and legumes. Boca Raton: CRC Press.
- Roberts, C and Manchester, K (1997): The archaeology of disease. Ithaca: Cornell University Press.
- Schollmeyer, K and Turner, C (2004): Dental caries, prehistoric diet, and the pithouse to Pueblo transition in Southwestern Colorado. *American Antiquity* 69: 569-582.
- Szwarcz, HP and Schoeninger, MJ (1991): Stable isotope analyses in human nutritional ecology. *Yearbook of physical anthropology* 34: 283-321.
- Strassmann, BI and Dunbar, RIM (1999): Human evolution and disease: putting the Stone Age in perspective. In: Stearns SC, editor. Evolution in health and disease. Oxford: Oxford University Press, pp. 91-100.
- Stuart-Macadam, P (1992): Anemia in past human populations. In: Stuart-Macadam P, Kent S, editors. Diet, demography and disease: changing perspectives on anemia. New York: Walter de Gruyter, pp. 151-170.
- Temple, DH and Larsen, CS (2007): Dental caries prevalence as evidence for agriculture and subsistence variation during the Yayoi Period in Prehistoric

- Japan: biocultural interpretations of an economy in transition. *American Journal of Physical Anthropology* 134: 501-512.
- Tung, TA (2003): The health impact of Wari imperialism: a bioarchaeological assessment of communities in the core and periphery. PhD dissertation, University of North Carolina.
- Turner, C (1978): Dental caries and early Ecuadorian agriculture. *American Antiquity* 43: 694-697.
- Turner, C (1979): Dental anthropological indications of agriculture among the Jomon people of central Japan. *American Journal of Physical Anthropology* 51: 619-636.
- Ubelaker, DH (1992): Porotic hyperostosis in prehistory Ecuador. In: Stuart-Macadam P, Kent S, editors. *Diet, demography and disease: changing perspectives on anemia*. New York: Walter de Gruyter, pp. 201-218.
- Verano, JW (1992): Prehistoric disease and demography in the Andes. In: Verano JW, Ubelaker DH, editors. *Disease and demography in the Americas*. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, pp. 15-24.

Evolución natural y antropogénica de *Zea* spp. en Mesoamérica

Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez
Curador del Banco Nacional de Germoplasma Vegetal
Chapingo, 56230. México

Resumen

Considerando a la percepción de las plantas como recursos, el móvil inicial conducente en ciertos casos a su cultivo y ulterior domesticación, en el presente trabajo, además de proporcionar datos actualizados relacionados con la taxonomía actualizada de los ancestros silvestres del maíz (*teocintles*), se indica y analiza información cuantitativa derivada de la evaluación experimental relativa a algunas de las formas de uso de los carióspsides de *Zea mays* ssp. *mexicana*, probablemente involucradas en la fase inicial del proceso de selección bajo domesticación que condujo a la creación de la planta conocida por los mexicanos como *Centli*. Las evidencias aportadas recientemente por diversos investigadores señalan a Centroamérica como un importante centro de evolución y diversificación natural de varias poblaciones silvestres de *teocintles*, entre las que destacan las de *Zea nicaraguensis*, (reportada en 2002), cuya diversidad genética, aunada a la correspondiente a las poblaciones silvestres existentes en México, destacando entre éstas las de *Zea diploperennis* y *Zea mays* ssp. *parviglumis*, fue utilizada por diversas culturas Mesoamericanas para crear al maíz. Se destaca el enorme esfuerzo de selección realizado en el área Andina, evidenciado en la gran cantidad de razas de maíz existentes en dicha zona y cuya domesticación prevalece hasta la actualidad, como prueba de la inteligencia, paciencia y creatividad de las culturas que aún habitan esta región de Sudamérica.

Palabras Clave: Teocintle, Cultura, Recursos Fitogenéticos, Mesoamérica

Abstract

Considering the perception of plants as resources, the initial mobile in some cases leading to its cultivation and subsequent domestication, this work, provides updated information related to the updated taxonomy of wild ancestors of maize (*teocintles*) indicated and analyzed quantitative data derived from the experimental evaluation on some of the ways of use of the caryopses of *Zea mays* ssp. *mexicana*, probably involved in the initial phase of selection under domestication process that led to the creation of the plant known by the *Mexicans* as *Centli*. Evidence provided recently by various researchers point to Central America as an important center of evolution and natural diversity of wild populations of *teosinte* several, among which are those of *Zea nicaraguensis*, (reported in 2002), whose genetic diversity, together with the corresponding existing wild populations in Mexico, highlighting among them those of *Zea diploperennis* and *Zea mays* ssp. *parviglumis* was used by several Mesoamerican cultures to create maize. It highlights the enormous screening effort conducted in the Andean region, as evidenced by the many existing races of maize in the area where its domestication prevails to the present, as evidence of intelligence, patience and creativity of cultures that still inhabit this South American region.

Key Words: Teocinte, Culture, Plant Genetic Resources, Mesoamerica

Evolución de Zea

La historia evolutiva del maíz indica que el centro de origen primario del *teocintle* (maíz silvestre), se encuentra comprendido desde lo que hoy forma parte del centro norte de México hasta la actual Nicaragua. En el Sur de Guatemala, donde crece la raza de *teocintle* que lleva el mismo nombre, al desplazarse esta raza hacia el Norte, surgió la raza Huehuetenango, que a su vez, es progenitora de la raza Balsas ubicada en el sur y occidente de México. La raza Balsas por su lado, dio origen a las razas: Altiplanicie Central, Nobogame y Chalco. Siendo esta última la que todavía existe en el sur, sureste y oriente del valle de México. La raza Chalco se introdujo artificialmente al valle de México, cuando el maíz domesticado ya se cultivaba en la región. Una de las razones por las que se incorporó el *teocintle* al valle mencionado, fue para que sirviera de ofrenda dedicada a los muertos. La figura humana, después de morir, estaba representada por la imagen antropomorfa del volcán Iztaccíhuatl. El hombre prehispánico sabía que el *teocintle* era el ancestro del maíz y también conocía la estrecha relación que existía entre éste y la evolución del hombre.

El valle de México y áreas circunvecinas han sido cuna de domesticación del maíz durante miles de años. Las evidencias arqueológicas indican que dicha actividad pudo haberse iniciado, en el valle, desde hace unos 60.000 años, pero los testimonios más elocuentes, relacionados con el mejoramiento genético del maíz, se remontan a unos 10.000 años antes del presente. La domesticación inicial del maíz probablemente tuvo como finalidad aprovechar e incrementar el contenido y producción de los materiales alimenticios (dentro de los cuales se encuentran los que hoy llamamos carbohidratos y proteínas) que ofrecían los frutos del *teocintle*. Estos frutos estaban rodeados por una cápsula dura, que dificultaba su consumo; pero además, la mazorca carecía de olote (tusa), reunía muy pocas semillas por mazorca y la planta desarrollaba muchas mazorcas, las cuales se distribuían en el tallo principal y en sus ramas primarias, secundarias, etc.

Estos caracteres representaban grandes desventajas para el manejo del cultivo, por lo que se decidió modificarlas mediante el fitomejoramiento. Fue así como surgieron las mazorcas con olote (tusa), donde se fijaban los frutos carentes de la cápsula que era común en el estado silvestre. Siendo el *teocintle* un fruto de tipo palomero, los primeros frutos derivados de él, también fueron palomeros y se utilizaban en forma de palomitas; de estos surgieron los frutos de tipo harinoso y dulce para consumirse en forma de elotes (mazorcas) asados, esquites y pinole. Estos fueron los tipos de frutos más comunes y los usos más frecuente que ocurrieron desde unos 10.000 años antes del presente. En esa época el hombre también aprendió a medir los movimientos de la Tierra y de la Luna. Asimismo, decidió aplicar estos conocimientos en el diseño de variedades mejoradas de maíz y en el desarrollo de actividades agrícolas, logrando con ello resultados muy positivos. Para realizar esta labor estableció calendarios agro-astronómicos en zonas agrícolas, como es el calendario de Amecameca, México, donde figuran los volcanes *Iztaccíhuatl*, *Popocatepetl* y el Cerro Sacromonte. O también el calendario de Huapalcalco,

Hidalgo, donde sobresale la cueva del Tecolote, de forma triangular, con una mazorca cónica esculpida en su vértice superior.

Hace unos 3.500 años, el hombre desarrolló la cerámica utilitaria y con este nuevo descubrimiento, se extendieron los usos del maíz. Fue así como surgió la tortilla de este grano, cuyo proceso de elaboración no se ajustaba a los maíces duros, como el Palomero Toluqueño, que requería de mayor energía para su cocimiento; ni a los maíces blandos, como los harinosos, por los grandes daños que les causaban las plagas de almacén. Para resolver estos problemas, nuestros antepasados seleccionaron entre los materiales a su disposición aquellos que consideraron los mejor adaptados a los distintos ambientes a los que se iban enfrentando, así como a las nuevas formas de uso de sus frutos, tal es el caso de los maíces harinosos de textura suave o bien aquellos de dureza intermedia dentro de los cuales sobresalió la raza que aún hoy se conoce como Cónico (maíz dentado).

Este maíz resultó ser de buena calidad para la elaboración de la tortilla, pero además, superó en rendimiento a sus progenitores; por lo que no tardó en desplazarlos de las zonas agrícolas donde se cultiva actualmente. El proceso de elaboración de la tortilla y la región donde se llevó a cabo dicho desarrollo, incluyendo la formación de la raza Cónico de maíz, están relacionados con el entorno de los volcanes *Iztacihuatl* y *Popocatepetl*, ya que en esta región existen abundantes evidencias arqueológicas del maíz Cónico como son: El calendario triangular de Amecameca, México; La Pirámide de Cholula, Puebla; las Pirámides de *Chalcatzingo*, Morelos; las Pirámides de *Teotihuacan*, México; las Pirámides de *Huapalcalco*, Hidalgo; pero además, la raza Cónico sigue cultivándose en las altiplanicies de Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Hidalgo y México. De igual manera, la tortilla encuentra respaldo histórico en las Pirámides circulares: de *Cuicuilco*, Distrito Federal; y Acozac, Municipio de Ixtapalalca México; lo mismo que en el nombre del propio Estado de *Tlaxcala*, que en Nahuatl sería *Tlaxcalli*, término con el que aún se designa al alimento derivado del maíz que los españoles denominaron "tortilla".

La llegada de la cultura europea al valle de México, en 1521, marcó el final del auge prehispánico, en cuanto a la aplicación de ciencia y tecnología en el mejoramiento genético del maíz. El choque de culturas hizo que en los siguientes 400 años, el cultivo del maíz dependiera principalmente de conocimientos tradicionales. Sin embargo, a principios del siglo XX, la Secretaría de Agricultura y Fomento, reanudó el mejoramiento genético del maíz en el valle de México, primero a través de la Estación Experimental Agrícola Central, ubicada en San Jacinto, D. F. donde se encontraba la *Escuela Nacional de Agricultura y Medicina Veterinaria*. Después siguieron: La Oficina de Campos Experimentales (SAF: 1940-1946); El *Instituto de Investigaciones Agrícolas* (SAG: 1947-1960); La *Oficina de Estudios Especiales* (SAG: 1943-1960); El *Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas* (INIA: 1960-1985); El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP: 1985 a la fecha); La *Escuela Nacional de Agricultura*, después convertida en Universidad Autónoma Chapingo (ENA-UACH, 1976 a la fecha); El *Colegio de Postgraduados* en Ciencias Agrícolas (1959 a la Fecha); El *Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo* (1964 a la Fecha) Etc. Estos

antecedentes indican que el valle de México, siempre ha jugado un papel muy importante en la dinámica evolutiva del maíz y es obvio que lo seguirá haciendo con la misma tenacidad en el futuro.

Tomando en cuenta la gran diversidad genética que muestra el maíz, su origen filogenético ha sido discutido por más de 100 años. Durante este largo periodo de tiempo, se propusieron diversas hipótesis siendo las más importantes las siguientes:

Hipótesis que ubica al *teocintle* como el progenitor del maíz cultivado (Ascherson, 1880; Langham, 1940; Longley, 1941; Miranda, 1966; Harlan, 1970; McClintock *et al* 1981). Esta hipótesis sostiene que el maíz domesticado proviene del *teocintle* o maíz silvestre. Sin embargo, fue impugnada en base a los 60.000 años de antigüedad atribuidos a los granos de polen fósil de maíz encontrados, a 70 m de profundidad, en la ciudad de México. En el mismo sitio se localizaron granos de polen de *teocintle*, pero a una profundidad menor y ostentando una antigüedad más reducida (Barghoorn *et al.*, 1954; Mangelsdorf, 1960). La diferente edad de los granos de polen mencionados, parecía indicar que el maíz domesticado había precedido al *teocintle* en la naturaleza. Sin embargo, se argumentó que el valle de México, ubicado a 2.200 m de altitud, no correspondía al centro de origen primario del *teocintle*, situado a 1.200 msnm. Esto indicaba que el *teocintle* posiblemente ya estaba creciendo en su lugar de origen, mucho antes de los 60.000 años de antigüedad, asignados a los granos de polen fósil de maíz mencionados anteriormente (Miranda, 1966).

Hipótesis del ancestro común: Según esta opinión, tanto el maíz cultivado como el *teocintle* y el *Tripsacum* descendían de un ancestro común; éste fue de tipo perenne y actualmente ya no existe (Weatherwax 1935, 1950, 1954, 1955). Esta hipótesis fue rechazada por Mangelsdorf y Reeves (1959) y Reeves y Mangelsdorf (1959 b), debido a que no se prestaba a comprobación y además, Mangelsdorf *et al.* (1964) desaprobaron la idea de que el maíz silvestre hubiera sido de tipo perenne.

Hipótesis tripartita: En 1939 Mangelsdorf y Reeves propusieron esta hipótesis, la cual establecía lo siguiente:
Que el maíz silvestre había sido una forma de maíz tunicado, nativo de las tierras bajas de América del Sur.
Que el *teocintle* provenía del cruzamiento entre el maíz cultivado y el *Tripsacum*, ocurrido en América del Sur.
Que las variedades modernas de maíz, de Centro y Norte América, eran el producto de cruzamientos entre el maíz con el *Tripsacum* o con el *teocintle*.

Randolph (1952, 1955, 1959), Weatherwax (1954, 1955) y Brieger *et al.* (1958) señalaron que el maíz tunicado no podía haber sido maíz silvestre, porque dicho maíz no tenía características de zacate salvaje; además, no podía subsistir bajo condiciones naturales.

La razón principal para considerar al *teocintle* como un híbrido entre el maíz y el *Tripsacum*, era que el *teocintle* parecía ser intermedio entre dichos progenitores (Mangelsdorf y Reeves, 1939; Reeves y Mangelsdorf, 1959a). Sin

embargo, otros investigadores indicaron que el *teocintle* no era intermedio entre el maíz y el *Tripsacum* (Whiting, 1944; Randolph, 1955, 1959; Brieger *et al.*, 1958; Murdy, 1960). Asimismo, Randolph (1955, 1959) agregaba que el arreglo de los nudos en los cromosomas del *teocintle*, no podía haberse originado del cruzamiento mencionado, porque los cromosomas del *teocintle* y del maíz eran idénticos genéticamente. Además, los gametos de los híbridos artificiales entre el maíz y el *Tripsacum* mostraban un alto porcentaje de esterilidad (Mangelsdorf y Reeves, 1939; Randolph, 1952; Farquharson, 1957).

La tercera parte de la hipótesis tripartita de Mangelsdorf y Reeves (1959), fue realista por lo menos en lo relativo a que las variedades modernas de maíz eran portadoras de germoplasma de *teocintle* (Wellhausen *et al.*, 1951).

Hipótesis del anfidiplóide: Anderson (1945) sugirió que el maíz silvestre, con $2n = 20$ cromosomas, se pudo haber originado del cruzamiento entre dos especies que tenían $2n = 10$ cromosomas cada una; posiblemente de los géneros *Coix* y *Sorghum*. Anderson agregó que el mencionado híbrido pudo haber ocurrido en el Sureste de Asia. Mangelsdorf y Oliver (1951) y Mangelsdorf y Reeves (1959) rechazaron la hipótesis de Anderson debido a que el maíz no se conocía en Asia antes del descubrimiento de América. Randolph (1955) y Venkateswarlu (1962) indicaron, por su lado, que había pocas evidencias genéticas para aprobar la hipótesis del origen anfidiplóide del maíz. De igual forma, Weatherwax (1935, 1950) y Galinat (1963) señalaron que no había parentesco muy estrecho entre el maíz y el género *Coix*, según estudios morfológicos que se habían realizado.

De las cuatro hipótesis descritas la que mostró mayor congruencia con el origen del maíz fue la primera, o sea que el maíz proviene del *teocintle*. La razón de esto es que ambas entidades taxonómicas tienen 10 cromosomas en sus células gaméticas. Los cromosomas son muy semejantes en longitud, posición del centrómero y se asocian en forma normal en la profase meiótica; El cruzamiento entre el maíz y el *teocintle* ocurre con mucha frecuencia, en forma natural, y los híbridos son fértiles en un alto porcentaje. Las diferencias que se observan en algunos órganos del *teocintle*, con relación a los del maíz cultivado, se deben a los efectos de la selección natural en la primera planta y la selección artificial en la segunda (Miranda, 1966).

Tomando en cuenta estos antecedentes se puede mencionar que; el maíz pertenece a la familia *Poaceae* la cual tiene dos géneros en el continente americano: El género *Tripsacum* cuyas especies son: *T. maizar*; *T. laxum*; *T. lanceolatum*; *T. pilosum*; *T. latifolium* y *T. australe* (Sehgal, 1963). El número de cromosomas de estas especies puede ser $2n = 36$ ó $2n = 72$ (Prywer, 1958). El otro género es *Zea*; éste posee dos especies: *Zea mays* L.* con $2n = 20$ cromosomas y *Zea perennis* (Hitchc.) Reeves and Mangelsdorf, cuyo número de cromosomas es $2n = 40$. *Zea mays* detenta, por lo menos, seis subespecies o razas a nivel silvestre (Wilkes, 1967; 1995) y más de 250 a nivel cultivado

* Sinónimos de *Zea mays* (Linneo, 1737): *Z. diploperennis* (Ilitis, H. H., Doebley, J. F., Guzmán, M. R., and Pazy, B., 1979); *Z. luxurians* (Ilitis, H. H., and Doebley, J. F., 1980).

(Goodman, 1976). El maíz silvestre, recibe, entre otros, el nombre de *teocintle* y se le ha encontrado creciendo, en forma natural, entre los paralelos 14° y 30° de latitud norte y entre los meridianos 89° y 109° de longitud al occidente del meridiano de Greenwich; en cuanto a la altitud, el *teocintle* actualmente crece entre los 500 y los 2500 msnm (Wilkes, 1967; Sánchez y Ruiz, 1995), aunque en forma natural sólo se extendió entre los 500 y los 1900 msnm de altitud.

En la actualidad el *teocintle* crece en la cuenca de los ríos: Ulúa (de Honduras), Motagua (de Guatemala) y Grijalva-Usumacinta (del sureste de México); además, en los siguientes ríos de la vertiente del Océano Pacífico: Verde (de Oaxaca), Papagayo, Balsas, Armería, Ameca, Lerma-Santiago, San Pedro y Río Fuerte. Algunos lugares elevados de México donde el *teocintle* penetró en forma natural fueron: Los valles centrales de Oaxaca cuya altitud promedio es de 1500 msnm; la cuenca de los lagos: Pátzcuaro, Cuitzeo y Yuriria, lo mismo que en la Altiplanicie Central de México, donde la altitud promedio varía alrededor de los 1900 msnm. En los valles de México y Puebla cuya altitud fluctúa entre 2200 y 2500 msnm, el *teocintle* fue introducido artificialmente en épocas posteriores al inicio de la domesticación.

Datos arqueológicos

Antes de abordar el tema relacionado con la arqueología del maíz, es conveniente hacer algunas consideraciones sobre el origen del hombre americano; en relación con este tema, existe diferencia de opiniones, pero la hipótesis más generalizada señala que el ser humano proviene del continente asiático y se internó en el continente americano por el Estrecho de Behring, hace unos 70.000 años A. P. (Carmona, 1989); de este lugar emigró a otras áreas del Continente llegando a territorio mexicano hace unos 25.000 años A. P. y a la Patagonia de América del Sur, hace apenas unos 10.000 años A. P. En opinión de Muñoz¹ (2002), "Todo parece indicar que en el valle de México, el maíz fue introducido de occidente". Sin embargo, se han encontrado granos de polen fósil de maíz domesticado a los cuales se les atribuye una antigüedad que varía entre 60.000 y 80.000 años A.P. (Barghoorn *et al.*, 1954). Esto indica que la llegada del hombre al continente americano aún es un enigma, pero obviamente su antigüedad se remonta a muchos miles de años antes del presente. Continuando con la arqueología del maíz, es oportuno mencionar que en terrenos de la antigua hacienda denominada La Magdalena, ubicada en las estribaciones del Pico del Quinceo, el cual se localiza al noroeste de la ciudad de Morelia, Michoacán, se encontró un fragmento de lava volcánica que lleva impresiones de mazorcas de maíz domesticado, cuya morfología es semejante a la del maíz Chapalote, a la de Nal-Tel y también a la del Cónico, según Wellhausen *et al.* (1951); como el Pico del Quinceo corresponde a un volcán inactivo y se desconoce la fecha de su última erupción, se deduce que la antigüedad de la lava volcánica, y la del maíz que representa, se puede remontar a muchos miles de años.

En el valle de Tehuacán, Puebla, también se han encontrado restos de maíz domesticado a los cuales se les atribuye una antigüedad de 6.600 años A.P. (Mac Neish, 1964); de igual modo, se han hallado restos de maíz cultivado

¹ Muñoz Orozco, Abel (2002). Comunicación personal

en la cueva del Murciélago, Nuevo México, E. U. A., cuyo pasado remoto es de 5.600 años A.P. (Mangelsdorf, 1960); restos de maíz procedentes de la cueva de la Perra, ubicada en el noreste de México, tienen una antigüedad de 4.450 años A.P. (Mangelsdorf *et al.*, 1956); de igual forma, restos arqueológicos de maíz encontrados en Huaca Prieta, Perú, han sido datados 4.500 años A. P. (Bennett y Bird, 1949).

En Perú también se han encontrado mazorcas de maíz en el valle Moche, cuya antigüedad es de 3.400 años A. P. y lo mismo ha ocurrido en Ica y Paracas, donde el fechamiento de mazorcas arqueológicas se remonta a 2.500 años A. P. (Grobman *et al.*, 1961). Restos de la planta y de la mazorca de *teocintle* fueron hallados en el Occidente de Tamaulipas, los cuales arrojan una antigüedad de 2.900 años A. P. (Wilkes, 1967); de igual forma, en Yucuita, Municipio de Nochistlán, Oaxaca, se encontraron semillas carbonizadas de *teocintle* en niveles que corresponden a 3.300 años de antigüedad (Aragón, 1996); en la cueva de *Guilá Naquitz*, Oaxaca, aparecieron granos de polen de *teocintle* en niveles cuyo fechamiento se remonta a 2.700 años A.P. (Flannery y Schoenwelter, 1970).

En los valles centrales de Oaxaca, se han descubierto restos arqueológicos de *teocintle* en diferentes sitios, aunque no se menciona ningún fechamiento sobre dichos materiales (Aragón, 1996). Los resultados mencionados indican que el *teocintle* estuvo presente en diferentes regiones del Estado de Oaxaca, antes de llegar al grado de extinción actual, puesto que ahora sólo se le encuentra en San Cristóbal Honduras, Municipio de San Pedro Juchatengo, Oaxaca; este lugar está ubicado en la cuenca del Río Verde y a una altura de 1.120 msnm. Los datos anteriores muestran que la arqueología del maíz cultivado es mucho más antigua que la del *teocintle*, lo cual podría atribuirse a que no se han realizado suficientes estudios de arqueología en el área donde crece el maíz silvestre, o que el *teocintle* ha sido menos importante, para el consumo humano, que el maíz domesticado; también debe mencionarse que el carácter más común que se ha encontrado en sitios arqueológicos ha sido el olote, solo o todavía reteniendo frutos, pero como el olote es un órgano artificial, éste no se presenta en el *teocintle* y por tal razón las huellas del maíz silvestre, en sitios arqueológicos, han sido escasas o nulas; este fenómeno no es único del maíz ya que en todas las especies domesticadas, los restos arqueológicos de las formas cultivadas superan a las de los parientes silvestres; esto se debe a que cuando la domesticación genera a las características deseadas, para el consumo o para cualquier otro propósito, el hombre margina a los genotipos silvestres, hasta olvidarse de ellos en la mayoría de los casos; de cualquier modo, los datos anteriores señalan que la domesticación del maíz se remonta a más de 10.000 años antes del presente.

Área de origen primario

Estudios realizados por Mc Clintock *et al.*, (1981) indican que en el área de Guatemala y Honduras existen dos razas de *teocintle*: la del Sur de Guatemala y Honduras se distingue por tener 13 posiciones de nudos cromosómicos, en sus 10 cromosomas normales y todos los nudos ocupan una posición terminal; en tanto que el *teocintle* del Norte de Guatemala muestra 18 posiciones de nudos cromosómicos y también, todos ocupan una posición terminal. En cambio, el *teocintle* de México muestra 34 posiciones de nudos cromosómicos, 28 de las cuales son intercalarias y sólo seis permanecen como terminales en el brazo corto de los cromosomas 3, 4, 5, 7, 8 y 9.

En este *teocintle* aparecen, además, los cromosomas anormales 10 I, 10 II y el cromosoma tipo B. El cromosoma anormal 10 I es común en la cuenca del río Cutzamala, el cual es afluente del río Balsas. El cromosoma anormal 10 II aparece en la cuenca del río Balsas, en la altiplanicie central de México y en el valle de México. De igual forma, al cromosoma tipo B se le puede encontrar en la altiplanicie central de México y en la cuenca del río Balsas. Por otro lado, el maíz domesticado también tiene 21 posiciones de nudos cromosómicos, 18 de las cuales son intercalarias y tres ocupan una posición terminal en el brazo corto de los cromosomas 4, 7 y 9. El cromosoma 10 I anormal y el cromosoma tipo B, también se encuentran en el maíz cultivado (Mc Clintock *et al.*, 1981).

Con relación al centro de origen primario, se puede mencionar que el *teocintle* ha mantenido un constante ritmo evolutivo, desde antes de que el hombre iniciara el proceso de domesticación. Si consideramos que la aparición de los nudos cromosómicos ocurrió en forma progresiva, a partir de cero nudos, entonces el *teocintle* de Honduras y Guatemala es más antiguo que el *teocintle* de México, por tener menos nudos cromosómicos. Adicionalmente, el *teocintle* de México tiene el cromosoma 10 I anormal y el cromosoma tipo B, los cuales están ausentes en el *teocintle* de Honduras y Guatemala; estas últimas diferencias fortalecen, aún más, la hipótesis en el sentido de que el *teocintle* de México es más reciente.

Si este planteamiento es correcto, entonces el *teocintle* se originó en el área Guatemala – Honduras y después se desplazó hacia el norte de México atraído, tal vez, por las mejores condiciones ambientales que ofrece el trópico de cáncer cuando el sol, en su movimiento aparente, se ubica en el hemisferio norte. Por lo tanto, se puede establecer que el centro de origen primario del maíz, a nivel silvestre, se ubica en la región Guatemala – Honduras (Miranda, 1998). Sin embargo, cuando el hombre inició el proceso de domesticación, el *teocintle* ya se había extendido desde el paralelo 14 hasta el paralelo 30 del hemisferio norte. También se había incrementado el número de nudos cromosómicos y ya había aparecido tanto el cromosoma 10 I anormal como el cromosoma tipo B.

Área de domesticación inicial

El inicio de la domesticación del maíz no ocurrió en una sola localidad, sino en un amplio sector donde además de estar presente el *teocintle*, existían

diversos atractivos para estimular el sedentarismo humano, como fueron la pesca, la caza y la recolección, entre otros; estas características eran comunes en la cuenca del río Balsas, la sierra volcánica transversal de México y la cuenca de los ríos Lerma-Santiago.

La sierra volcánica transversal de México es más alta en la parte oriental que en la occidental, como lo demuestra la altitud de los siguientes lagos o lagunas: Lago de Texcoco, México, 2240 msnm; Lago de Cuitzeo, Michoacán, 1880 msnm; Lago de Chapala msnm, Jalisco, 1520 msnm y Laguna de Sayula, Jalisco, 1350 msnm; como el *teocintle* se dispersó en forma natural desde los 500 msnm hasta los 1900 msnm de altitud, cubrió, en forma natural, gran parte del centro-occidente de la sierra volcánica transversal; esta sierra además, separa a la cuenca del río Balsas, que ocupa la parte sur de la sierra, de la cuenca de los ríos Lerma-Santiago, que flanquea su costado norte; en el centro occidente de esta área geográfica existen numerosas zonas tan parecidas ecológicamente, que configuran una sola región sembrada de grandes valles, corpulentas montañas y numerosas cuencas cerradas que dan origen a lagunas, ciénagas y pantanos; esta diversidad de atractivos ecológicos y en particular su clima, fue lo que sedujo al hombre para establecerse en la región, puesto que en ella se facilitaba la pesca, la caza y la recolección durante todo el año; sin embargo, hay que hacer notar que esta comarca era el territorio del *teocintle* y aunque el hombre no le prestó mayor atención al principio, pronto tuvo que fijarse en él, porque el *teocintle* cumplía su ciclo biológico año tras año, en presencia del nuevo huésped, como también lo hacían otras especies que ya le servían de sustento; fue así como nació la interrelación maíz-hombre y se inició la domesticación aprovechando los recursos y las condiciones ecológicas de la propia localidad; el fenómeno de interrelación *teocintle*-hombre se dio en todos los sitios donde convivían los dos organismos, pero no en todos ellos prosperó el proceso de domesticación primaria, para dar paso a la interdependencia que poco a poco se fue fortaleciendo entre el maíz y el hombre; esta interdependencia nació y creció entre los paralelos 19 y 21 del hemisferio norte, o sea en la misma área donde convergen la cuenca del río Balsas, la sierra volcánica transversal de México y la cuenca de los ríos Lerma-Santiago incluyendo, obviamente, la zona considerada como El Bajío de México; los factores que se han tomado en cuenta para considerar a esta región, como el centro de domesticación primaria del maíz son los siguientes:

En este sector, el *teocintle* muestra las posiciones terminales e intercalarias de los nudos cromosómicos y lo mismo ocurre con el maíz domesticado; de igual forma, el *teocintle* contiene el cromosoma 10 I anormal y el cromosoma tipo B, tal como acontece en el maíz cultivado (Mc Clintock *et al.*, 1981; Kato, 1984); por otro lado, en el valle de México se han encontrado granos de polen de maíz domesticado, en estado fósil, a los cuales se les atribuye una antigüedad de 60.000 a 80.000 años (Barghoorn *et al.*, 1954; Mangelsdorf, 1960); de igual modo, en las faldas del Pico del Quinceo, ubicado en el lado noroeste de la ciudad de Morelia, Michoacán, se halló un fragmento de lava volcánica que lleva impresas numerosas mazorcas pequeñas (5 a 10 cm de largo), de forma cónica y ostentando semillas de un maíz probablemente palomero; la antigüedad de este maíz se pierde en el pasado remoto, porque el Pico del Quinceo corresponde a un volcán totalmente inactivo,

desconociéndose por completo la fecha de su última erupción; el fragmento de lava volcánica referido se exhibe actualmente en el museo Michoacano, ubicado en la ciudad de Morelia; estas evidencias arqueológicas apoyan, sin lugar a dudas, el trabajo de domesticación que el hombre ha realizado en la sierra volcánica transversal de México, desde hace muchos miles de años.

Adicionalmente se puede mencionar que el Pico del Quinceo está ubicado en la cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán, lugar donde se encuentra uno de los calendarios agroastronómicos más antiguos de México (en preparación); en este calendario se hace resaltar la forma cónica de la mazorca, refiriéndose obviamente al maíz domesticado; su antigüedad es paralela a la del propio Lago de Cuitzeo, aunque todavía se desconoce la época en que el hombre lo empezó a operar; el Calendario de Cuitzeo contiene la misma información astronómica que el Calendario Agroastronómico de la Cueva del Maíz, ubicado en el Municipio de Coxcatlán, Puebla, y cuya antigüedad es superior a los 8.000 años A. P. (Miranda, 1996 a; 1997); hasta el momento se desconoce cuál de los dos calendarios es más antiguo; sin embargo, debe recalarse que el Calendario de Cuitzeo está ubicado en territorio del *teocintle*; además, se encuentra más cerca del trópico de cáncer, donde la calidad de la luz y la energía calorífica entre los meses de Mayo y Julio², son excelentes para el desarrollo del maíz; ocupa el corazón de la faja maicera de México y se ubica, precisamente, en el área geográfica donde se hacía el ajuste del tetraenio trópico en la época prehispánica; estos antecedentes podrían colocar al Calendario de Cuitzeo, en una posición más antigua, con relación al calendario de la cueva del Maíz; aunque en ambos casos se refleja la larga historia que tiene el cultivo del maíz en México (Figura 1).

A la cuenca del Lago de Cuitzeo, también se le menciona como una de las regiones donde se establecieron comunidades agrícolas, hace unos 7.000 años; estos grupos humanos antecedieron a los del Horizonte Preclásico, entre los cuales destacan la Bartolilla, Queréndaro, La Nopalera, Tres Cerritos y la Loma de Santa María (Peña *et al.*, 1991); otras comunidades agrícolas del Horizonte Preclásico, que también se desarrollaron en el occidente de México fueron: Chupícuaro, cuyo florecimiento se llevó a cabo en la rivera del río Lerma, al oriente de Acámbaro, Guanajuato y el Opeño, que ocupó el valle de Zamora y Jacona, Michoacán, hace unos 3.500 años A. P. (Peña *et al.*, 1991). Todos los antecedentes mencionados en este capítulo indican que la domesticación primaria del maíz ocurrió, exitosamente, en el Bajío y Occidente de México, donde aún persiste la mayor diversidad genética y la producción más elevada del maíz, comparada con la de otras regiones agrícolas del país.

Mejoramiento genético

Antes de iniciarse la domesticación del maíz, el hombre se internó en el territorio del *teocintle* por razones ajenas a la domesticación de la planta; sin

² Considérese que durante el movimiento de traslación en torno al Sol, los rayos de este astro inciden dos veces de manera perpendicular sobre todos los sitios ubicados entre los trópicos, es decir, desde los 23° 27' LN hasta los 23° 27' LS.

embargo, su permanencia prolongada en la región le permitió convivir con el maíz silvestre y fue así como se enteró de la estrecha relación que existía entre el *teocintle* y las condiciones ambientales del lugar; de igual modo, estudió las características de la planta diferenciando aquellas que le serían de utilidad; pronto se enteró que las plantas que crecían en condiciones ambientales más favorables, expresaban con mayor vigor sus características morfológicas incluido obviamente el rendimiento; de ahí que las primeras maniobras artificiales para mejorar al maíz consistieran en sembrar al *teocintle* libre de competencia y al mismo tiempo, mejorar el medio ambiente donde debía desarrollarse la planta; el hombre también observó que en las poblaciones de *teocintle* aparecían mutantes que ofrecían mejores ventajas para el manejo y aprovechamiento del maíz como eran: La reducción en el número de ramas del tallo principal, el incremento en el número de frutos de la mazorca, aunado a la formación del olote y al mayor desarrollo de los frutos los cuales, a su vez, se liberaban del raquis que forma la cápsula donde se desarrolla el fruto del maíz silvestre; a medida que aparecían nuevos caracteres útiles al hombre, éste los fue reteniendo mediante la selección, generándose así una mayor interdependencia entre ambos organismos; cuando las nuevas formas del maíz cultivado empezaron a emigrar a otras localidades, la variabilidad genética de la especie se incrementó, en respuesta a las exigencias de los nuevos ecosistemas y al gran número de usos que el hombre fue derivando de él. Considerando que el proceso evolutivo del maíz domesticado se remonta a más de 10.000 años A. P., es conveniente dividirlo, por lo menos, en las cuatro etapas siguientes:

El mejoramiento genético que antecedió el desarrollo de los primeros calendarios agroastronómicos; o sea todo el mejoramiento realizado hasta antes de los 8.000 años A. P. (Miranda, 1996 a; 1997).

El mejoramiento genético que ocurrió entre la aparición de los primeros calendarios agroastronómicos (8.000 años A. P.) y el descubrimiento de la cerámica, realizado hace unos 3.500 años A. P. (García, 1985).

El mejoramiento genético que se llevó a cabo entre la aparición de la cerámica (3.500 años A. P.) y la llegada de la cultura europea al Continente Americano, en 1492.

La cuarta etapa corresponde al mejoramiento genético que se efectuó entre el año de 1492 y la época actual. Esta etapa corresponde a la época post-hispánica, razón por la cual, no será tratada con amplitud en el presente trabajo.

Como ya se ha mencionado antes, la primera etapa del mejoramiento genético ocurrió antes de los 8.000 años A. P. (Miranda, 1996 a; 1997). Fragmentos de carbón encontrados en el área de Tlapacoya, Estado de México, indican que el hombre americano ha estado utilizando el fuego desde hace, por lo menos, 22.000 años A. P. (Mirambell, 1974); esto indica que en la primera fase del mejoramiento genético del maíz, el fuego jugó un papel muy importante en el establecimiento de las metas de dicho mejoramiento. En esta primera etapa, el hombre se preocupó por seleccionar un tipo de planta con el

menor número de tallos y en cada tallo establecer el menor número de mazorcas; así lo demuestran todavía las razas: Palomero Toluqueño y Maíz Dulce de México (Wellhausen, *et al.*, 1951) y las razas: Pollo y Chococeño de Colombia (Roberts *et al.*, 1957); de igual modo, hubo un gran interés por despojar a los frutos de su cápsula y desarrollar el olote para aumentar el número de hileras y frutos por mazorca, pero sin importar que los frutos estuvieran, necesariamente, acomodados en hileras; el desorden de los frutos sobre el olote todavía se observa en las razas: Palomero, Olotón y Tehua de México (Wellhausen, *et al.*, 1951), lo mismo que en Proto-Confite Punttiagudo, Proto-Kculli, Proto-Chullpi, Confite Chavinense y Confite Ikeño, de Perú, entre otras (Grobman *et al.*, 1961); considerando que el maíz se consumía en forma de elotes asados, esquites, palomitas y pinole, los tipos de fruto seleccionados en esta primera etapa de domesticación fueron los palomeros, los cristalinos, los harinosos y los dulces; este proceso evolutivo es el que se observa en el cúmulo de razas domesticadas tanto en Mesoamérica como en América del Sur (Wellhausen, *et al.*, 1951; Roberts *et al.*, 1957; Grobman *et al.*, 1961).

La segunda etapa del mejoramiento genético del maíz se inició hace unos 8.000 años A. P., cuando el hombre ya había desarrollado los calendarios agroastronómicos (Miranda, 1996a; 1997) y estaba aplicando estos conocimientos, tanto en el fitomejoramiento como en sus actividades cotidianas, para estar en armonía con la naturaleza; conocía la rotación de la tierra y el día solar medio, al cual había dividido en 24 horas de 60 minutos cada hora (Miranda, 1991); también conocía al movimiento de traslación de la tierra, mismo que había dividido en 24 horas (24 meridianos) de 15 grados de arco o de 15 días cada una; de igual forma, conocía el cuatrienio civil de 1440 días y el cuatrienio trópico de 1461 días; para ajustar el cuatrienio trópico, a partir del cuatrienio civil, cada 480 días agregaba 7 días para obtener 487 días, equivalentes a una tercera parte de 1461 días (Miranda, 1997); los conocimientos relacionados con los movimientos de la tierra fueron aplicados al mejoramiento genético del maíz, y fue así como surgió la idea de seleccionar mazorcas cuyos frutos estuvieran alineados en hileras; en las mazorcas del maíz silvestre el número de hileras por mazorcas siempre es de dos (Miranda, 1996 b).

Sin embargo en el maíz cultivado dicho número varía entre 8 y 24 predominando, en la actualidad, las razas cuyas mazorcas tienen 12 hileras (Miranda, 1996 b); las mazorcas de 4 y 6 hileras son eliminadas por selección artificial en el área: México-Guatemala-Honduras, ya que son descendientes de cruzamientos entre el maíz silvestre y el maíz cultivado; las mazorcas de 8, 16 y 24 hileras, equivalían a los 120 ($8 \times 15 = 120$), 240 ($16 \times 15 = 240$) y 360 ($24 \times 15 = 360$) días del movimiento de traslación de la tierra y significaban los días del segundo, tercero y cuarto años del cuatrienio civil, en que debían hacerse los ajustes del cuatrienio trópico ya mencionado; en esta segunda etapa del mejoramiento genético del maíz, permanecieron los tipos de fruto palomero, cristalino, harinoso y dulce, pero ahora sí, los frutos de la mazorca debían desarrollarse en hileras y estas hileras, a su vez, debían variar entre 8 y 24, según el genotipo en cuestión; esta diversidad de hileras es todavía frecuente en México, donde lo mismo crecen las poblaciones silvestres que las cultivadas de maíz (Wellhausen, *et al.*, 1951).

La tercera fase del mejoramiento genético del maíz se inició con el descubrimiento de la cerámica (García, 1985); este avance tecnológico permitió modificar e incrementar los usos del maíz y, de igual forma, influyó para que se modificaran los objetivos del mejoramiento genético; tratándose de una etapa más reciente que las anteriores, es lógico pensar que la población humana ya se había incrementado, lo cual implicaba la necesidad de extender las áreas de cultivo invadiendo nuevos ecosistemas; por otro lado, la presencia de recipientes de barro permitió cocinar al maíz y así surgió la costumbre de consumir elotes cocidos, o cocer los frutos maduros para preparar el pozole o fabricar la masa, con la cual se podía elaborar tortillas, tamales, atoles, etc.; estos nuevos usos del maíz requerían de frutos menos duros que los palomeros, pero no tan blandos como los harinosos, ya que estos últimos eran muy susceptibles a las plagas de almacén; tomando en cuenta estos antecedentes, el hombre decidió cruzar a la raza Palomero Toluqueño, de fruto duro, con la raza Cacahuacintle, de fruto blando, para obtener la raza Cónico, cuyas características de fruto son intermedias entre las de los progenitores, pero con un valor de adaptación mucho más amplio que el de sus ancestros (Wellhausen, *et al.*, 1951; Miranda, 1996a); esta raza surgió en los valles altos de la sierra volcánica transversal de México y de esta área emigró hacia el norte, hasta alcanzar la frontera con los Estados Unidos de América; también arribó al occidente de México y de allí siguió por la vertiente del océano pacífico, hasta alcanzar el occidente de los Estados Unidos de América; de igual manera, se desplazó hacia el sur hasta llegar a Honduras y de allí fue trasladada a Venezuela o Colombia, distribuyéndose después en el noroeste de América del Sur (Kato, 1984).

Después de la raza Cónico, surgieron otras con el carácter de fruto dentado las cuales cubrieron, a su vez, otras áreas de América del Norte y Centroamérica; con la aparición de los maíces dentados disminuyó la frecuencia de los maíces palomeros, de los cristalinos, de los harinosos y de los dulces, en Mesoamérica, lo cual no ocurrió en América del Sur, donde la aparición de la cerámica no provocó los mismos cambios en el uso del maíz como aconteció en América del Norte.

La cuarta etapa del mejoramiento genético del maíz se inició a partir de 1492, año en que la cultura europea arribó al continente americano; esta cultura trajo consigo la ganadería, la cual motivó que la interdependencia que existía entre el maíz y el hombre se extendiera también hacia la ganadería; este encuentro de culturas hizo que se modificaran las técnicas de cultivo y también, los objetivos del mejoramiento genético; estos cambios eliminaron, de raíz, las metodologías agroastronómicas que el hombre prehispánico había utilizado, con gran éxito, en sus actividades agrícolas (Miranda, 1996a), pero también se debe reconocer que el hombre europeo influyó para que el maíz se desplazara hacia otros continentes, ampliándose con ello la dinámica evolutiva y la variabilidad genética de la especie.

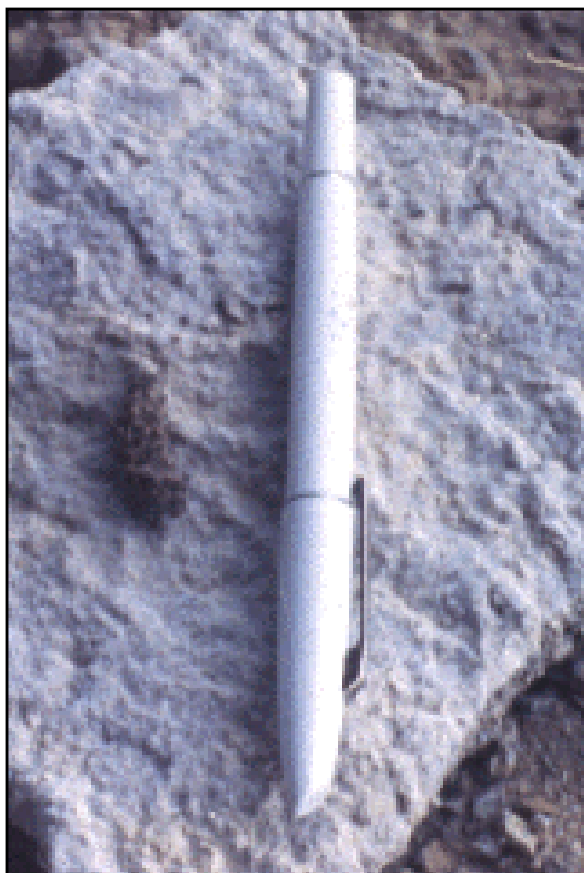


Figura 1. Mazorquita de maíz encontrada en la cueva de Coxcatlán, Pue. Se estima que este tipo de materiales eran cultivados por los habitantes de esta zona de México hacia el 5000 a.C. Las excavaciones revelaron objetos usados por nuestros ancestros mucho antes del desarrollo de la cerámica.

Foto: Karen Hardy tomada de:
http://emuseum.mnsu.edu/archaeology/sites/meso_america/coxcatlan_phase.html

Una vez que el ser humano produjo de manera controlada el fuego, las formas de aprovechamiento de diferentes recursos, entre éstos distintas estructuras vegetales susceptibles de incorporarse a su dieta, se incrementaron notablemente. Entre otras partes de las plantas, las semillas de diversas especies, por ejemplo las de las calabazas (*Cucurbita spp*), de distintos frijoles (*Phaseolus spp*), los tallos hipogeos (tubérculos), como los de las papas (*Solanum ssp*) y varias raíces, como las de la yuca (*Manihot spp*), o las del chayote (*Sechium edule*), etc., al asarse, tostarse o cocerse, pudieron integrarse a la alimentación de nuestros antepasados.

En el caso del maíz (*Zea mays* L.); el asado, el tostado y la cocción, fueron y continúan siendo, tres procedimientos de gran importancia para la transformación y ulterior consumo de sus frutos. Sin embargo, además del control del fuego, la tecnología para la elaboración de las tortillas, tuvo que esperar largo tiempo hasta que la consolidación de otras dos importantes innovaciones hiciese posible la difusión de la nixtamalización como uno de los aspectos principales de dicha tecnología; 1. La elaboración de utensilios de cerámica y 2. El descubrimiento del efecto que la cal (o algunas otras sales con pH alcalino) puede tener en los frutos que pretendan ser nixtamalizados.

Después de que nuestros antepasados consolidaron la tecnología pertinente a la elaboración de recipientes hechos con cerámica, el asado y el

tostado resultaron más fáciles de efectuar. Sin embargo, la cocción sólo fue posible cuando el hombre fue capaz de elaborar ollas de barro o algún otro tipo de recipiente dentro de los cuales pudo verter tanto el agua como las distintas estructuras que deseaba cocer.

Lo anterior, resulta de particular interés en un estudio como el presente pues evidencia que el conjunto de plantas que un determinado grupo humano puede utilizar no depende sólo la percepción de éstas como elementos útiles de la naturaleza, sino también de su desarrollo tecnológico. Además de facilitar la deglución y asimilación metabólica de las estructuras vegetales, es probable que el mejoramiento del sabor y el olor de las mismas hayan sido tres de las ventajas que influyeron de modo significativo en el uso de la cocción como parte de las opciones conducentes al consumo de una cada vez mayor cantidad de plantas por parte de nuestros antepasados.

Una vez aceptadas las ventajas de la cocción como parte de la tecnología para la preparación y ulterior consumo de distintas estructuras vegetales, la constante aplicación de esta técnica en la elaboración de sus alimentos, fue propiciando que los seres humanos responsables de efectuar esta actividad, fuesen determinando con mayor precisión la importancia de las formas y los tiempos de cocción que cada estructura requería para poder alcanzar las cualidades culinarias deseadas en cada caso concreto.

Siendo el objetivo central de esta investigación, la obtención de información cuantitativa relacionada con la evaluación del uso de frutos de *teocintle* y de cinco razas de maíz en la manufactura de tortillas, se efectuaron cuatro experimentos (repetidos durante tres años) destinados a medir los periodos necesarios para efectuar cada una de las fases involucradas al aplicar alguno de los cuatro procesos considerados en esta investigación:

1. Utilizando un molcajete y nixtamal sin reposo,
2. Utilizando un molcajete y nixtamal con reposo,
3. Utilizando un molino metálico accionado mediante una manivela y nixtamal sin reposo,
4. Utilizando un molino metálico accionado mediante una manivela y nixtamal con reposo.

Hipótesis

Las hipótesis nulas pertinentes a esta investigación fueron las siguientes:

1. No es factible elaborar tortillas utilizando sólo frutos de *teocintle*, y
2. No habrá diferencias estadísticamente significativas en los periodos necesarios para la realización de las distintas fases de los procesos conducentes a la elaboración de las tortillas al utilizar los frutos o propágulos de los materiales silvestres o domesticados de *Zea* considerados en este estudio.

Antecedentes

Si bien las formas de uso precerámicas se continuaron utilizando en la época post-cerámica, la consolidación de la tecnología para la elaboración de diversos utensilios de cerámica, fue poco a poco ampliando las formas en que diversas estructuras vegetales –entre éstas los frutos del *teocintle* primero y del maíz después- pudieron ser aprovechadas.

Uno de los usos del maíz más relevantes, que ocurrió con el descubrimiento de la cerámica, fue el desarrollo de la tortilla elaborada con masa de maíz. Lo mismo que la creación de los maíces dentados, con mejor calidad para la elaboración de la tortilla. La manufactura de la cerámica ocurrió en diferentes sitios del continente americano y la antigüedad de su iniciación también es muy diversa. Por ejemplo; en Teperinha, cerca de Sanctorum, ubicado en la parte baja del río Amazonas, la fabricación de la cerámica se remonta a 5000 años antes de Cristo (Schobinger, 1997). De igual modo, en Mato Grosso, Brasil, cerca de los límites con Bolivia, el uso de la cerámica data de 4000 a.C. (Schobinger, 1997). Por otro lado, en la región norte de Colombia (Monsú y Puerto Hormiga) y en la parte Occidental de Ecuador (Valdivia) la elaboración de la cerámica se inició desde 3100 años a.C. (Rossevelt *et al.*, 1991). Por otra parte Ford (1969) señala que la idea de decorar a la cerámica se difundió ampliamente en el año 3000 a. C. y desde entonces se ha mantenido vigente. En el valle de México la figura de arcilla más antigua, que se ha encontrado hasta la fecha, data de 2300 años a.C. y fue hallada en Tlapacoya, municipio de Ixtapaluca, Estado de México, corresponde a la fase Zohapilco cuando aún no se manufacturaba la cerámica utilitaria en la región (Di Castro, 2000).

En Mesoamérica, una de las fechas más tempranas de la etapa cerámica, se ubica 2400 años a.C. y se aplica a la llamada cerámica Pox de Puerto Marqués, Guerrero (Schöndube, 1994). Le sigue después la cultura Capacha, que se inició unos 1800 años a.C. y cubre regiones de Colima y Jalisco, principalmente (Flores, 1994). En el Opeño, cerca de Jacona, Michoacán, se encontró un cementerio de 9 tumbas, en cuyas ofrendas se incluyen figuras de barro manufacturadas 1500 años a.C. (Flores, 1994). De igual forma en Tlatilco, Estado de México, la antigüedad de la cerámica se remonta a 1000 años a.C. y en Chupícuaro, Guanajuato, a 400 años a.C. (Flores, 1994). En la región de Tlaxcala la cerámica utilitaria hizo su aparición 1500 años a.C. (García, 1995). En los diferentes sitios la arcilla fue el material empleado para elaborar objetos tanto utilitarios, como de adorno y religiosos; entre los últimos destacan las figurillas utilizadas como ofrendas funerarias.

Estos antecedentes, indican que en Mesoamérica el uso de la cerámica utilitaria se remonta, por lo menos, a 1500 años a.C. o sean 3500 años antes del presente. De ahí que la antigüedad de la tortilla en Mesoamérica puede datar de hace unos 3500 años a.P. En la actualidad, es ampliamente conocido que la tecnología para la elaboración de la tortilla, a partir del fruto seco del maíz, ha ido cambiando en términos de: tiempo utilizado para cocer el nixtamal, métodos de preparación de la masa, formas, dimensiones, peso, tiempo de

cocción de la tortilla, así como los usos y manejo de la propia tortilla, etc. Sin embargo, algo que se ha mantenido constante es su forma circular.

Tortilla: conjunción de arte y ciencia

La tortilla no es sólo un pedazo de masa de maíz cocido de forma circular que nos proporciona alimento a los mexicanos, es, también, una de las raíces más profundas de nuestra cultura, y base fundamental de nuestra historia.

Tortilla, es en la actualidad la palabra más generalizada y aceptada a nivel internacional, para referirse a una “fuente de alimentos de forma circular (de diámetro y grosor variables) elaborada a partir de los frutos maduros de maíz previamente nixtamalizados”. Sin embargo, tortilla, es en realidad el término con que los españoles -tal vez por encontrarle semejanza geométrica con la *fritada de huevos batidos elaborada junto con distintas clases de manjares a manera de omelet*- se refirieron a lo que en el valle de México y otras muchas zonas con influencia de la cultura Mexica se llama *Tlaxcalli*, concepto de tanta importancia en esta porción de Mesoamérica que, en opinión de algunos historiadores, de éste derivó el nombre del actual Estado de Tlaxcala.

Con base en estudios lingüísticos relativos a los nombres vernáculos tan diversos utilizados para designar a tan importante fuente de alimentos, algunos antropólogos han llegado a suponer que la generación de la tecnología pertinente a la elaboración de las tortillas no haya sido “patente” exclusiva de los mexicas, siendo muy probable que su generación haya ocurrido entre varias de las culturas que llegaron a dominar la producción de la cerámica (sin la cual hubiese sido muy difícil lograr la elaboración del nixtamal), llegando a perfeccionarse a través del intercambio de conocimientos entre los pueblos de Mesoamérica, contribuyendo a esto último incluso las culturas que simplemente adoptaron -mediante la transmisión oral y del ejemplo- la tecnología para la elaboración de las tortillas.

Siglos y probablemente milenios antes del arribo de los españoles a nuestro país, la consolidación de la agricultura y la definición de importantes procedimientos tecnológicos -entre ellos el perfeccionamiento del proceso para la elaboración de cerámica antes referido- hizo posible la ampliación de las formas de aprovechamiento de muchos recursos.

En el caso del maíz, el empleo de la cerámica desempeñó (y de hecho en muchas comunidades continúa desempeñando) dos funciones básicas en el proceso conducente a la elaboración de las tortillas:

- 1) Durante la preparación del nixtamal (palabra de reconocido uso internacional), actividad para la que el mejor utensilio sigue siendo una olla de barro y
- 2) En la cocción de la masa después de que ésta ha sido conformada entre las manos, fase en la que el comal de barro continúa siendo el más utilizado en el medio rural de nuestro país.

Atributos de una buena tortilla

Si bien es cierto que resulta difícil definir los criterios que deben ser considerados para poder caracterizar a una tortilla como de *buena calidad*, en el presente trabajo, con base en los criterios considerados en otros trabajos, así como en la opinión expresada por los miembros de varias familias del pueblo de Ecatlán, Puebla (en donde se habría de efectuar el experimento a la calificación de la calidad de las tortillas), se optó por la evaluación concomitante de los siguientes atributos: sabor, olor, textura, flexibilidad (aspecto estrechamente relacionado con el de la tortilla para improvisar una cuchara o el tan conocido taco), características a las que de modo más reciente -cuando menos desde el punto de vista del beneficio que su consumo pueda aportar a la salud de la gente- el llamado valor nutricional.

Asentados los criterios anteriores como punto de partida para poder evaluar cuantitativamente la llamada **calidad tortillera** (no confundir con el concepto de "rendimiento tortillero"), en el presente trabajo se postuló que la obtención de una buena tortilla depende de la acción concomitante de cuando menos tres aspectos fundamentales:

1. El tipo de maíz utilizado,
2. La tecnología aplicada al proceso pertinente a su elaboración y
3. Los antecedentes culturales y experiencia de la gente que las haga.

El tipo de maíz utilizado

En lo que se refiere a las "clases de maíz", es bien sabido - particularmente por la gente de campo- que algunos maíces (por su dureza, color, textura, sabor, capacidad de expansión, etc.) son más adecuados para ciertos usos que para otros. La gente que habita en las comunidades rurales - en particular las indígenas- distingue y usa muchos tipos de maíz que son seleccionados no sólo por su comportamiento en el campo (tomando en cuenta dentro de sus criterios de selección aspectos como precocidad, rendimiento, adaptación al régimen de lluvias, etc.), sino también, por los atributos que presentan en relación a las formas de aprovechamiento a nivel local o nacional.

En los tianguis (mercados) del México de antaño y aún del actual, se habla entre muchas otras formas de uso: de los maíces para hacer tamales, de los que dan mejor harina para hacer pinoles, de los que revientan directamente al fuego y se usan para hacer palomitas o burritos, de los que se expanden en el agua y se usan para hacer pozole, de los que dan color y sabor al *chileatole*, de los que sirven para hacer totopos, de los que sirven para que engorden los *totoles*, de los que son muy dulces y sabrosos como elote, de los que se usan para hacer pan y, desde luego, de los mejores para hacer tortillas, sopes, esquites, pinole o *tlacollos*.

Si bien podríamos decir que, prácticamente con cualquier clase de maíz es posible hacer tortillas, la gente de campo frecuentemente opina que existen algunos maíces cuyos frutos presentan características que los identifican como mejores para ciertas formas de uso, incluyéndose entre éstas las tortillas. En acuerdo con Novelo *et al.* (1987): "las diferencias en las tortillas están relacionadas a otras diferencias de carácter social que tienen su base tanto en el estrato social del consumidor como en las necesidades que deben cubrir en

distintas situaciones de trabajo, de calendario festivo o ritual y de intercambio". En el caso de los maíces que son preferentemente utilizados para la elaboración de tortillas, además de criterios estrictamente culturales como el tamaño y el color de las mismas, existen otros aspectos no menos importantes de carácter práctico, tal es el caso del tiempo de cocción de los frutos para la elaboración del nixtamal (no hay que olvidar que en el ámbito rural la fuente principal de combustible es la leña), siendo de igual importancia la cantidad de masa derivada a partir de un cierto peso o volumen de grano utilizado, característica que a fin de cuentas, habrá de reflejarse en la cantidad de tortillas susceptibles de obtenerse al utilizar un cierto tipo de maíz. De especial interés son las características involucradas en el concepto que de una *buena tortilla* posee la gente de campo de nuestro país, estando entre éstas* su:

* **Sabor.** Cualquier buen mexicano puede distinguir sabores no sólo entre los chiles, sino también en las tortillas. Este atributo está determinado, además del tipo de maíz, por otros aspectos como: el tiempo de cocción del nixtamal, la cantidad de cal incorporada al mismo y el tiempo de su cocción en el comal (una tostada no sabe igual que una tortilla utilizada como taco)

* **Aroma.** Aspecto de gran importancia relacionado no sólo con el tipo de maíz utilizado sino también con la forma en que se cuece la masa sobre el comal.

* **Textura.** Una expresión ilustra el caso; cuando la gente de "provincia", que por alguna razón consume las tortillas elaboradas industrialmente en el D.F., frecuentemente dice: "estas tortillas son de olote", manifestando con ello su falta de complacencia ante unas tortillas tan ásperas al paladar de quien normalmente consume tortillas hechas a mano.

* **Flexibilidad.** Pues en gran medida de ello depende que se pueda doblar la tortilla para ser el típico taco mexicano, sin olvidar que en muchas ocasiones no hay mejor "cuchara" que una buena tortilla. Otro aspecto es el tiempo que las tortillas pueden durar sin perder su flexibilidad, pues existen materiales que al ser recalentados ya no poseen este atributo pudiendo servir sólo como tostadas.

* **Tamaño.** En algunas zonas predominantemente indígenas como el Totonacapan, las tortillas preferidas son pequeñas de aproximadamente 10 cm de diámetro y un grosor medio de 2 mm, en tanto que en algunas comunidades de Oaxaca y otros lugares de la República Mexicana, son más frecuentes las grandes, de 20 ó más cm de diámetro, pudiendo variar su grosor desde 1 a 3 mm.

* **Color.** Si bien en general las tortillas blancas son las que gozan de mayor preferencia, existen ciertas festividades y ceremonias en las que tortillas de color azul, por ejemplo, pueden tener un valor cultural mayor.

* **Grado de cocción.** En la elaboración de buenas tortillas influye, además del grado de cocción del nixtamal, el grado de cocción de la masa ya moldeada sobre el comal de barro, aspecto que a su vez, modifica no sólo en el sabor, sino también la flexibilidad y aroma de las mismas.

* **Duración sin que se aceden.** Si bien este aspecto no es muy importante en las comunidades rurales donde las tortillas normalmente son consumidas el

* En la actualidad una característica importante de considerar es la relativa a su valor nutricional. Sin embargo, en el contexto del presente estudio éste no se consideró pertinente dada la imposibilidad de establecer con precisión dicho atributo durante la época en la que se inició el uso de las tortillas como fuente de alimentos para la especie humana.

mismo día en que se elaboran, en las grandes ciudades, donde a veces la gente no tiene tiempo de formarse en la cola de las tortillas, puede ser otro criterio de evaluación.

Tecnología aplicada en la elaboración de las tortillas

Si bien desde hace varios años existen máquinas capaces de producir rápidamente una gran cantidad de tortillas, la mayoría de la gente que ha tenido la oportunidad de degustar tortilla elaboradas a mano, ha podido comprobar que éstas (en comparación con las elaboradas a nivel industrial) saben y se sienten mucho mejor, y es que hasta la fecha no se ha inventado un aparato que efectúe de igual modo el típico “aplausos”, es decir los movimientos que con sus manos efectúan las mujeres de campo para dar forma y consistencia a sus tortillas, mismas que son elaboradas a partir del maíz que sus propias familias siembran, en la mayoría de los casos, como el sustento de mayor importancia.

Además de los datos obtenidos en laboratorio de las características físicas y de *nixtamalización* de los frutos de las razas de maíz consideradas en el presente caso, se decidió que esta parte de la investigación involucrara gente de campo; es decir, personas que conocieran los atributos de una buena tortilla, su proceso de elaboración y que supiesen hacerlas ellos mismos. Fue así como esta fase del trabajo se efectuó en colaboración con una familia indígena, campesina representativa del ámbito rural de México, cuyos miembros no sólo son consumidores del maíz y sus derivados, sino también responsables del cultivo y domesticación de sus materiales.

Fue la familia Galindo-Bautista, habitante de la comunidad de Ecatlán, Pue. (ubicada dentro de la región geográfico-cultural conocida como Totonacapan; A (C) w” i g, cuyos miembros: Don Benjamín Galindo García, Doña María Esperanza del Carmen Bautista de Galindo y su hija Lourdes) amablemente otorgaron su ayuda y valiosa experiencia para la realización y evaluación de los distintos aspectos involucrados en la elaboración y consumo del principal alimento de México: las tortillas.

Materiales y Métodos

Con el propósito de seguir una secuencia lógica pertinente al entendimiento del proceso que condujo a nuestros antepasados a iniciar la domesticación de ciertas poblaciones de *teocintle* en las que se basó la creación del maíz, en el presente trabajo se planteó la conveniencia de dividir la evaluación de algunos móviles probablemente involucrados en dicho proceso, considerando dos grandes etapas históricas: 1. La que se basó en los aprovechamientos utilizados por los grupos humanos antes de desarrollar la tecnología para la elaboración de utensilios de cerámica (**fase precerámica**) y 2. La que involucró la utilización de diversos utensilios de cerámica como parte de la tecnología concerniente a la preparación de distintas estructuras vegetales para ser consumidas por el hombre (**fase postcerámica**). En este apartado sólo se aborda el estudio de algunas formas de uso a esta segunda fase.

Respecto a los materiales involucrados en este trabajo, es importante mencionar que, además de utilizar utensilios sencillos, como los que normalmente se encuentran en una cocina tradicional de las comunidades indígenas de México, tales como: una olla y un comal (ambos de barro), un metate y un molcajete de piedra. Se utilizaron muestras tanto de nixtamal fresco (sin reposo), como muestras a las cuales se les dejó reposar 12 horas (nixtamal con reposo) antes de emplearse para la manufactura de las tortillas; esto último en atención a la observación hecha por la familia totonaca que amablemente colaboró en la realización de la presente investigación, cuyos miembros afirman que: “es conveniente dejar reposar una noche al nixtamal para que las tortillas queden mejor”.

Con el propósito de apegarse, tanto como se pudo, a los materiales probablemente utilizados por nuestros ancestros durante la época en que por primera vez intentaron hacer tortillas, los utensilios y procedimientos tecnológicos aplicados en esta investigación para la elaboración de las mismas, fueron los más comunes en el ámbito rural de nuestro país. Así, como fuente de calor, se utilizó la combustión de leña y unas cuantas piedras rodeando la fogata, de modo que los brasas resultantes se fueran reuniendo en un espacio restringido a fin de incrementar la temperatura resultante. Esta parte de la investigación se efectuó en el *tlecuil* (tipo tradicional de estufa construida con arcilla compactada rodeada por un marco de madera de 20cm de grosor, 1.60m de largo x 1.40m de ancho, elevada a una altura de 1.20 m del piso a manera de mesa) de la cocina de la familia totonaca que amablemente nos ayudó a la realización de esta fase de la presente investigación.

La energía calorífica necesaria tanto para la elaboración del nixtamal, como para la cocción de las tortillas, fue proporcionada mediante la combustión de leña obtenida del árbol conocido localmente como “garrochillo” o “*Lakax Kiú*” (en totonaco “árbol con flores en forma de quetzal”). Se trata de un miembro de la familia Sapindaceae³, cuyo nombre científico es *Cupania dentata* Moc.& Sessé ex DC., especie que, en acuerdo con Hernández y López (1993) tiene una capacidad calorífica de 4553.79 cal gr⁻¹.

Todas las muestras de mazorcas, frutos y propágulos utilizados en esta investigación fueron obtenidas de los incrementos que, de modo rutinario, se efectúan por parte del personal que labora en el *Banco Nacional de Germoplasma Vegetal*, ubicado en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, utilizándose -con el propósito de no tener como posible fuente de variación el origen de los materiales, es decir la antigüedad de las semillas evaluadas- sólo aquellos cosechados en el ciclo agrícola del año 1996.

Dado que el poder calorífico de la leña resulta influenciado por la humedad contenida en los tejidos de la madera, todos los troncos utilizados como combustible en esta fase de la investigación se deshidrataron hasta un 15%, ya que este fue el contenido presente en los materiales evaluados calorimétricamente por los investigadores antes citados.

³ Familia aceptada por Brummitt (1992)

Respecto a la temperatura proporcionada por la combustión de las brazas de la leña de la especie indicada, podemos decir que; al medirse ésta utilizando un teletermómetro infrarrojo durante el proceso de elaboración del nixtamal, así como durante la cocción de las tortillas, su rango osciló entre los 170°C y 180°C, intervalo que, previa calibración del *tlecuil*, resultó adecuado para conseguir una nixtamalización adecuada y un cocimiento rápido y homogéneo de las tortillas sobre un comal de barro.

Todas las tortillas se elaboraron conforme a las preferencias de la gente de Ecatlán, comunidad indígena ubicada en el Totonacapan poblano. En promedio, las tortillas midieron 10 cm de diámetro y 4 mm de espesor, registrando pesos en caliente, que oscilaron entre los 25 g y los 30 g., característica que, según Vázquez (1998) está correlacionada positivamente con el "rendimiento tortillero" de los materiales.

Como material silvestre se utilizó tanto frutos con todo y cápsula, es decir, propágulos, como frutos sin cápsula o cariósides verdaderos de *teocintle* anual (*Zea mays ssp mexicana*). Además, se emplearon frutos correspondientes a las siguientes cinco razas de maíz (*Zea mays ssp mays*): Palomero Toluqueño, Cacahuacintle, Cónico, Tuxpeño y Chalqueño. Respecto a las características de dichas razas, nos permitimos remitir a los interesados a consultar la obra original de Wellhausen *et al*, (1951).

El diseño experimental utilizado, fue el conocido como Completamente al Azar, involucrando cinco repeticiones en cada evaluación. Cada muestra considerada estuvo constituida por 250 g de frutos de cada material, mismas que fueron evaluadas por siete mujeres con un grado heterogéneo de experiencia respecto al proceso pertinente a la elaboración de las tortillas.

En cuanto a la medición del tiempo requerido para la extracción de los frutos de *teocintle* de sus cápsulas, ésta se llevó a cabo en experimentos independientes, mediante el auxilio de dos instrumentos: un molcajete de piedra tradicional y un molino metálico de tracción manual. En esta fase participaron 6 personas (3 hombres y 3 mujeres), quienes, utilizando el mismo aparato y con base en su propio criterio, procedieron a roturar y a separar los frutos de *teocintle* de las estructuras (raquis y gluma) que de manera natural los envuelven.

Como consecuencia de lo anterior, el número de fases involucradas en los procesos conducente a la elaboración de las tortillas fue diferente. Así, para el caso en el que se utilizó un molcajete para la extracción de los frutos de *teocintle*, las fases fueron: 1. Selección y limpieza de los frutos, 2. Elaboración del nixtamal, 3. Lavado del nixtamal, 4. Acondicionamiento del nixtamal, 5. Manufacturación de las tortillas y 6. Cocción de las tortillas. En el caso en que los frutos de *teocintle* fueron extraídos mediante el empleo de un molino metálico las fases involucradas fueron: 1. selección y limpieza de los frutos, 2. elaboración del nixtamal, 3. lavado del nixtamal, 4. molido del nixtamal, 5. acondicionamiento de la masa, 6. manufacturación de las tortillas y 7. cocción de las mismas.

Considerando que la obtención de los datos indicados en esta parte de la investigación involucró la evaluación anual, durante tres años consecutivos, de los 4 procesos para la producción de las tortillas, por parte de 7 mujeres con cada uno de los 7 material utilizados en el presente estudio (propágulos y frutos de *teocintle* más los frutos correspondientes a 5 razas de maíz), fueron 588 el total de registros considerados en el análisis estadístico de la información pertinente a la manufactura de las tortillas.

La toma de datos para la evaluación de la calidad de consumo atribuida a las tortillas elaboradas de los experimentos anteriores se realizó en 3 ocasiones (una por año) con la participación de 50 personas de distinta edad y antecedentes culturales (25 hombres y 25 mujeres) considerados como catadores.

Los tiempos involucrados en cada una de las fases antes indicadas, fueron medidos mediante el auxilio de un cronómetro digital, registrándose para su análisis en SAS (Statistical Analysis System) su conversión a segundos, así como a horas, minutos y segundos, para una más fácil interpretación de los datos contenidos en los cuadros sinópticos presentados en el siguiente apartado de este trabajo.

La obtención de la información cuantitativa relativa a la evaluación sensorial de la calidad de las tortillas se efectuó mediante el diseño y aplicación del *formato para la calificación de la calidad de distintas formas de aprovechar el maíz en la alimentación humana*. Dicho documento, consistió en una hoja de papel en la que aparecen dibujadas siete líneas rectas horizontales (una por material) de veinte centímetros de longitud dividida de manera contigua en veinte partes proporcionales de un centímetro de largo, indicando de manera progresiva (centímetro a centímetro) los números: 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, y así sucesivamente hasta llegar al número 3. Una vez definidas las características de los formatos para la evaluación, los evaluadores involucrados en esta fase de la investigación, procedieron a pintar una marca con un lápiz en el punto que, para cada caso, consideraron conveniente para calificar la calidad de las tortillas consumidas. Los puntos extremos y el intermedio, es decir los números 1, 3 y 2, respectivamente, fueron enfatizados con negritas de tal forma que sirvieran de “guía” a la hora de calificar las tortillas elaboradas con los frutos de los distintos materiales evaluados, imprimiéndose sobre los mismos las leyendas: “aceptable”, “regular” y “excelente”, respectivamente.

Con base en lo antes expresado, el primer valor -indicado al lado izquierdo de dicha línea- fue el número uno y no el cero, pues se consideró que, si el evaluador en cuestión, decidía colocar una marca en algún punto de la línea referida (aún en el valor mínimo), ello significaría que la calidad atribuida al consumo de las estructuras vegetales en cuestión era *al menos aceptable para su consumo*, evitando de esta manera ambigüedades al respecto. En la parte central de la línea, se ubicó al número 2 y finalmente en el extremo derecho de la escala de evaluación se ubicó al número tres.

En relación con la evaluación organoléptica de las tortillas y considerando que no es lo mismo consumir alimentos con hambre, que sin ella,

conviene indicar que, en el presente estudio, todas las evaluaciones sensoriales fueron efectuadas alrededor de las once de la mañana, a la llamada hora del “taco”, de tal forma que, al no haber comido nada desde la noche anterior, la degustación de las distintas estructuras vegetales a evaluar no resultase sesgada por la percepción de los sabores u olores de otros alimentos, o bien por la sensación de un “estómago” sin hambre.

Para propiciar la mayor homogeneidad posible en la realización de las distintas etapas en que se dividió el proceso para la elaboración de las tortillas, las tres veces que se efectuó la toma de datos, fue el mismo conjunto de cuatro mujeres quienes elaboraron las tortillas. Para un mejor entendimiento y registro pormenorizado de la información, el proceso conducente a la obtención de las tortillas, se dividió en las siguientes fases:

1. Selección y limpieza de los frutos (“semillas”),
2. Elaboración del nixtamal,
3. Lavado del nixtamal,
4. Obtención de la masa,
5. Acondicionamiento de la masa en el metate,
6. Manufactura de las tortillas, y
7. Cocción de las tortillas.

Evaluación global de los procesos utilizados para la elaboración de las tortillas

Con el propósito de apreciar mejor las diferencias existentes entre los datos derivados de la evaluación de las distintas fases involucradas en los procesos utilizados para la elaboración de las tortillas, a partir de los distintos materiales de maíz y *teocintle* considerados en el presente estudio, en los siguientes cuadros se concentra la información pertinente tanto al proceso que involucró el uso de **nixtamal sin reposo** como la relativa al caso en que se utilizó el **nixtamal con reposo**.

Como se indicó con anterioridad, los datos referentes al proceso de selección y limpieza de los frutos de *teocintle* fueron obtenidos utilizando, en los primeros experimentos, un **molcajete** doméstico para la fragmentación de las estructuras envolventes (raquis+gluma), así como un **metate** para el acondicionamiento de las muestras de nixtamal empleando, en los siguientes experimentos se utilizó un **molino metálico** de accionamiento manual tanto para la ruptura de las cápsulas que envuelven a los frutos de *teocintle*, como para obtener las muestras de masa a partir de la molienda del nixtamal producido a partir de la cocción de los frutos de los materiales evaluados en este estudio.

Es importante considerar que, al no utilizarse en los primeros experimentos el molino manual que con frecuencia se usa en las zonas rurales de nuestro país para la obtención de la masa, el proceso conducente a la elaboración de las tortillas, con la tecnología antes descrita, involucró seis fases, a saber:

Fase 1: Selección y limpieza de los frutos

En el caso de las razas de maíz, esta fase consistió en la eliminación manual del llamado *totomoxtle* (brácteas) que cubre a las mazorcas, procediéndose enseguida al desgrane y selección manual de sus frutos. En el caso de las mazorquitas de *teocintle*, éstas (ya maduras) fueron colocándose sobre el metate en el que, manualmente y con la ayuda del *tejolote* se procedió a la roturación de las mismas para integrarlas después a las muestras (con y sin raquis) que serían utilizadas la elaboración del nixtamal; en todos los casos las muestras fueron de 500 g.

La selección y limpieza de los frutos de maíz constituye siempre el primer paso que la gente de campo ejecuta con mucho cuidado a fin de obtener tortillas de la mejor calidad posible. En el pueblo en el que se efectuó esta fase del presente trabajo, la gente acostumbra clasificar y separar sus mazorcas, según el uso al que habrán de destinarse las semillas, en tres grupos principales:

El primer grupo (cuantitativamente mayor) es el que incluye las mazorcas que, por su aspecto (mazorcas con granos blancos, sin daños ocasionados por plagas, o enfermedades) son seleccionadas para hacer las tortillas. En el caso de los campesinos de la comunidad de Ecatlán, el maíz que habrá de utilizarse para la manufactura de las tortillas, preferentemente involucra las mazorcas de la primera siembra (efectuada en diciembre o enero), producto del agroecosistema conocido como *tornamil*, en el cual -a diferencia de lo ocurrido en la segunda época de siembra (junio-julio) denominada en la zona como *chupamil*- las mazorcas son generalmente más grandes y sus semillas son menos dañadas por los insectos o enfermedades

El segundo grupo involucra mazorcas que, a simple vista, evidencian algún tipo de daño, ya sea por gusanos que atacaron en la parcela o bien por algunas plagas de almacén. Estas mazorcas se destinan a la alimentación del ganado solar, principalmente a las gallinas o bien a los puercos.

El tercer grupo (cuando lo hay) generalmente involucra mazorcas sanas, pero que al tener un menor número de hileras son desgranadas para vender o intercambiar sus granos.

Con base en lo anterior, las muestras de frutos correspondientes a las razas estudiadas en el presente trabajo fueron seleccionadas tomando en cuenta los criterios aplicados en la comunidad de Ecatlán, Puebla.

Dado que el aprovechamiento de los frutos maduros del *teocintle* requiere la previa eliminación de las estructuras (raquis + gluma) que envuelven a éstos, en la presente investigación se consideró pertinente la evaluación experimental de dos procedimientos conducentes a la eliminación de dichas estructuras. Los procedimientos seleccionados fueron: 1. Mediante el empleo de un molcajete doméstico, y 2. A través de un molino metálico accionado mediante una manivela.

La primera técnica fue seleccionada por considerar que, el principio básico del funcionamiento de un molcajete, pudo conseguirse con elementos tan comunes en la naturaleza como un par de piedras, siendo muy probable que ésta haya sido la tecnología más accesible a nuestros antepasados, durante la fase inicial de la domesticación de las poblaciones de *teocintle*. El segundo procedimiento se consideró de interés porque el tipo de molino involucrado en este experimento es el de uso más frecuente en la mayoría de las zonas rurales de México. De hecho, este mismo aparato se utilizó en otras evaluaciones efectuadas en el presente trabajo (v.g. el molido del nixtamal).

Una vez conseguida la fragmentación de las estructuras que envuelven a los frutos del *teocintle*, la separación de éstos de aquellas, se consiguió mediante dos acciones complementarias:

- a) Exponiendo dichos fragmentos a la acción de una ventilación natural
- b) Sometiéndolos a una corriente de aire artificial generada por un ventilador eléctrico de uso doméstico, siendo este último el procedimiento aplicado durante la evaluación experimental planteada en este caso, con el propósito de uniformizar hasta donde fue posible, los tiempos involucrados en la selección y limpieza de las muestras de *teocintle*. Para todas las muestras evaluadas, fue necesaria una separación manual de los residuos que no fue posible separar mediante la técnica antes descrita.

Fase 2: Elaboración del nixtamal

Los materiales utilizados en la elaboración del nixtamal fueron los siguientes:

- * Una olla de barro con capacidad de 3 litros,
- * Leña de chalahuite (*Inga leptoloba*), previamente secada al sol,
- * Agua del manantial existente en el pueblo (baja en sales),
- * Cal de piedra (abundante en la zona), y
- * Muestras integradas por 250 g de frutos de cada uno de los materiales a evaluar

Métodos utilizados para la elaboración de nixtamal

Dado que la señora María Esperanza del Carmen Bautista de Galindo (responsable del procedimiento a seguir para la elaboración del nixtamal) consideró que algunas de las muestras de los maíces a evaluar presentaban frutos de menor dureza, en comparación con los del maíz que ella y su familia siembran y acostumbran utilizar (como en el caso de la raza Cacahuacintle), o bien de un tamaño mucho menor (v.g. el caso del *teocintle*), en todos los casos, lo que hizo fue lo siguiente: tomó un poco de cal de piedra (4 cucharadas soperas por cada $\frac{1}{2}$ litro de maíz y 2 litros de agua), la cual disolvió, con su mano, en el agua contenida en un recipiente de calabaza con un volumen aproximado de un litro; una vez que ella consideró que la cal había sido disuelta suficientemente, la lejía la dejó reposar por unos 10 minutos, de tal modo que se asentara la mayor parte de la cal.

Una vez preparada la lejía, Doña Carmen la vertió hacia el interior de la olla de barro que contenía otro litro de agua, teniendo cuidado de vaciar sólo la

solución en la que la cal había quedado en suspensión; es decir, propiciando que el tequesquite demasiado grueso quedase asentado en el fondo del recipiente en el que se hizo la disolución.

Una vez hecho lo anterior, se colocó la olla sobre la lumbre o *tlecuil* (previamente preparada con leña de chalahuite^{4*}) puesta a arder sobre un fogón típico de la región. Una vez que la lejía comenzó a hervir, se retiró la olla de la lumbre, tomándola con las manos envueltas en un trapo húmedo. La olla se colocó sobre la mesa de la cocina y se procedió a verter inmediatamente, en ésta los frutos de la muestra de maíz a evaluar.

Realizado lo antes dicho, se dejó reposar la olla sobre la estufa pero fuera del alcance de la lumbre, sacando cada 15 segundos, con una cuchara de madera, muestras de los frutos para poder palpar con los dedos índice y pulgar, el grado de cocción y desprendimiento del “ollejo” (pericarpio) de los mismos; pues, como es bien sabido por parte de la gente de campo, si la cocción del nixtamal se pasa del calor necesario, la masa se hace “chiclosa”, imposibilitándose con ello la manufactura de las tortillas.

En el caso del nixtamal derivado del *teocintle*, el cual se obtuvo luego de permanecer sus frutos en el seno de la lejía (previa ebullición de ésta) durante un tiempo medio de 2 minutos con 45 segundos, se observó que; si bien el pericarpio podía desprenderse con facilidad (aspecto que en los maíces domesticados constituye el principal criterio, para determinar el grado deseado de cocción del nixtamal), la mayor parte de los frutos permanecían aún demasiado duros para molerse o masticarse sin problemas.

Ante el problema anterior, el equipo femenino que participó en los experimentos decidió dejar reposar el nixtamal durante toda la noche (con el fin de propiciar su reblandecimiento). Convencidos todos de la pertinencia del período de reposo sugerido, se procedió a elaborar las tortillas utilizando el nixtamal fresco recientemente obtenido, pero en seguida se procedió a la preparación de otras muestras de nixtamal, a partir de igual peso de frutos (250 g), para dejarlas en remojo durante toda la noche, haciendo lo mismo con las cinco razas de maíz a evaluar.

Como se indicó en líneas anteriores, algunas de las muestras de maíz involucradas en este estudio (Teocintle sin raquis, y Cacahuacintle) fueron sumergidas en la lejía después de que ésta había alcanzado su punto de ebullición, pues, según el criterio aplicado por la persona responsable de la elaboración del nixtamal (Doña Carmen Bautista), los frutos de estas razas fueron considerados de menor tamaño y dureza respectivamente, en comparación con los que ellos utilizan de manera cotidiana.

* En investigación previa realizada en la misma comunidad en la que se llevó a cabo el presente estudio, Hernández y López (1993) determinaron los siguientes datos para *Inga leptoloba* como parte de las evaluaciones calorimétricas relativas a las principales plantas utilizadas en el pueblo de Ecatlán, Pue. para la preparación del nixtamal: Peso específico aparente (Kg/m^3)=690; Cal/g =4487.60; Kcal/m^3 =3096; $\text{Lt de gasolina/m}^3$ =369.80. Especie que, por su poder calorífico, ocupa el cuarto lugar entre las 10 utilizadas con mayor frecuencia en dicho sitio.

Es conveniente tener en consideración que, con el propósito de efectuar una comparación estadística balanceada, al registrar los tiempos de preparación de nixtamal con los materiales antes mencionados, se les sumó el lapso (en segundos) que, en promedio, tardan en llegar a ebullición los 2000 mL de lejía calentados por leña de chalahuite (*Inga leptoloba* Schltl.), en la comunidad de Ecatlán, Pue., ubicada a una altitud media de 550 msnm.

Fase 3: Lavado del nixtamal

Una vez detectado el punto en el que el nixtamal quedó listo (lo cual como ya se indicó es juzgado por la percepción al tacto del grado de desprendimiento del pericarpio), se dejó enfriar unos minutos, se tiró el agua de lejía de la olla de barro en que se preparó el nixtamal; en seguida se agregó un poco de agua limpia y fría; al mismo tiempo, tallando los frutos ligeramente con las manos procurando eliminar la mayor parte de la cal que pudo haber quedado impregnada en los frutos, lo cual es importante, pues en opinión de la gente del pueblo de Ecatlán, a mayor eliminación de la cal, mayor blancura de la masa y tortillas resultantes.

El lavado del nixtamal se llevó a cabo en forma idéntica a la realizada por la gente de la comunidad de Ecatlán, Puebla, es decir, utilizando una palangana de madera sobre la cual se deposita el nixtamal previamente drenado (el nejayote a veces se utiliza para cocer los fragmentos de tortillas que se dan de comer a los guajolotes y gallinas), procediéndose después a su lavado cuidadoso con agua traída del manantial del pueblo.

Fase 4: Elaboración de la masa: molido del nixtamal

Como se indicó con anterioridad, con el propósito de utilizar los instrumentos más sencillos posibles, en la primera evaluación global del proceso para la elaboración de las tortillas que se efectuó en el presente trabajo, se omitió el empleo del molino metálico de accionamiento manual, sustituyéndolo por un metate. Siendo la evaluación del uso del citado instrumento una parte de especial importancia en la presente investigación, se tuvo especial cuidado en medir tanto los periodos involucrados en la molienda del nixtamal directamente sobre el metate, como el número de veces que, en cada caso, fue necesario retornar las muestras de masa a la cabecera del mismo para dejar a éstas con la textura adecuada para la manufactura de las tortillas.

En esta fase y con el propósito de tener una cuantificación del trabajo invertido en la obtención de la masa a partir de los dos tipos de nixtamal obtenidos a) sin reposo y b) con reposo, se procedió –cuando se utilizó el molino de accionamiento manual- a contabilizar el número de vueltas que fue necesario darle a dicho aparato, así como el tiempo que dicha operación requirió, al ser realizada por cada una de las cuatro personas participantes en la elaboración de muestras de masa. Los materiales utilizados para la elaboración de las muestras de masa fueron los siguientes:

* Muestras de Nixtamal (derivadas de 250 g de frutos por material en cada repetición),

* Molino metálico de accionamiento manual (el que se utilizó en el presente estudio es de la marca "torito", el cual según la opinión de la gente es el más duradero). Dicho molino se coloca firmemente a una base generalmente elaborada de madera resistente (v.g. del árbol conocido en la comunidad de Ecatlán, como *Lakaxkiu*), anclada en el suelo a una altura conveniente para que la persona responsable de la molienda pueda accionarlo con eficiencia. Figura 2.



Figura 2. Don Benjamín Alindo, ajustando el molino de su cocina para la elaboración de las tortillas.

* Bandeja para la recepción de la masa (generalmente ésta es de madera de cedro rojo y forma rectangular de aproximadamente 20 x 30 x 8 cm).

* Agua. Se utiliza en caso de que el nixtamal se haya resecado y sólo se usa un poco, para propiciar que los granos nixtamalizados fluyan convenientemente a través del tornillo sin fin ubicado en el interior del molino.

Con el propósito de contrastar las posibles diferencias derivadas del reposo del nixtamal en cuanto al posible ahorro de tiempo para la realización de las demás fases del proceso de elaboración de las tortillas, en el presente estudio se consideró conveniente la obtención de datos pertinentes al uso de muestras de nixtamal sin reposo y de muestras de nixtamal reposado durante 12 horas.

Conviene indicar que, para propiciar la reducción de probables sesgos estadísticos: a) en todos los casos fueron las mismas personas (cuatro) las responsables de realizar la molienda del nixtamal en el molino manual, b) se cronometraron los periodos (segundos) involucrados en la molienda de cada muestra, tomándose en cada caso la media de los datos proporcionados por dos personas responsables del uso de los cronómetros y c) se cuantificó el número de vueltas dadas al molino para la obtención de la masas derivada de cada muestra de nixtamal.

Evaluación del esfuerzo involucrado en la obtención de las muestras de masa a partir de nixtamal con y sin reposo

La evaluación del esfuerzo involucrado en la obtención de las muestras de masa a partir de nixtamal con y sin reposo se efectuó de dos maneras: 1. Mensurando los tiempos invertidos en el la molienda de las muestras de nixtamal en el aparato indicado y 2. Contando el número de vueltas que fue necesario dar al molino en cada caso.

Elaboración de masa a partir de nixtamal con reposo

Apenas hubo suficiente luz al día siguiente, doña Carmen Bautista nos despertó con el ruido que hacía en la cocina al acomodar la leña con la que habrían de elaborarse las tortillas. Una vez lavado el nixtamal con agua fría, procurando el desprendimiento manual de los llamados hollejos, y atizado el *tlecuil*, se procedió a la molienda manual del nixtamal, que había permanecido en reposo durante toda la noche, para la obtención de las muestras de masa que habrían de evaluarse a lo largo de ese día.

Igual que en el caso anterior, con el fin de contrastar las posibles diferencias derivadas de haber dejado en reposo las muestras de nixtamal obtenidas con los distintos tipos de maíz, así como con los granos de *teocintle*, con y sin raquis, además de la mensuración del tiempo involucrado en la molienda manual de éstas, también se cuantificó el número de vueltas que en cada caso se necesitó.

Fase 5: Acondicionamiento de la masa en el metate

Después de obtener la masa en el molino de mano, el siguiente paso, para la elaboración de las tortillas, consistió en pasar la masa por el metate hasta lograr que ésta adquiriese la textura adecuada para poder moldearla entre las manos, actividad que la gente de campo de la región conoce como “dejar a punto” la masa.

El metate empleado en esta actividad es de un tamaño mediano (60 x 40 cm), de piedra negra maciza, recientemente “cicatrizado” con una especie de cincel metálico conocido en totonaco como “*Li talam*”, operación que se realiza con tanta frecuencia como sea necesario con el fin de evitar que la superficie del metate quede lisa dificultando con ello la realización del trabajo en cuestión. Un aspecto muy importante en la preparación de la masa para propiciar que adquiera la consistencia adecuada para su manejo entre las manos, consiste en desarrollar un tacto muy fino en la palma de las manos a fin de detectar el grado de humedad y textura que debe poseer la masa antes de proceder a moldearla con las palmas de las manos, habilidad que se genera sólo con la experiencia acumulada a través de muchos años de hacer tortillas. Figura 3.



Figura 3. Doña Carmen Bautista de Galindo durante el acondicionamiento de una muestra de masa de teocintle.

Fase 6: Manufactura

Igual que en las fases anteriores, la evaluación de la manufactura de las tortillas se llevó a cabo a partir de la utilización de dos variantes de nixtamal; con y sin reposo, participando en esta actividad las mismas mujeres que realizaron el resto de las fases de los procesos para la elaboración de las tortillas.

En esta fase, además de registrar los tiempos necesarios para el moldeo de la masa con las manos de las mujeres que nos auxiliaron en este experimento, se consideró de interés contar el número de golpes o “aplausos” que, en cada caso, se requirió para la manufactura de las tortillas.

Fase 7: Cocción de las tortillas en comal de barro

Con el fin de apegarse, lo más posible, a la tecnología aplicada por la gente del ámbito rural de México para la elaboración de las tortillas, el cocimiento de las mismas se llevó a cabo en un comal de barro calentado con leña de la especie anteriormente indicada. Los periodos fueron contabilizados entre el momento en que las tortillas establecían contacto con el comal y el momento de retirarlas del mismo, independientemente de las veces que las señoras las voltearan para propiciar su cocimiento homogéneo sobre el comal de barro.

Resultados y Discusión

Determinación de algunas características relacionadas con el proceso de nixtamalización de los frutos de las razas de maíz evaluadas.

Con el propósito de obtener información cuantitativa que hiciese posible una evaluación más objetiva de la eficiencia pertinente a la aplicación de cada uno de los cuatro procesos para la elaboración de las tortillas considerados en la presente investigación, con la valiosa asesoría de la Dra. Griselda Vázquez Carrillo (Directora del laboratorio de maíz del INIFAP), fueron mensuradas cinco variables propias de los frutos de maíz, así como doce variables relacionadas con la utilización de los mismos en los procesos antes referidos. Los datos obtenidos se indican en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Principales características físicas de frutos correspondientes a las cinco razas de maíz involucradas en el presente estudio

Material	Peso hectolítrico ¹
Palomero toluqueño	80.26 a
Chalqueño	79.73 a
Tuxpeño	77.50 b
Cónico	77.23 b
Cacahuacintle	62.93 c
C.V. = 1.00	D.M.S. = 2.13
Material	Color del fruto ²
Cacahuacintle	76.06 a
Cónico	68.50 b
Tuxpeño	67.80 b
Chalqueño	65.33 c
Palomero toluqueño	61.43 d
C.V. = 0.97	D.M.S. = 1.85
Material	Grosor del pericarpio ³ (μ)
Tuxpeño	112.13 a
Chalqueño	98.60 a b
Cacahuacintle	87.20 a b
Palomero toluqueño	87.20 b c
Cónico	74.26 c
C.V. = 7.40	D.M.S. = 19.20
Material	Índice de flotación ⁴
Cacahuacintle	100.00 a
Tuxpeño	59.33 b
Cónico	54.66 b
Chalqueño	36.00 c
Palomero toluqueño	11.66 d
C.V. = 3.78	D.M.S. = 5.59
Material	Porcentaje de pericarpio ⁵
Palomero toluqueño	6.10 a
Tuxpeño	5.60 a b
Chalqueño	5.00 b c
Cónico	4.66 c d
Cacahuacintle	4.10 d
C.V. = 5.61	D.M.S. = 0.80

1. Efectuado en una báscula *Ohaus*, utilizando en todos los casos el recipiente de 1 Kg.

2. La determinación cuantitativa del color del fruto se realizó mediante el aparato conocido como *Hunter-Lab*.

3. Los datos se obtuvieron utilizando un micrómetro manual con indicador al tacto de presión máxima

4. Los porcentajes indicados fueron calculados en relación al peso total del fruto.

5. Para la determinación del Índice de flotación se utilizó la técnica descrita por Wichser (1961), empleando una solución de NaNO_3 ajustada para dar una densidad de 1.250 (± 0.001) medida con picnómetro a 22° C

Cuadro 2. Datos correspondientes a algunas de las variables consideradas de mayor importancia por su influencia en la eficiencia con que se efectúan los procesos para la elaboración de las tortillas, así como en la calidad de las mismas.

Material	Tiempo de nixtamalización (minutos)	Material	Peso de la tortilla caliente (g)
Palomero toluqueño	43.33 a	Cónico	152.60 a
Chalqueño	40.00 a	Tuxpeño	149.76 a
Tuxpeño	35.00 b	Palomero toluqueño	144.40 a
Cónico	35.00 b	Cacahuacintle	137.23 a
Cacahuacintle	25.00 c	Chalqueño	137.03 a
Datos estadísticos	C. V. = 3.61 D.M.S. = 3.64	C. V. = 5.01	D.M.S. = 20.39
Material	Volumen del nejayote (mL)	Material	Peso de la tortilla fría (g)
Tuxpeño	102.33 a	Tuxpeño	140.53 a
Chalqueño	97.16 a b	Palomero toluqueño	138.56 a
Cónico	93.66 a b	Cónico	136.56 a
Cacahuacintle	92.16 b	Chalqueño	135.40 a
Palomero toluqueño	68.83 c	Cacahuacintle	130.56 a
Datos estadísticos	C. V. = 3.82 D.M.S. = 9.80	Datos estadísticos	C. V. = 2.82 D.M.S. = 10.88
Material	Peso del nixtamal húmedo (g)	Material	Sólidos
Palomero toluqueño	201.03 a	Palomero toluqueño	5.33 a
Cónico	190.76 b	Cacahuacintle	4.04 b
Tuxpeño	186.70 b c	Chalqueño	3.86 b
Chalqueño	185.96 b c	Cónico	3.84 b
Cacahuacintle	183.93 c	Tuxpeño	3.68 b
Datos estadísticos	C. V. = 1.12 D.M.S. = 5.99	Datos estadísticos	C. V. = 5.05 D.M.S. = 0.59
Material	Peso del nixtamal seco (g)	Material	Humedad del nixtamal (%)
Palomero toluqueño	182.80 a	Palomero toluqueño	46.56 a
Tuxpeño	174.43 b	Tuxpeño	43.23 b
Chalqueño	174.40 b	Cacahuacintle	43.20 b
Cónico	172.70 b	Cónico	43.16 b
Cacahuacintle	172.03 b	Chalqueño	43.10 b
Datos estadísticos	C. V. = 1.45 D.M.S. = 7.17	Datos estadísticos	C. V. = 2.04 D.M.S. = 2.52
Material	Peso de la masa sin acondicionar (g)	Material	Humedad de la masa (%)
Palomero toluqueño	195.53 a	Palomero toluqueño	59.80 a
Tuxpeño	190.46 a	Tuxpeño	58.43 b
Cónico	187.70 a	Chalqueño	58.10 b
Cacahuacintle	182.93 a	Cacahuacintle	57.76 b
Chalqueño	182.30 a	Cónico	57.53 b
Datos estadísticos	C. V. = 2.78 D.M.S. = 14.73	Datos estadísticos	C. V. = 0.74 D.M.S. = 1.23
Material	Peso de la masa acondicionada (g)	Material	Humedad de la tortilla (%)
Palomero toluqueño	210.10 a	Palomero toluqueño	42.33 a
Tuxpeño	206.96 a	Tuxpeño	42.10 a
Cónico	202.00 a	Chalqueño	41.30 a
Chalqueño	199.36 a	Cónico	40.23 a
Cacahuacintle	195.93 a	Cacahuacintle	39.80 a
Datos estadísticos	C. V. = 2.72 D.M.S. = 15.59	Datos estadísticos	C. V. = 2.48 D.M.S. = 2.88

* Todos los datos contenidos en este Cuadro fueron obtenidos en el Laboratorio Nacional de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (INIFAP - Chapingo, México) (la información contenida en el cuadro corresponde a la evaluación de tres muestras (r1, r2 y r3) de nixtamal, masas y tortillas elaboradas a partir de los frutos de las cinco razas de maíz domesticado involucradas en el presente estudio

De acuerdo con Pomeranz *et al.*, (1984 y 1986), el *peso hectolítrico* –entre otras variables- constituye un método indirecto para determinar la dureza de los frutos de maíz, ya que dicha característica se encuentra correlacionada con el llamado *índice de flotación* (también considerado en esta investigación), atributo que es aceptado como un índice de dureza para el comercio de granos de esta especie en los Estados Unidos de América. En concordancia con lo anterior, en el Cuadro 1, se puede cotejar que, los frutos de la raza Palomero toluqueño registraron, concomitantemente, el peso hectolitrito mayor (80.1 en promedio) y el menor índice de flotación (11 en promedio). Desde un punto de vista práctico, podría decirse que; puesto que a mayor dureza de los frutos de maíz, es mayor el tiempo necesario para su nixtamalización, los maíces duros requerirán mayor energía calorífica para la elaboración de tortillas, situación que pudiera ser desventajosa en términos económicos. Sin embargo, desde un punto de vista cultural, es importante tener en cuenta que algunas personas consideran que las mejores tortillas se elaboran precisamente con los maíces duros.

Respecto al color de los frutos de los maíces estudiados, es interesante considerar los datos reportados por Vázquez (1998), quien indica que “La elasticidad de las tortillas correlaciona con los genotipos de color más blanco ($r = 0.34$), los cuales retienen menos pericarpio después de la nixtamalización ($r = -0.55$)”.

De particular interés para la presente investigación es el porcentaje de pericarpio registrado para la raza Palomero toluqueño (6.29), ya que, en opinión de la Dra Vázquez, esta característica está significativamente correlacionada con el potencial de expansión de los frutos de maíz para formar palomitas.

En cuanto al desprendimiento del pericarpio, es muy importante para el lector del presente trabajo tener en consideración que, de acuerdo con varios investigadores (Serna-Saldivar *et al.*, 1991 y Bazúa *et al.*, 1978, entre otros), “el desprendimiento del pericarpio constituye el principal criterio para suspender el cocimiento del maíz a nixtamalizar”.

Resultados pertinentes a la selección y limpieza de los frutos: El caso del teocintle

Los datos obtenidos en esta fase de la investigación se muestran en el Cuadro 3, cuya correcta interpretación debe considerar que, en el caso de las muestras de esta especie silvestre, fue necesario utilizar 850 g de propágulos por repetición, debido a que, en promedio, por cada 100 g de dichas estructuras, es decir de los frutos con todo y el raquis y la gluma que los envuelve, se obtiene en promedio, alrededor de 30 g de cariósides limpios. Por otra parte, respecto a la información proporcionada en el Cuadro antes indicado, es importante tener presente que, la ruptura de las cápsulas envoltoras se realizó –cuando así se decidió hacerlo- mediante el empleo de dos aparatos frecuentemente encontrados en las cocinas tradicionales de las áreas rurales de México:

1. Un molcajete tradicional (construido con piedra porosa) y
2. Un molino metálico accionado mediante una manivela.

El cálculo del tiempo involucrado en la selección y limpieza de propágulos sin eliminar el raquis se hizo de modo independiente a los casos en que sí se efectuó esta operación.

Cuadro 3. Medias del tiempo invertido en la selección y limpieza de muestras de 850 g de propágulos de teocintle anual para obtener 250 g *de frutos limpios.(sin raquis)

Material	Tiempo (horas:minutos:segundos)
Teocintle anual (propágulos)	
Eliminando el raquis con molcajete	19:50:09 a
Eliminando el raquis con molino	09:29:52 b
Sin eliminar el raquis**	00:50:13. . . c
CV (%) = 5.29	
DMS (5%) = 1801.70 segundos	

Como puede observarse en el cuadro anterior, el tiempo necesario para la eliminación de las cápsulas que envuelven a los frutos verdaderos o cariósides de *teocintle*, es realmente considerable, llegando a requerirse hasta 20 horas para efectuar la limpieza de una muestra como las consideradas en esta investigación.

No obstante lo anterior, desde la perspectiva del entendimiento de los móviles que probablemente condujeron a nuestros antepasados a la domesticación de esta especie silvestre, es importante considerar que, además de la factibilidad de consumir sus frutos de muy diversas maneras, en contraste con otras estructuras vegetales, éstos no son tan perecederos, pudiendo transportarse sin que se descompongan durante varios meses, sobre todo si ello se efectúa con todo y las estructuras envolventes indicadas.

Con base en lo anterior, podemos afirmar que, si bien es cierto que la presencia de las cápsulas que envuelven a los frutos del *teocintle* constituye un problema que dificulta su consumo, ya que la eliminación manual de dichas estructuras demanda mucho tiempo, por otra parte, esa misma estructura endurecida pudo haber representado –al menos al inicio de su domesticación– una enorme ventaja, ya que además de incrementar la dispersión natural de la especie, amplió considerablemente el tiempo de conservación de los frutos contenidos en su interior en condiciones de ser consumidos por el hombre.

Además de lo dicho previamente, en relación con la fase inicial del proceso de selección bajo domesticación de los recursos vegetales, es importante tener en cuenta al maestro Hernández X., quien al respecto opinaba que:⁵ “al tratar de entender las decisiones que tomaron nuestros antepasados con relación a la definición de sus estrategias de sobrevivencia iniciales, hay que considerar que; la gente de aquella época, no vivía con las prisas y tensiones sociales características de la actualidad, es decir, disponían del tiempo necesario para obtener, preparar y consumir con calma sus alimentos, lapsos que, seguramente, propiciaron el intercambio de ideas y experiencias respecto al aprovechamiento del mundo vegetal en general y en particular del

⁵ Comunicación personal. Diciembre de 1990

teocintle, especie que, al ser finalmente domesticada, llegó a adquirir una importancia trascendental en varias de las culturas mesoamericanas”.

En relación con los periodos requeridos para efectuar la selección y limpieza de los frutos correspondientes a las razas de maíz evaluadas en el presente trabajo, los datos se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Medias del tiempo invertido en la selección y limpieza de muestras de 250 g de frutos correspondientes a las cinco razas de maíz evaluadas.

Raza de maíz	Tiempo (horas:minutos:segundos)*
Palomero Toluqueño	00:04:02 a
Chalqueño	00:03:30 b
Cónico	00:03:11 c
Tuxpeño	00:02:53 d
Cacahuacintle	00:02:38 e
C V (%) = 5.20 DMS (5%) = 145.29 segundos	

* Datos calculados con base en la realización de cinco repeticiones efectuadas por cuatro personas. La preparación de 250 g de frutos de *teocintle* sin raquis involucró la selección y limpieza de muestras con un peso medio de 850 g de frutos con caquis, es decir de propágulos.

Es interesante notar que, si bien es cierto que las mazorcas de la raza Palomero Toluqueño son mucho más chicas en promedio que las correspondientes al resto de las razas consideradas en este trabajo, también son las que contienen el mayor número de frutos por mazorca.

Síntesis de los datos obtenidos durante la evaluación de los cuatro procesos seleccionados para la elaboración de las tortillas.

Una síntesis de la información cuantitativa obtenida al preparar las tortillas utilizando un molcajete para romper las cápsulas duras que envuelven a los frutos de *teocintles*, así como para obtener las muestras de masa a partir de los dos tipos de nixtamal; con y sin reposo, empleados en la presente investigación, aparece en los Cuadros 5 y 6 respectivamente.

Los datos obtenidos en los experimentos pertinentes a la preparación de tortillas, utilizando un molino metálico de accionamiento manual para la extracción de los frutos de *teocintle*, así como muestras de nixtamal sin reposo, se muestran en el Cuadro 7; en tanto que en el Cuadro 8 se indican los datos relativos al mismo proceso, pero utilizando, además del molino antes mencionado, muestras de nixtamal a las que previamente se les dejó reposar 12 hr.

Finalmente y con el propósito de resumir las diferencias en tiempo involucradas en la elaboración de las tortillas, al utilizar nixtamal reposado en contraste con el que no experimentó ningún periodo de reposo, en los Cuadros 9 y 10 se muestran los datos pertinentes a las *diferencias absolutas* entre los tiempos resultantes de utilizar los distintos frutos de los maíces estudiados en

cada una de las fases en que se dividió cada proceso; dichas diferencias se expresan primero en *segundos menos* y posteriormente en *horas:minutos y segundos menos*. Asimismo en el Cuadro 9 se indican las mismas diferencias pero de manera porcentual, es decir, las *diferencias relativas*.

Cuadro 5. Medias de los periodos* (horas, minutos y segundos) requeridos para la realización de las diferentes fases involucradas en la manufactura de 25 tortillas, utilizando **nixtamal sin reposo** elaborado con frutos de teocintle anual, con y sin raquis (filas superiores), así como con frutos correspondientes a cinco razas de maíz (filas inferiores). Para romper las cubiertas de los teocintles en estos experimentos se utilizó un **molcajete** doméstico con su respectivo tejolote de piedra.

Tiempo (hr:min:seg) requerido para:													
Raza	Seleccionar y	Raza	Elaborar	Raza	Lavar	Raza	Acondicionar	Raza	Manufacturar	Raza	Cocer tortillas en	Raza	Total
	limpiar frutos		nixtamal		nixtamal		nixtamal en metate		tortillas		comal de barro		
Teocintle sr	20:08:25 a	Teocintle cr	12:19:30 a.m.	Teocintle cr	12:02:56 a.m.	Teocintle cr	01:11:38 a.m.	Teocintle cr	01:24:54 a.m.	Teocintle cr	01:47:26 a.m.	Teocintle sr	23:33:01 a
Teocintle cr	00:50:13 b	Teocintle sr	00:08:35 b	Teocintle sr	00:01:33 b	Teocintle sr	00:57:19 b	Teocintle sr	00:58:23 b	Teocintle sr	01:18:46 b	Teocintle cr	05:36:37 b
Datos	C.V. = 2		C.V. = 6		C.V. = 7		C.V. = 2		C.V. = 6		C.V. = 6		C.V. = 2
Estadísticos	D.M.S. = 402		D.M.S. = 29		D.M.S. = 5		D.M.S. = 53		D.M.S. = 150		D.M.S. = 182		D.M.S. = 393
Palomero t	12:04:02 a.m.	Chalqueño	12:10:58 a.m.	Palomero t	12:02:34 a.m.	Palomero t	12:29:46 a.m.	Chalqueño	12:52:27 a.m.	Chalqueño	12:56:42 a.m.	Chalqueño	02:31:34 a.m.
Chalqueño	00:03:30 b	Palomero t	00:10:37 b	Chalqueño	00:02:04 b	Chalqueño	00:25:53 b	Palomero t	12:48:19 a.m.	Palomero t	00:47:25 b	Palomero t	02:22:43 b
Cónico	00:03:11 c	Cónico	00:09:53 c	Cónico	00:01:54 c	Cónico	00:23:41 c	Cónico	00:42:17 b	Cónico	00:44:17 b	Cónico	02:07:25 c
Tuxpeño	00:02:53 d	Tuxpeño	00:09:42 d	Tuxpeño	00:01:52 c	Tuxpeño	00:22:48 c	Tuxpeño	00:38:29 b c	Tuxpeño	00:39:44 c	Tuxpeño	01:55:28 d
Cacahuacintle	00:02:38 e	Cacahuacintle	00:08:49 e	Cacahuacintle	00:01:41 d	Cacahuacintle	00:17:09 d	Cacahuacintle	00:36:47 c	Cacahuacintle	00:37:52 c	Cacahuacintle	01:44:56 e
Datos	C.V. = 5		C.V. = 2		C.V. = 7		C.V. = 5		C.V. = 13		C.V. = 10		C.V. = 5
Estadísticos	D.M.S. = 8		D.M.S. = 9		D.M.S. = 6		D.M.S. = 64		D.M.S. = 277		D.M.S. = 223		D.M.S. = 303

Cuadro 6. Medias de los periodos* (horas, minutos y segundos) requeridos para la realización de las diferentes fases involucradas en la manufactura de 25 tortillas utilizando **nixtamal con reposo** elaborado con frutos de *teocintle* anual con y sin raquis (filas superiores), así como con frutos correspondientes a cinco razas de maíz (filas inferiores). Para romper las cubiertas de los *teocintles* en estos experimentos se utilizó un **molcajete** doméstico con su respectivo tejolote de piedra.

Tiempo (hr:min:seg) requerido para:													
Raza	Seleccionar y	Raza	Elaborar	Raza	Lavar	Raza	Acondicionar	Raza	Manufacturar	Raza	Cocer tortillas en	Raza	Total
	limpiar frutos		nixtamal		nixtamal		nixtamal en metate		tortillas		comal de barro		
Teocintle sr	20:08:25 a	Teocintle cr	12:19:30 a.m.	Teocintle cr	12:02:19 a.m.	Teocintle cr	01:06:27 a.m.	Teocintle cr	01:18:46 a.m.	Teocintle cr	12:58:42 a.m.	Teocintle sr	22:27:41 a
Teocintle cr	00:50:13 b	Teocintle sr	00:08:35 b	Teocintle sr	00:01:18 b	Teocintle sr	00:47:23 b	Teocintle sr	00:37:31 b	Teocintle sr	00:44:29 b	Teocintle cr	04:35:57 b
Datos	C.V. = 2		C.V. = 6		C.V. = 7		C.V. = 2		C.V. = 3		C.V. = 7		C.V. = 2
Estadísticos	D.M.S. = 402		D.M.S. = 29		D.M.S. = 4		D.M.S. = 29		D.M.S. = 58		D.M.S. = 118		D.M.S. = 337
Palomero t	12:04:02 a.m.	Chalqueño	12:10:58 a.m.	Palomero t	12:01:51 a.m.	Chalqueño	12:24:43 a.m.	Chalqueño	12:35:21 a.m.	Chalqueño	12:41:18 a.m.	Chalqueño	01:57:26 a.m.
Chalqueño	00:03:30 b	Palomero t	00:10:37 b	Chalqueño	00:01:36 b	Palomero t	12:24:15 a.m.	Palomero t	00:33:29 b	Palomero t	00:38:15 b	Palomero t	01:52:29 b
Cónico	00:03:11 c	Cónico	00:09:53 c	Cónico	00:01:33 bc	Cónico	00:22:36 b	Cónico	00:32:14 c	Cónico	00:36:23 bc	Cónico	01:45:50 c
Tuxpeño	00:02:53 d	Tuxpeño	00:09:42 d	Tuxpeño	00:01:32 c	Tuxpeño	00:15:36 c	Tuxpeño	00:30:45 d	Tuxpeño	00:35:05 c	Tuxpeño	01:35:33 d
Cacahuacintle	00:02:38 e	Cacahuacintle	00:08:49 e	Cacahuacintle	00:01:21 d	Cacahuacintle	00:13:58 d	Cacahuacintle	00:27:36 e	Cacahuacintle	00:30:14 d	Cacahuacintle	01:24:36 e
Datos	C.V. = 5		C.V. = 2		C.V. = 5		C.V. = 8		C.V. = 3		C.V. = 9		C.V. = 2
Estadísticos	D.M.S. = 8		D.M.S. = 9		D.M.S. = 3		D.M.S. = 72		D.M.S. = 53		D.M.S. = 156		D.M.S. = 111

Nota: Las D.M.S. se refieren a segundos

* Las cifras indicadas en cada celda corresponden a la media de los periodos registrados por cinco personas al efectuar cada una de las fases en que se dividió el proceso conducente a la elaboración de las tortillas, mismo que fue repetido cinco veces.

Cuadro 7. Medias de los periodos* (horas, minutos y segundos) requeridos para la realización de las diferentes fases involucradas en la manufactura de 25 tortillas, a partir de **nixtamal sin reposo** elaborado con frutos de cinco razas de maíz y una de teocintle anual (con y sin raquis). Para romper las cubiertas de los teocintles en estos experimentos se utilizó un **molino metálico accionado mediante una manivela**.

Tiempo (hr:min:seg) requerido para:															
Raza	Seleccionar y limpiar frutos	Raza	Elaborar	Raza	Lavar nixtamal	Raza	Moler	Raza	Acondicionar	Raza	Manufacturar	Raza	Cocer tortillas en comal de barro	Raza	Total
			nixtamal				nixtamal en metate		tortillas						
Teocintle sr	09:28:07 a.m.	Teocintle cr	12:19:32 a.m.	Teocintle cr	12:02:31 a.m.	Teocintle cr	12:08:16 a.m.	Teocintle cr	12:19:55 a.m.	Teocintle cr	12:54:44 a.m.	Teocintle cr	12:51:37 a.m.	Teocintle sr	11:06:15 a.m.
Teocintle cr	00:51:24 b	Teocintle sr	00:08:30 b	Teocintle sr	00:01:25 b	Teocintle sr	00:01:59 b	Teocintle sr	00:10:38 b	Teocintle sr	00:35:49 b	Teocintle sr	00:37:25 b	Teocintle cr	03:25:11 b
Dabs	C.V. = 4		C.V. = 3		C.V. = 6		C.V. = 7		C.V. = 7		C.V. = 3		C.V. = 3		C.V. = 3
Estadísticos	D.M.S. = 468		D.M.S. = 16		D.M.S. = 4		D.M.S. = 12		D.M.S. = 37		D.M.S. = 45		D.M.S. = 42		D.M.S. = 468
Palomero t	12:04:02 a.m.	Chalqueño	12:10:56 a.m.	Palomero t	12:02:13 a.m.	Chalqueño	12:05:07 a.m.	Chalqueño	00:11:27 b	Chalqueño	12:37:25 a.m.	Chalqueño	12:36:41 a.m.	Chalqueño	01:46:38 a.m.
Chalqueño	00:03:31 b	Palomero t	00:10:31 b	Chalqueño	12:02:10 a.m.	Palomero t	00:04:28 b	Palomero t	00:09:21 b	Palomero t	00:33:22 b	Palomero t	00:35:15 b	Palomero t	01:39:14 b
Cónico	00:03:14 c	Cónico	00:09:54 c	Cónico	00:01:57 b	Tuxpeño	00:03:36 c	Cónico	00:08:53 b c	Cónico	00:32:29 b	Cónico	00:34:12 c	Cónico	01:33:27 c
Tuxpeño	00:02:54 d	Tuxpeño	00:09:39 d	Tuxpeño	00:01:48 b	Cónico	00:03:21 c	Tuxpeño	00:08:43 c	Tuxpeño	00:31:08 c	Tuxpeño	00:33:37 c	Tuxpeño	01:30:04 d
Cacahuacintle	00:02:39 e	Cacahuacintle	00:08:50 e	Cacahuacintle	00:01:31 c	Cacahuacintle	00:02:50 d	Cacahuacintle	00:07:28 d	Cacahuacintle	00:27:36 d	Cacahuacintle	00:31:50 d	Cacahuacintle	01:22:18 e
Dabs	C.V. = 7		C.V. = 2		C.V. = 7		C.V. = 10		C.V. = 8		C.V. = 5		C.V. = 3		C.V. = 3
Estadísticos	D.M.S. = 11		D.M.S. = 9		D.M.S. = 5		D.M.S. = 19		D.M.S. = 38		D.M.S. = 68		D.M.S. = 42		D.M.S. = 116

Cuadro 8. Medias de los periodos (horas, minutos y segundos) requeridos para la realización de las diferentes fases involucradas en la manufactura de 25 tortillas, a partir de **nixtamal con reposo** elaborado con frutos de cinco razas de maíz y una de teocintle anual (con y sin raquis). Para romper las cubiertas de los teocintles en estos experimentos se utilizó un **molino metálico de tracción manual**.

Tiempo (hr:min:seg) requerido para:															
Raza	Seleccionar y limpiar frutos	Raza	Elaborar	Raza	Lavar nixtamal	Raza	Moler	Raza	Acondicionar	Raza	Manufacturar	Raza	Cocer tortillas en comal de barro	Raza	Total
			nixtamal				nixtamal en metate		tortillas						
Teocintle sr	09:28:07 a.m.	Teocintle cr	12:19:32 a.m.	Teocintle cr	12:02:18 a.m.	Teocintle cr	12:07:57 a.m.	Teocintle cr	12:18:16 a.m.	Teocintle cr	12:52:58 a.m.	Teocintle cr	12:50:13 a.m.	Teocintle sr	11:01:09 a.m.
Teocintle cr	00:51:24 b	Teocintle sr	00:08:30 b	Teocintle sr	00:01:18 b	Teocintle sr	00:01:49 b	Teocintle sr	00:09:50 b	Teocintle sr	00:34:27 b	Teocintle sr	00:36:06 b	Teocintle cr	03:21:42 b
Dabs	C.V. = 4		C.V. = 3		C.V. = 5		C.V. = 9		C.V. = 8		C.V. = 3		C.V. = 3		C.V. = 3
Estadísticos	D.M.S. = 468		D.M.S. = 16		D.M.S. = 3		D.M.S. = 15		D.M.S. = 38		D.M.S. = 40		D.M.S. = 41		D.M.S. = 468
Palomero t	12:04:02 a.m.	Chalqueño	12:10:56 a.m.	Palomero t	12:01:50 a.m.	Chalqueño	12:04:53 a.m.	Chalqueño	12:10:36 a.m.	Chalqueño	12:35:12 a.m.	Chalqueño	12:35:04 a.m.	Chalqueño	01:41:45 a.m.
Chalqueño	00:03:31 b	Palomero t	00:10:31 b	Cónico	00:01:39 b	Palomero t	00:04:16 b	Palomero t	00:09:05 b	Palomero t	00:32:05 b	Palomero t	00:31:51 b	Palomero t	01:33:44 b
Cónico	00:03:14 c	Cónico	00:09:54 c	Tuxpeño	00:01:33 c	Tuxpeño	00:03:21 c	Cónico	00:08:27 c	Tuxpeño	00:30:16 c	Cónico	00:30:34 c	Cónico	01:26:06 c
Tuxpeño	00:02:54 d	Tuxpeño	00:09:39 d	Chalqueño	00:01:30 c	Cónico	00:03:09 c	Tuxpeño	00:07:53 c	Cónico	00:28:26 d	Tuxpeño	00:29:27 d	Tuxpeño	01:23:31 d
Cacahuacintle	00:02:39 e	Cacahuacintle	00:08:50 e	Cacahuacintle	00:01:24 d	Cacahuacintle	00:02:41 d	Cacahuacintle	00:06:51 d	Cacahuacintle	00:26:38 e	Cacahuacintle	00:27:52 e	Cacahuacintle	01:16:58 e
Dabs	C.V. = 7		C.V. = 2		C.V. = 7		C.V. = 10		C.V. = 9		C.V. = 6		C.V. = 4		C.V. = 3
Estadísticos	D.M.S. = 11		D.M.S. = 9		D.M.S. = 5		D.M.S. = 18		D.M.S. = 36		D.M.S. = 91		D.M.S. = 63		D.M.S. = 134

* Las cifras indicadas en cada celda corresponden a la media de los periodos registrados por cinco personas, al efectuar cada una de las fases en que se dividió el proceso conducente a la elaboración de las tortillas, mismo que fue repetido cinco veces.

Cuadro 9. **Comparación absoluta** de las diferencias en el tiempo (**horas, minutos y segundos menos**) necesario para realizar las diferentes etapas conducentes a la elaboración de 25 tortillas, a partir del **nixtamal con reposo** con relación al tiempo involucrado al usar el **nixtamal sin reposo** derivado de cinco razas domesticadas de maíz y una de teocintle anual, con y sin caquis. Datos calculados con base en el uso de un **molcajete** para el proceso de selección y limpieza en el caso de las muestras de teocintle, así como de un **metate** (en todas las muestras) para el acondicionamiento del nixtamal.

Tiempo (hr:min:seg) menos requerido para:													
Material	Seleccionar y	Material	Elaborar	Material	Lavar	Material	Acondicionar	Material	Manufactura	Material	Cocer tortillas en	Material	Total
	limpiar		nixtamal		nixtamal		en metate		tortillas		comal de barro		
	frutos												
Teocintle sr	00:00:00	Teocintle sr	00:00:00	Palomero T.	00:00:41	Teocintle sr	00:09:56	Teocintle sr	00:23:02	Teocintle cr	00:48:44	Teocintle sr	01:07:46
Teocintle cr	00:00:00	Teocintle cr	00:00:00	Teocintle sr	00:00:31	Tuxpeño	00:07:12	Chalqueño	00:14:56	Teocintle sr	00:34:17	Teocintle cr	00:58:46
Chalqueño	00:00:00	Chalqueño	00:00:00	Chalqueño	00:00:31	Palomero T.	00:06:27	Palomero T.	00:14:50	Chalqueño	00:16:24	Chalqueño	00:35:08
Palomero T.	00:00:00	Palomero T.	00:00:00	Cónico	00:00:20	Cónico	00:05:49	Cónico	00:10:03	Palomero T.	00:09:10	Palomero T.	00:31:08
Cónico	00:00:00	Cónico	00:00:00	Cacahuacintle	00:00:17	Teocintle cr	00:05:11	Cacahuacintle	00:09:11	Cónico	00:07:54	Cónico	00:24:06
Cacahuacintle	00:00:00	Cacahuacintle	00:00:00	Tuxpeño	00:00:14	Chalqueño	00:03:17	Tuxpeño	00:07:44	Cacahuacintle	00:07:38	Cacahuacintle	00:20:17
Tuxpeño	00:00:00	Tuxpeño	00:00:00	Teocintle cr	00:00:11	Cacahuacintle	00:03:11	Teocintle cr	00:04:40	Tuxpeño	00:04:39	Tuxpeño	00:19:49

Cuadro 10. **Comparación relativa** de las diferencias en el tiempo (**segundos menos expresados como porcentaje**) necesario para la realización de las diferentes etapas conducentes a la elaboración de 25 tortillas, a partir del **nixtamal con reposo** en relación con el tiempo involucrado al usar **nixtamal sin reposo** derivado de cinco razas domesticadas de maíz y una de teocintle anual, con y sin raquis. Datos calculados con base en el uso de un **molcajete** para el proceso de selección y limpieza en el caso de las muestras de teocintle, así como de un **metate** (en todas las muestras) para el acondicionamiento del nixtamal.

Reducción en el tiempo(segundos) expresado como porcentaje requerido para:													
Material	Seleccionar y	Material	Elaborar	Material	Lavar	Material	Acondicionar	Material	Manufacturar	Material	Cocer tortillas en	Material	Total
	limpiar		nixtamal		nixtamal		en metate		tortillas		Comal de barro		
	frutos												
Chalqueño	0	Chalqueño	0	Palomero T.	26	Tuxpeño	31	Teocintle sr	39	Teocintle cr	45	Chalqueño	23
Palomero T.	0	Palomero T.	0	Chalqueño	25	Cónico	24	Palomero T.	30	Teocintle sr	43	Palomero T.	21
Cacahuacintle	0	Cacahuacintle	0	Teocintle sr	18	Palomero T.	21	Chalqueño	28	Chalqueño	28	Cacahuacintle	19
Cónico	0	Cónico	0	Cónico	17	Cacahuacintle	18	Cacahuacintle	24	Cacahuacintle	20	Cónico	19
Teocintle cr	0	Teocintle cr	0	Cacahuacintle	17	Teocintlesr	17	Cónico	23	Palomero T.	19	Teocintle cr	17
Tuxpeño	0	Tuxpeño	0	Tuxpeño	12	Chalqueño	12	Tuxpeño	20	Cónico	17	Tuxpeño	17
Teocintle sr	0	Teocintle sr	0	Teocintle cr	12	Teocintle cr	7	Teocintle cr	5	Tuxpeño	11	Teocintle sr	4

Cuadro 11. **Comparación absoluta** de las diferencias en el tiempo (**horas, minutos y segundos menos**) necesario para la realización de las diferentes etapas conducentes a la elaboración de 25 tortillas, a partir del **nixtamal reposado** con relación al tiempo involucrado al usar **nixtamal sin reposo** derivado de cinco razas domesticadas de maíz y una de teocintle anual, con y sin raquis, utilizando un **molino metálico accionado por una manivela** (en todas las muestras) en las fases 1 y 4.

Tiempo (hr:min:seg) menos requerido para:															
Material	Seleccionar y	Material	Elaborar	Material	Lavar	Material	Moler	Material	Acondicionar	Material	Manufactura	Material	Cocción en comal	Material	Total
	limpiar frutos		nixtamal		nixtamal		nixtamal		nixtamal				en metate		
Teocintle sr	00:00:00	Teocintle sr	00:00:00	Palomero T.	00:00:41	Palomero T.	00:01:47	Teocintle sr	00:12:50	Teocintle sr	00:10:55	Teocintle sr	00:11:20	Teocintle sr	00:36:48
Teocintle cr	00:00:00	Teocintle cr	00:00:00	Teocintle sr	00:00:31	Tuxpeño	00:01:30	Teocintle cr	00:04:31	Cacahuacintle	00:04:49	Teocintle cr	00:07:51	Teocintle cr	00:17:08
Palomero T.	00:00:00	Palomero T.	00:00:00	Chalqueño	00:00:31	Teocintle sr	00:01:12	Palomero T.	00:03:35	Tuxpeño	00:04:43	Chalqueño	00:04:11	Palomero T.	00:12:08
Tuxpeño	00:00:00	Tuxpeño	00:00:00	Cónico	00:00:20	Chalqueño	00:01:12	Cónico	00:02:33	Teocintle cr	00:04:06	Cónico	00:03:30	Tuxpeño	00:11:42
Cónico	00:00:00	Cónico	00:00:00	Tuxpeño	00:00:14	Cónico	00:00:40	Tuxpeño	00:01:48	Cónico	00:03:33	Tuxpeño	00:03:27	Cónico	00:10:36
Cacahuacintle	00:00:00	Cacahuacintle	00:00:00	Cacahuacintle	00:00:13	Cacahuacintle	00:00:37	Cacahuacintle	00:01:28	Palomero T.	00:03:14	Cacahuacintle	00:02:55	Cacahuacintle	00:10:02
Chalqueño	00:00:00	Chalqueño	00:00:00	Teocintle cr	00:00:11	Teocintle cr	00:00:29	Chalqueño	00:00:55	Chalqueño	00:02:43	Palomero T.	00:02:51	Chalqueño	00:09:32

Cuadro 12. **Comparación relativa** de las diferencias en el tiempo (**segundos menos expresados como porcentaje**) necesario para la realización de las diferentes etapas conducentes a la elaboración de 25 tortillas, a partir del **nixtamal con reposo** en relación con el tiempo involucrado al usar **nixtamal sin reposo** derivado de cinco razas domesticadas de maíz y una de teocintle anual, con y sin raquis. Datos calculados con base en el uso (en todas las muestras) de un **molino metálico manual** para el proceso de selección y limpieza, así como para la molienda del nixtamal.

Reducción en el tiempo (segundos) expresado como porcentaje) requerido para:															
Material	Selección y	Material	Elaborar	Material	Lavado del	Material	Moler	Material	Acondicionar	Material	Manufacturar	Material	Cocción	Material	Total
	limpieza		nixtamal		nixtamal		nixtamal		nixtamal en metate		tortillas		en comal		
Material	de los frutos	Material	nixtamal	Material	nixtamal	Material	nixtamal	Material	nixtamal en metate	Material	tortillas	Material	en comal	Material	Total
Teocintle cr	0	Teocintle cr	0	Palomero T.	27	Teocintle sr	37	Teocintle sr	54	Teocintle sr	23	Teocintle sr	23	Tuxpeño	11
Teocintle sr	0	Teocintle sr	0	Chalqueño	25	Tuxpeño	30	Palomero T.	27	Cacahuacintle	14	Teocintle cr	13	Palomero T.	10
Cacahuacintle	0	Cacahuacintle	0	Teocintle sr	18	Palomero T.	28	Cónico	22	Tuxpeño	13	Chalqueño	10	Cacahuacintle	10
Tuxpeño	0	Tuxpeño	0	Cónico	17	Chalqueño	18	Teocintle cr	18	Cónico	9	Tuxpeño	9	Cónico	10
Palomero T.	0	Palomero T.	0	Cacahuacintle	17	Cacahuacintle	17	Tuxpeño	17	Palomero T.	8	Cónico	9	Chalqueño	8
Chalqueño	0	Chalqueño	0	Tuxpeño	12	Cónico	15	Cacahuacintle	16	Teocintle cr	6	Cacahuacintle	8	Teocintle cr	7
Cónico	0	Cónico	0	Teocintle cr	12	Teocintle cr	5	Chalqueño	7	Chalqueño	6	Palomero T.	7	Teocintle sr	5

Evaluación de la calidad de las tortillas

Los datos pertinentes a la diferenciación de las medias con las que fueron evaluadas las tortillas desde el punto de vista de sus atributos organolépticos y de manejo (sabor, olor, color, textura, flexibilidad, resistencia) aparecen en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Medias de las calificaciones otorgadas por cincuenta catadores a la calidad de consumo atribuida a tortillas elaboradas con cinco a partir de frutos correspondientes a cinco razas de maíz domesticado y a una de teocintle anual con raquis y sin raquis.

Material	Medias*
Tuxpeño	2.8 a
Cónico	2.6 b
Cacahuacintle	2.4 c
Palomero T.	2.3 d
Chalqueño	2.2 e
Teocintle sin raquis	1.8 f
Teocintle con raquis	1.2 g
Datos estadísticos	C.V. = 8 y D.M.S. = 0.11

Conclusiones

Si bien en la actualidad la tortilla constituye la forma de uso del maíz más difundida en nuestro país, ésta seguramente no pudo haber sido el móvil inicial involucrado en la domesticación de los *teocintles*, pues, con base en lo encontrado en la presente investigación, la consolidación de la nixtamalización –proceso indispensable para la elaboración de este importante alimento– tuvo que esperar al menos dos innovaciones tecnológicas de gran importancia: 1. La producción controlada del fuego, y 2. La técnica para la elaboración de los utensilios de cerámica.

El haber podido elaborar tortillas utilizando frutos de *teocintle* hace factible proponer a esta forma de uso (actualmente la más importante) como uno de los móviles de la etapa post-cerámica más importantes involucrados en la creación del maíz a partir de las poblaciones silvestres de esta especie.

Según pudo cotejarse en la información antes presentada, en general, el nixtamal sin reposo requiere de mayor tiempo que el nixtamal con reposo, para su lavado y acondicionamiento en el metate; lo mismo que para manufacturar las tortillas y cocerlas en el comal.

Los propágulos de *teocintle* con raquis necesitan periodos significativamente mayores que los frutos del *teocintle* sin raquis para la realización de la mayoría de las fases pertinentes a la elaboración de las tortillas, siendo probable que esta haya sido una de las razones conducentes a la selección entre sus segregantes de aquellos carentes de dicha cubierta dura.

Las razas antiguas como el Palomero Toluqueño y el Cacahuacintle son contrastantes, en cuanto a los periodos requeridos para efectuar cada una de las etapas involucradas en la elaboración de las tortillas; en todos los casos

investigados en el presente estudio, la primera raza necesita más tiempo que la segunda, siendo esta una de las razones por las que los maíces dentados han sido favorecidos para este uso en particular.

Al comparar a todos los materiales involucrados en la presente investigación, tomando como parámetro los tiempos parciales y totales necesarios para la elaboración de las tortillas, las razas dentadas Cónico y Tuxpeño ocuparon una posición intermedia en prácticamente todos los experimentos efectuados. Por su parte, el *teocintle* sin raquis fue el material que demandó el mayor tiempo para la realización de la primera etapa del proceso, así como el mayor tiempo total. En contraste a este último, el Cacahuacintle fue el material que demandó los menores periodos.

Se considera que el correcto entendimiento de los móviles que participan en el proceso de domesticación de los recursos vegetales, en el presente caso del *teocintle*, resulta de particular interés para la investigación agronómica, pues, además de contribuir al esclarecimiento de la forma en que ha evolucionado este importante recurso, también puede contribuir a la planificación y ejecución de mejores y más eficientes programas conducentes al mejoramiento y conservación de su diversidad genética, programas que, al tomar en consideración los criterios de selección aplicados por los propios productores, tendrán una mayor probabilidad de ser aceptados, conservados e incluso mejorados en particular por los campesinos de las áreas agrícolas tradicionales de México.

Referencias Bibliográficas

- Bazua C, Pedroza R, Guerra R, Rodríguez A (1978): Opaque-2 corn tortilla processing conditions for the alkaline cooking traditional method. *In*: Sixth International Cereal and Bread Congress. Winnipeg, Manitoba, Canada. September 16-22.
- Brummitt RK (1992): Vascular plant families and genera: a listing of the genera of vascular plants of the world according to their families, as recognized in the Kew Herbarium, with an analysis of relationships of the flowering plant families according to eight systems of classification. Royal Botanic Gardens, Kew. U.K. 804 pp.
- Di Castro A (2000): La figurilla de arcilla más antigua de México. *Arqueología Mexicana* VII(42):58-59.
- Flores VD (1994): La cerámica de Occidente. *Arqueología Mexicana* II(9):34-38.
- Ford J (1969): A comparison of formative cultures in The Americas. Smithsonian contributions to Anthropology. Vol. XI, Washington, D.C., Smithsonian Institution, USA.
- García A (1995): Cruce de caminos. Desarrollo histórico de la región poblano-tlaxcalteca. *Arqueología Mexicana* III(13):12-15.
- Gómez J (1993): Métodos comparativos para determinar dureza en maíz (*Zea mays* L.) y su influencia en el tiempo de nixtamalización. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Industrias Agrícolas. Chapingo, Estado de México, México.

- Hernández V, López D (1993): Anatomía seminal, germinación, descripción macroscópica de la madera, distribución e importancia de *Cupania dentata* Moc. et Sessé ex D.C. especie de uso combustible del Totonacapan. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México.
- Hernández E (1971): Exploración etnobotánica y su metodología. SAG. Colegio de Postgraduados de la Escuela nacional de Agricultura, Chapingo, México.
- Novelo V, García A (1987): La tortilla: Alimento y Tecnología. Complementos del Seminario de Problemas Científicos y Filosóficos 1. UNAM, México, 65 pp.
- Pomeranz Y, Martin R, Taylor D, Lai F (1984): Corn hardness determination. *Cereal Chem.* 61:147-150.
- Pomeranz Y, Czuchajowska Z, Lai F (1986): Comparison of methods for determination of hardness and breakage susceptibility of commercially dried corn. *Cereal Chem.* 63:39-43.
- Rossevelt AC, Housley, Imazio M, Maranca S, Hohson R (1991): Eight millennium pottery from a prehistoric shell midden in the Brazilian Amazon. *Science*, Vol. 254:1621-1624.
- Serna S, Almeida H, Gómez M, Bockholt A, Rooney L (1991): Method to evaluate ease of pericarp removal on lime-cooked corn kernels. *Crop Sci.* 31:842-844.
- Schobinger J (1997): Arte prehistórico de América. Editorial Jaca Book. Consejo Nacional de la Cultura y las Artes. México, 280 pp.
- Schöndube O (1994): El Occidente de México. *Arqueología Mexicana* 2(9):18-25. México.
- Vazquez MG (1998): Estudio de proteínas en maíz (*Zea mays* L.) y su relación con características del grano y la calidad de tortilla. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Naturales. Especialidad de Postgrado en Botánica. Montecillo, Estado de México, México.

Eventos ENOS (El Niño, La Oscilación del Sur) y el cultivo de maíz en el desierto del sector medio del valle de Chicama, Perú

César A. Gálvez Mora

Ministerio de Cultura (Dirección Regional de Cultura-La Libertad): Independencia 572, Trujillo (Perú); Centro de Investigaciones Precolombinas (Argentina) e Instituto de Estudios Andinos (Berkeley, EE. UU.), E-mail: cgmsepam@yahoo.es

María Andrea Runcio

Centro de Investigaciones Precolombinas: Ayacucho 632 (1026) Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Argentina), E-mail: andrearuncio@hotmail.com

Resumen

En el contexto de los cambios climáticos y ambientales generados por El Niño, la Oscilación del Sur (ENOS), el trabajo describe la ocupación del área quebradeña en el sector medio del valle de Chicama a partir de la disponibilidad de fuentes de agua y recursos locales de flora y fauna, generados como consecuencia de dicho evento climático. Asimismo, en base a la información etnográfica recopilada se destaca, entre las distintas actividades de subsistencia realizadas, la posibilidad de desarrollo de agricultura y especialmente el cultivo de maíz en el desierto, aprovechando el afloramiento de la oferta hídrica subterránea.

Palabras claves: El Niño, la Oscilación del Sur, área quebradeña, fuentes de agua, agricultura, maíz.

Abstract

Human occupation of *quebradas* area -in the middle Chicama valley- is described, focusing the availability of water sources and local faunal and floral remains due to climatic and environmental changes caused by El Niño, Southern Oscillation (ENSO). Moreover, on the basis of ethnographic information recorded the possibility of developing of farming and especially maize cultivation using the upwelling of underground water is emphasized among various subsistence activities performed in this area.

Key words: El Niño, Southern Oscillation, *quebradas* area, water sources, agriculture, maize.

Introducción

En el valle de Chicama, el cambio climático concomitante a El Niño, la Oscilación del Sur (ENOS) -caracterizado por la anormal aparición de agua caliente a lo largo de la costa nor-peruana, así como por intensas precipitaciones pluviales tierra adentro en el verano (Ortlieb y Macharé, 1989)- ha impactado drásticamente en las sociedades del pasado. Este evento provoca la destrucción de la infraestructura de vivienda, vial y productiva -en particular el sistema de riego y los campos de cultivo (Nials *et al*, 1979; Sandweiss *et al*, 1983; Uceda y Canziani, 1993; Pozorski y Pozorski, 2003; Franco *et al*, 2003, entre otros)-, la alteración del hábitat de las especies de flora y fauna que habitualmente sirvieron para desarrollar las tecnologías de la alimentación, así como el impacto negativo en los edificios ceremoniales con el correspondiente resquebrajamiento de la estructura del poder y la temporal desestructuración de la sociedad, aunado a la aparición de patologías que afectaron la salud de las poblaciones. Esto generó diferentes respuestas a nivel tecnológico y social, cambios en los patrones de asentamiento, movilidad poblacional, transformaciones en la infraestructura agrícola y también cambios a nivel político e ideológico (Manzanilla, 1997; Bourget, 2001; Dillehay y Kolata, 2004; Swenson, 2007).

Sin embargo, la ocurrencia de este evento catastrófico a través de la historia y la experiencia adquirida por las sociedades en respuesta ante este escenario anómalo, devino en conocimiento acumulado que generó mecanismos de respuesta ante la crisis. Una de las respuestas alternativas fue el desarrollo de la agricultura en el desierto, particularmente en el área quebradeña.

Entonces, es propósito de este artículo indagar en el dato arqueológico y, en particular, en la información etnográfica recopilada por los autores en el valle de Chicama en relación al cultivo del maíz *a posteriori* del evento pluvial asociado a ENOS.

El escenario

El área de nuestro interés comprende las nacientes de las quebradas Santa María, Cuculicote, de la Camotera y San Nicolás (margen derecha del valle de Chicama), así como el río Quirripango (margen izquierda del mismo valle) (Figura 1). En este ámbito se localizan, de acuerdo a la ONERN (1976), dos zonas de vida que en condiciones normales presentan las siguientes características:

a. desierto perárido-Premontano Tropical (dp-PT): Presenta una temperatura anual máxima de 23,4°C y una mínima de 20,8°C; el promedio máximo de precipitación total por año es de 104,2 mm, con una mínima de 73,5 mm (*Op. Cit.*: 45). El promedio de la evapotranspiración potencial es de 8 a 16 veces la precipitación (*Op. Cit.*: 45-46). El relieve varía entre suave plano, colinado y muy accidentado; el molde edáfico es muy heterogéneo, con suelos relativamente profundos, de texturas variadas que acumulan calcio y yeso, así

como muy arcillosos y profundos, sueltos arenosos; además, suelos de morfología netamente estratificada, que tienen origen aluviónico y texturas variadas, mientras que los suelos de las vertientes occidentales andinas son rocosos o peñascosos y muy someros. Finalmente, cuando cuentan con irrigación estos suelos tienen alto valor agrícola (*Op. Cit.:* 46). Este es el caso, por ejemplo, de las quebradas de la Camotera, de La Calera, Cuculicote, el sector medio e inferior de la Quebrada Santa María y el sector inferior del Río Quirripano.

Constituyen la flora característica de esta zona, entre otros: Manchales de "algarrobo" (*Prosopis pallida*), "bichayo" (*Capparis ovalifolia*), "sapote" (*Capparis angulata*) y "gigantón" (*Cereus macrostibas*) (*Op. Cit.:* 46).

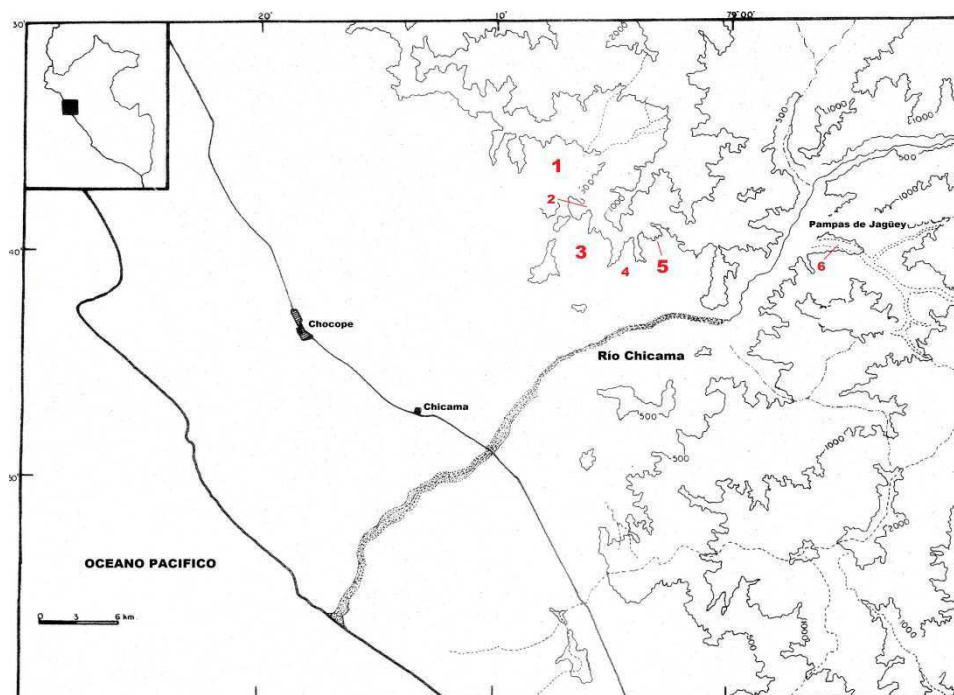


Figura 1. Mapa del área de estudio: Quebrada Santa María (1), Quebrada San Nicolás (2), Quebrada de la Camotera (3), Quebrada de la Calera (4), Quebrada Cuculicote (5) Río Quirripano (6).

b. matorral desértico-Premontano Tropical (md-PT): presenta una temperatura media anual máxima de 25,5°C y una mínima de 22,3°C; el promedio máximo de precipitación total por año es de 242,1 mm, con un promedio máximo de 100,9 mm (ONERN 1976: 53). El promedio de la evapotranspiración potencial por año es de 4 a 8 veces la precipitación (*Op. Cit.*). El relieve varía entre ondulado a quebrado con algunas áreas de pendiente; el escenario edáfico es muy similar a las zonas de vida monte espinoso-Tropical y matorral desértico-Tropical. El uso actual de esta zona de vida se relaciona al pastoreo, aprovechando los pastos estacionales que prosperan durante las lluvias del verano. Contando con irrigación, se puede realizar agricultura de pequeña escala con carácter de subsistencia (*Op. Cit.:* 54); este es el caso del sector alto (nacientes) de la Quebrada Santa María y el sector medio del Río Quirripano.

Forman parte de la flora característica de esta zona, entre otros: “algarrobo” (*Prosopis pallida*), “bichayo” (*Capparis ovalifolia*), “sapote” (*Capparis angulata*), “gigantón” (*Cereus macrostibas*) y vegetación herbácea rala (gramíneas pequeñas y de corto período vegetativo) (*Op. Cit.*: 54).

Asimismo, en varias quebradas localizadas en nuestra área de interés existen manantiales que en situaciones anómalas, como las generadas por ENOS, tienen una importancia significativa para la subsistencia humana porque esta oferta hídrica subterránea -que proviene del aporte de la cuenca húmeda del río Chicama- permite el desarrollo de la agricultura y otras actividades.

Fuentes de agua y ocupación actual del área quebradeña

Las condiciones generadas por ENOS producen una situación adversa para la subsistencia de las sociedades asentadas en el valle cultivado, donde los episodios de grandes precipitaciones pluviales que ocurren anormalmente en el verano, generan en la costa el crecimiento inusual de vegetación (Bonavia, 1991: 29-30; Erdmann *et al*, 2008) y tienen un impacto negativo en la agricultura y en el océano, donde ocasionan la desaparición de especies de aguas frías y propician la presencia de otras propias de la provincia Panameña (Paredes *et al*, 2004; Gárate y Pacheco, 2004). Por el contrario, en el escenario formado por las zonas de tierra adentro -como el área desértica quebradeña- tenía lugar un cambio importante en el paisaje manifestado inicialmente en la ocurrencia de precipitaciones pluviales intensas y, luego, en el incremento inusual del acuífero subterráneo. Esto generaba un mayor volumen hídrico de los manantiales existentes, el surgimiento de nuevas fuentes de agua y el flujo de agua corriente en los cauces de las quebradas más importantes. Paralelamente, la flora devenía abundante, rebasando la extensión que ocupaba en años normales, y tenía lugar una proliferación de la fauna local, creándose adicionalmente condiciones óptimas para el pastoreo.

La información etnográfica recopilada hasta el presente en el valle de Chicama, demuestra la disponibilidad de agua en el desierto durante un lapso que varía entre 4 a 8 años -según los casos- *a posteriori* de ocurrido el evento pluvial. Este factor permite a los grupos humanos, desplazados desde el valle cultivado a las tierras altas del área quebradeña, desarrollar una agricultura oportunista, en particular en el área de las nacientes de las quebradas más importantes -como Santa María y Cuculicote- y otras tributarias -como San Nicolás-, entre otras (Figura 2). Este escenario aparentemente se daba en otros ríos temporales, como el río Santanero (tributario del valle de Chicama), donde el evento ENOS de 1982-1983 hizo que condujera agua incluso hasta el mes de setiembre de 1983 (Briceño, 1994: 6).

Los estudios realizados sobre el Paijanense (ca. 13.000 a.P.) revelan que, precisamente, las nacientes de quebradas y en particular el entorno de los manantiales crearon espacios con condiciones importantes para la habitación y el temprano sedentarismo (Briceño, 1994, 1995; Gálvez, 1999), así como para el cultivo de cucurbitáceas (Rossen, 2011: 180; Dillehay, 2011: 17). La secuencia de ocupación de estos mismos espacios, según lo demuestra la

asociación de ellos con cerámica, prueba la recurrencia en la elección de los mismos en situaciones atípicas, porque hubo condiciones para el desarrollo de varias actividades productivas (Chauchat *et al*, 1998; Gálvez y Briceño, 2001; Gálvez, 2004; Gálvez y Runcio, 2010; Gálvez, 2011), mientras que el sistema del Canal de Ascope (margen derecha) (Kosok, 1965; Watson, 1979; Larco, 2001; Gálvez, 2009) se encontraba inoperativo por el embate de las riadas.

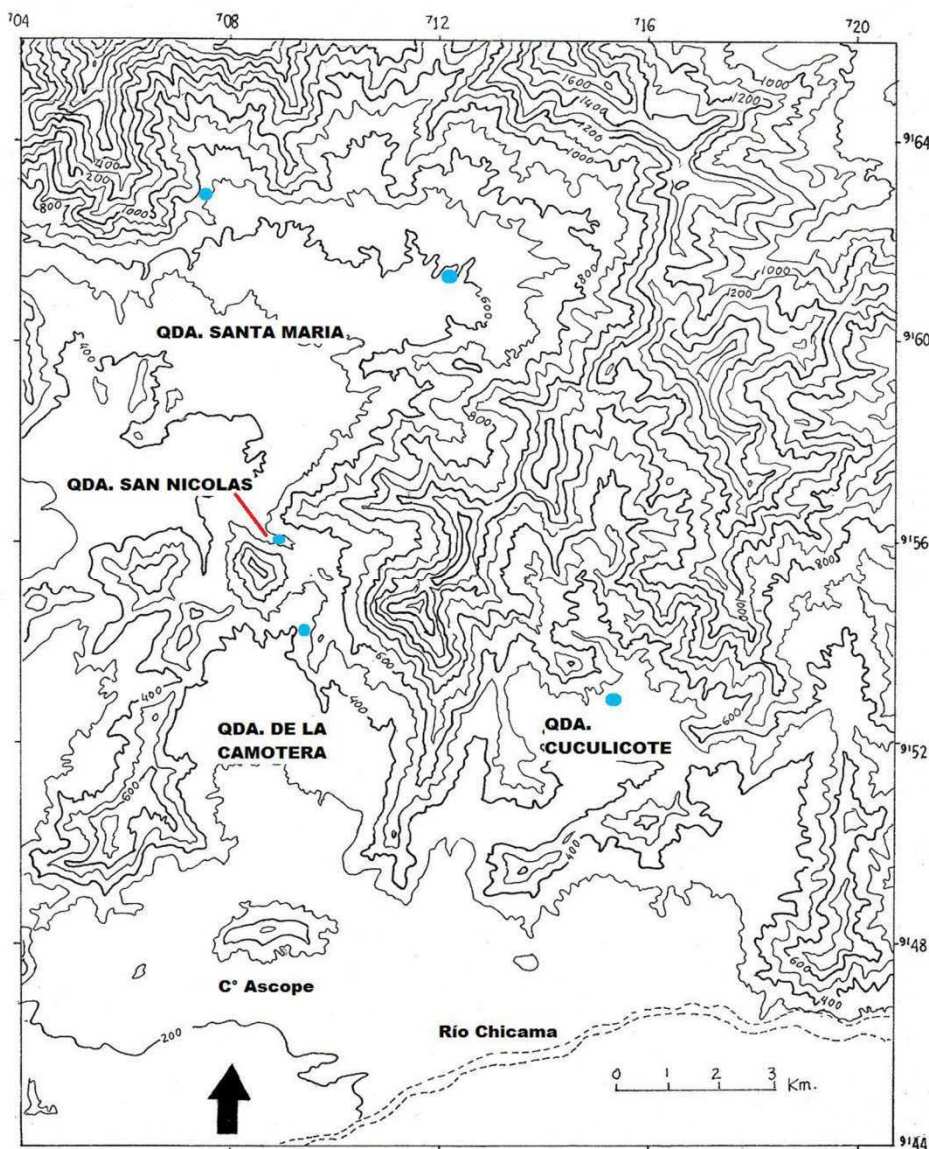


Figura 2. Mapa con ubicación de manantiales en el desierto del sector medio del valle de Chicama, margen derecha.

Las evidencias existentes en diversas aldeas prehispánicas documentadas en estos escenarios del desierto, demuestran dos estrategias complementarias en la tecnología del abrigo: construcciones elaboradas con materiales orgánicos (percederos) y con materiales mixtos (piedra y materiales orgánicos) (Gálvez y Runcio, 2010; Gálvez, 2011). Las primeras, sin duda, corresponderían a los grupos humanos que inicialmente se movilizaron al desierto en busca de refugio así como para aprovechar los recursos disponibles y que -además- tuvieron la alternativa de desarrollar temporalmente

la agricultura mientras hubo el recurso hídrico disponible. Las últimas corresponderían a construcciones habitacionales que -eventualmente- fueron renovadas de manera cíclica con la finalidad de brindar las condiciones de habitabilidad de los grupos humanos que permanecieron o las usaron mientras hubo los recursos aprovechables, pudiendo tratarse, además, de recintos usados por gente de mayor jerarquía en relación al grupo mayoritario que ocupó las estructuras construidas con materiales orgánicos (Gálvez, 2011).

Parte de esta infraestructura se asocia a espacios de función ceremonial (montañas, caminos, geoglifos y petroglifos) (Chauchat *et al*, 1998; Gálvez, 2011), hecho que también ocurre en escenarios de otros valles como el caso de la Quebrada Alto de Guitarras y su entorno, en el valle de Moche (Runcio y Gálvez, 2006). Además, la existencia de aldeas que incluyen estructuras de mampostería de piedra asociadas a los tipos de arquitectura antes indicada, así como evidencias rupestres, le dan un particular significado y diferenciación, en la medida que se trata de asentamientos más formales y localizados en posiciones estratégicas en relación a las rutas de intercambio y acceso a las fuentes de agua, así como a espacios de evidente función ceremonial.

Finalmente, es preciso destacar la importancia de la información etnohistórica relativa a ENOS (Huertas, 1993) y que algunas fuentes coloniales tempranas testimonian el impacto de las condiciones climáticas anormales asociadas a este evento catastrófico en el valle de Chicama, señalando que los cultivos eran afectados por plagas y que no representaban un aporte significativo a la subsistencia.

Por ejemplo, existe una referencia para el valle de Chicama, acerca del ENOS de 1578, que fue brindada por el padre fray Bartolomé de Vargas en el pueblo de Chocope en 1580, quien manifestó que: “...en este valle pasadas las dichas lluvias uvo gran cantidad de grillos y otras savandixas y ratones y que los dichos grillos les comieron a los dichos yndios mucha parte de sus chacaras y sementeras por lo cual padecieron gran hambre y necesidad por tiempo de un año mas o menos” (citado en Huertas 1987: 132). Incluso, como lo manifestó don Juan de Mora el mismo año, “...los yndios deste valle perdieron con las dichas lluvias sus comidas mayz y trigo y frisoles que tenían guardado y enterrado porque todo se les pudrió y nació...” (Op. Cit.: 131). Este tipo de problemas no se presenta en el escenario del área quebradeña, como se verá en los casos que mencionaremos.

El Niño, la Oscilación del Sur y las posibilidades de agricultura

Entre 1984 y 1985, *a posteriori* de ENOS de 1982/83 uno de los autores realizó trabajos de campo acerca de la ocupación Paijanense en la Quebrada Cuculicote, un área desértica de la margen derecha del valle de Chicama (*vide* Gálvez, 1992a, 1992b, 1999, 2004). En este lapso se registró una fuente de agua de 1.00 m de profundidad en las nacientes de esta quebrada (Gálvez, 1992b: 32, 39) (Figuras 2 y 3). El incremento inusual de su volumen hídrico se debía al ascenso del nivel del acuífero subterráneo generado por el evento ENOS. Estas condiciones particulares motivaron la presencia de dos agricultores que se asentaron en el entorno de la fuente de agua.



Figura 3. Manantial en las nacientes de la Quebrada Cuculicote.



Figura 4: Manantial en el sector noreste de la Quebrada de la Camotera

Coincidentemente, durante la campaña orientada al estudio de la ocupación Paijanense en la Quebrada Santa María, entre 1987-1988, fueron documentados manantiales en pequeñas quebradas tributarias de aquella (Figura 2), donde se verificó la disponibilidad del recurso hídrico a lo largo del año; asimismo, que un grupo de ascopanos⁶ utilizaba los manantiales y su entorno para cultivo y pastoreo y se había asentado ocupando una vivienda cerca del manantial ubicado próximo a los sitios PV23-150 y PV23-152 (Briceño, 1995: 145, 146). Sin duda, este es el manantial más importante acerca del cual obtuvimos información de uno de estos agricultores en noviembre de 2011. Además, fueron reportados dos manantiales más: uno en la Quebrada San Nicolás -tributaria de la Quebrada Santa María- donde hubo evidencias de su utilización moderna con fines agrícolas y otro en la Quebrada de la Camotera (Figuras 2 y 4), asociado a flora nativa, el cual había sido desecado por acción humana, subsistiendo plantas de inea (*Typha angustifolia*) (Op. Cit. 146).



Figura 5: Desierto florecido y flujo de agua en la Quebrada Santa María

Posteriormente, en diciembre de 1998 (después de ENOS de 1997/98) se verificó *in situ* los cambios del paisaje y evidencias de ocupación temporal en las quebradas de San Nicolás, de la Camotera y Santa María (Figura 5) (desierto de la margen derecha del valle Chicama). En las quebradas Santa María y San Nicolás la ocupación temporal moderna estuvo asociada a cultivos de menor escala (Figura 6) y a estructuras habitacionales construidas con madera y arbustos locales, incluyendo una pequeña vivienda hecha de piedra local, adobe, caña brava (*Gynerium sagittatum*) y madera rústica en la Quebrada Santa María. Finalmente, en octubre del mismo año uno de los autores realizó otra visita a la fuente de agua previamente documentada en las nacientes de la Quebrada Cuculicote (Gálvez, 1992b; Briceño, 1995), donde se

⁶ Lugareños de la ciudad de Ascope, capital de la provincia del mismo nombre en el valle de Chicama.

verificó la presencia de riachuelos que se originaban a partir del manantial vecino al sitio PV23-64 (Figura 7).



Figura 6. Campo de cultivo en riego cercano al manantial más importante de la Quebrada Santa María.

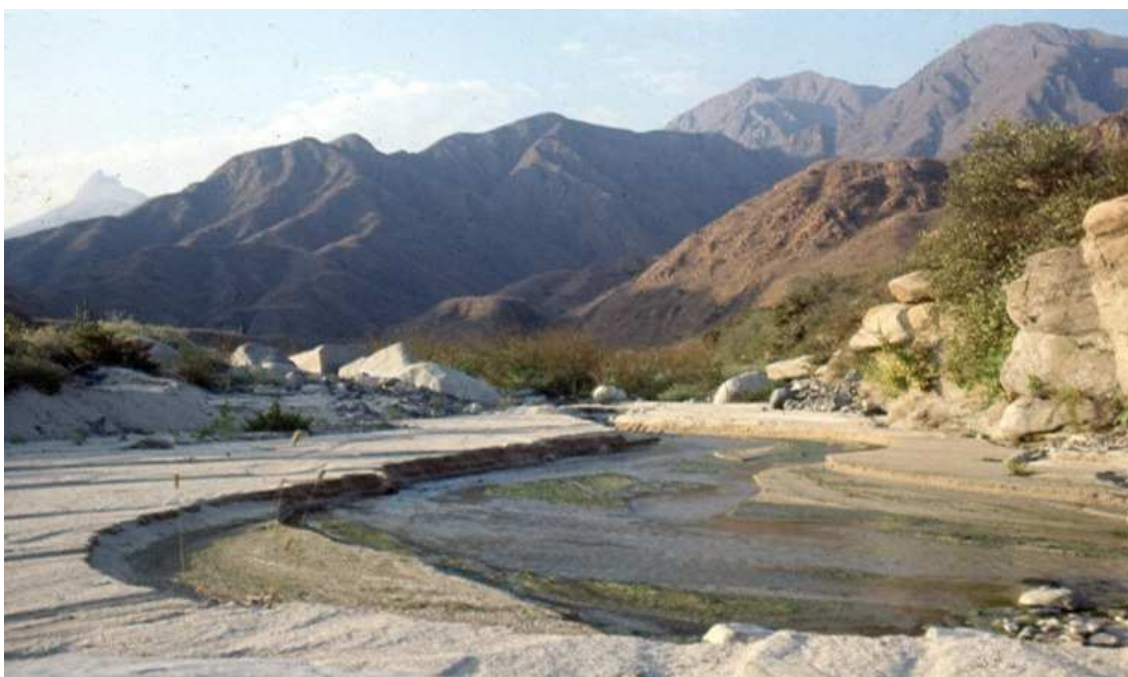


Figura 7. Riachuelo en las nacientes de la Quebrada Cuculicote.

Otro sitio visitado en enero de 1999 fue el río Quirripango (margen izquierda del valle de Chicama), un afluente del río Chicama colindante en su tramo inferior con el poblado de Pampas de Jagüey, el cual presentaba agua corriente y abundante vegetación (Figura 8), donde uno de nosotros documentó una choza elaborada con materiales mixtos, ocupada por agricultores

temporales y evidencias de actividad agrícola en los bordes del río antes mencionado (*vide* Gálvez y Briceño, 2001). Asimismo, antes de ENOS de 1997-1998, fue registrada una fuente de agua en la ladera este del Cerro Grande y en la margen izquierda de la Quebrada Chala la cual junto al río Grande dan origen al río Quirripano, el cual era utilizado para irrigar pequeñas parcelas (Briceño, 1994: 9, 12).



Figura 8. Flujo de agua corriente en el río Quirripano.

También debemos indicar que a partir del evento ENOS de 1982-1983, las terrazas aluviales del Cuaternario, ubicadas en las márgenes de las desembocaduras de las quebradas de La Camotera, de La Calera y Cuculicote fueron transformadas en campos agrícolas. Desde entonces, como resultado del acondicionamiento de una infraestructura de riego superficial que depende del antiguo Canal de Ascope, el área cultivada se ha ido expandiendo hasta la actualidad produciendo una notable modificación del paisaje en relación al área desértica existente en época anterior a este evento climático. En esta área, integrada a la planicie colindante del valle cultivado por donde pasa la carretera Ascope-San Benito, se cultiva preferentemente maíz.

Información etnográfica sobre el cultivo de maíz

La información etnográfica documentada por varios investigadores y -en particular- por nosotros en el valle de Chicama, brinda datos significativos sobre el desarrollo de la agricultura oportunista en el área quebradeña en el escenario del evento ENOS. La recuperación y registro de estos testimonios resulta de gran importancia dado que, como señala Sabogal (1975: 267): *“Este conjunto de conocimientos ha sido transmitido fidedignamente a través de muchas generaciones, de manera oral. Hoy en día corre el riesgo de desaparecer debido al impacto de la civilización tecnológica occidental...”*.

Entre los cultivos más usuales se encuentra el maíz, que generalmente se asocia a otros cultivos adaptables a las condiciones climáticas del desierto florecido. La agricultura oportunista depende del recurso hídrico de los manantiales, incluyendo el agua corriente disponible de modo eventual en el cauce de las quebradas. En dos casos (Quebrada Santa María y Quebrada Cuculicote) el agua de los manantiales fue conducida por medio de canales hasta los campos agrícolas. Estos últimos eran desarrollados en la superficie de las terrazas aluviales del Cuaternario, como ocurrió en los campos prehispánicos de la Zona del Automóvil (brazo suroeste de la Quebrada de la Camotera) (Chauchat *et al*, 1998) y las Pampas de San Ramón (margen izquierda del valle de Chicama) (Figura 9) (Gálvez *et al*, 2002), que testimonian el éxito en la conquista del desierto distante de las nacientes de las quebradas.

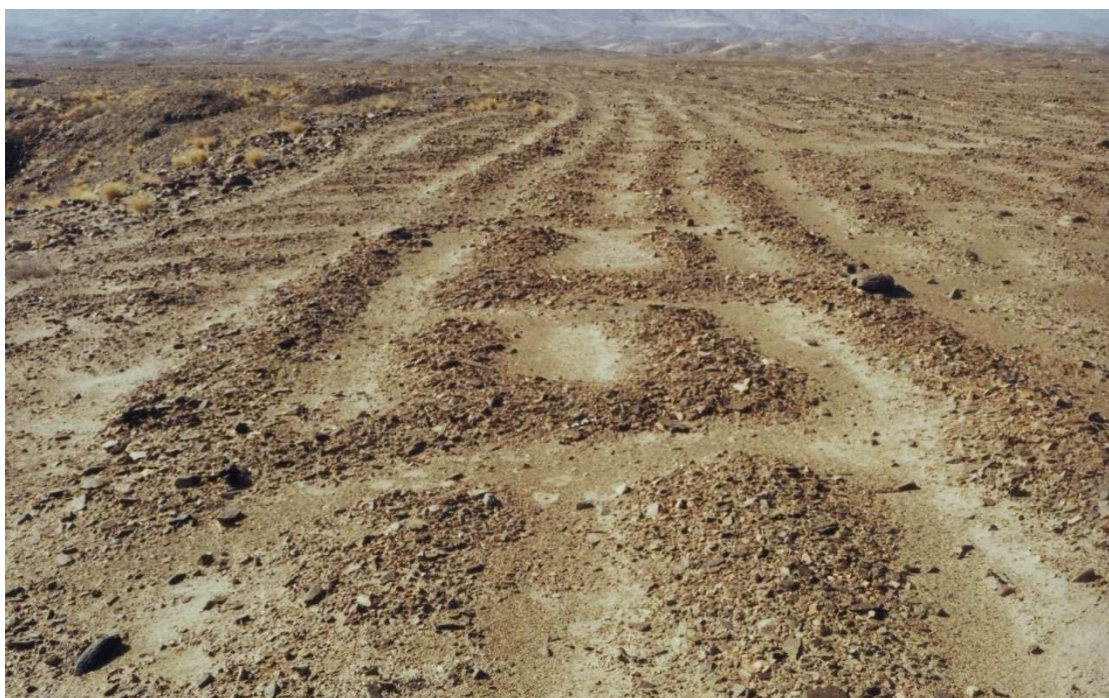


Figura 9. Campo de cultivo Chimú en Pampas de San Ramón.

En el presente, los agricultores individuales o reunidos en un pequeño grupo ocupan una sola unidad habitacional en el área quebradeña y son capaces de cultivar de manera eficiente hasta cinco hectáreas, logrando varias cosechas al año que incluyen, al menos, dos cosechas de maíz. Este dato es de suma importancia para analizar el radio de acción y el rendimiento ejercido a partir de estructuras habitacionales equivalentes en morfología y ubicación a las prehispánicas, teniendo como escenario común al generado por ENOS. Y algo importante, el comportamiento de estos agricultores oportunistas demuestra que una vez crecidos los sembríos no es necesario permanecer en el desierto ininterrumpidamente. Más bien, el flujo del movimiento de los agricultores del desierto al valle cultivado y viceversa hace posible -como en los tiempos antiguos- la reconstrucción de la infraestructura dañada y el inicio de cultivos regulares una vez pasada la crisis, cuya producción complementa las cosechas del área quebradeña y permite contar con excedentes para compensar la crisis (Gálvez y Runcio, 2010; Gálvez, 2011).

En el caso etnográfico, como se demostrará adelante, el rendimiento del maíz no difiere de la producción en el valle cultivado. Incluso en algunos casos la cosecha es mayor, no siendo necesario utilizar abono e insecticidas por lo cual el producto tiene mejor calidad y es más saludable para el consumo humano.

Quebrada Santa María

Nuestro informante⁷ refiere que en 1984, después de las lluvias generadas por el evento ENOS 1982-1983, utilizó el agua de un puquio (“manantial los limos”) ubicado en las nacientes de la Quebrada Santa María, recurso que pudo aprovechar durante 8 años ininterrumpidos. El agua de este manantial era apta para el consumo y tenía carácter permanente. Antes del evento mencionado, él iba a ese lugar para cazar y cuando verificó la presencia del recurso hídrico empezó a utilizarlo para sembrar. Con este propósito construyó una acequia de 330 m de longitud, la cual captaba agua del puquio y la conducía hasta un reservorio que él había construido (Figura 10). En primer lugar, excavó la acequia a pico ayudado por dos personas y al cabo de tres años la revistió con cemento, de manera que podía regar cuando era necesario, a diferencia del valle. Cabe indicar que la técnica empleada por nuestro informante para almacenar agua es semejante a la definida como “cocha” (Sabogal, 1975: 272). Y este requisito es indispensable porque es necesario, además de remojar el grano de maíz previamente a la siembra, “...realizar el surqueo y primer riego sobre terreno blando, por el riego previo a la labranza. En consecuencia las operaciones agrícolas respectivas deben efectuarse oportunamente, para lo cual es necesario disponer de agua de riego” (Op. Cit.: 275); asimismo, el maíz exige un segundo riego a los 40 días de sembrado, según los usos tradicionales (Op. Cit.: 271).



Figura 10. Croquis de la infraestructura de riego y campos de cultivo utilizado por el Sr. Julio Flores Vigo (dibujo elaborado con participación del informante).

⁷ Sr. Julio Flores Vigo, 61 años de edad, natural de Ascope, y residente del Barrio Portada de la Sierra. Entrevista realizada el 13 de noviembre de 2011.

El trabajo orientado a la habilitación del campo de cultivo fue realizado a mano por nuestro informante, auxiliado por un asno. Durante el lapso de su trabajo en las nacientes de la Quebrada Santa María, cultivó maíz (*Zea mays*), yuca (*Manihot esculenta*), camote (*Ipomoea batatas*), fréjol (*Phaseolus vulgaris*), repollo (*Brassica oleracea*), tomate (*Solanum lycopersicum*), zapallo (*Cucurbita* spp.), ají (*Capsicum* spp.), pepino (*Solanum muricatum*) y soya (*Glycine max*), en una extensión de 3 hás. En cada hectárea se combinaban los cultivos y practicaba la rotación de los mismos: por ejemplo, luego de cosechar maíz podía cultivar yuca en ese mismo espacio. En el caso del maíz, lo barbechaba y no tuvo la necesidad de emplear abono ni insecticidas porque la tierra estaba descansada y en ese sector no había plagas que afectaran la cosecha. En cuanto al rendimiento del cultivo, pudo lograr dos cosechas (cada una después de cuatro meses) al año, a razón de 5000 kg de maíz por cada media hectárea en cada cosecha, mientras que en un año normal obtenía 5000 kg por hectárea en su chacra del valle cultivado. A veces una cosecha rendía 100 kg más que lo usual o a veces 100 kg menos, dependiendo de la variedad de maíz que sembraba. En opinión de nuestro informante, este rendimiento se debía a que en la quebrada había mejor tierra.

El maíz era previamente desgranado (la tuza la usaba para cocinar) antes del transporte, que era realizado en cuatro acémilas. El trayecto hacia Ascope duraba 4 horas y en un día podía hacer dos viajes, a lo largo de una semana que duraba el traslado de cada cosecha. Una parte del maíz era destinado al consumo familiar y la otra para vender. Los demás cultivos tenían una finalidad similar.

El informante indicó que para facilitar su permanencia junto al campo de cultivo, construyó una vivienda de adobe; además, criaba vacas y asnos en un potrero, aves de corral (pavos, patos y pollos) en la chacra y truchas en el reservorio. También participaba en la caza de venados de cola blanca (*Odocoileus virginianus*) que aparecían frecuentemente y palomas de campo (*Zenaida asiatica*).

Finalmente, mencionó que en ENOS de 1998 no hubo suficiente agua para sembrar en la quebrada, en comparación con lo que sucedió en 1982-1983 y refirió que su padre le había comentado que en ese sector había una criadora de cabras hacia 1925, año en que aconteció un evento ENOS catastrófico, donde pudo ver hasta 300 cabezas de ganado caprino.

Los datos brindados por nuestra fuente durante la entrevista, concuerdan con lo registrado durante una visita realizada por uno de nosotros a las nacientes de la Quebrada Santa María en 1988, después de que fueran documentados cuatro manantiales localizados en pequeñas quebradas tributarias de aquella (Briceño, 1995). Una visita posterior, con participación de uno de los autores, a la Quebrada Santa María como a su tributaria la de San Nicolás en diciembre de 1998 confirmó evidencias de ocupación temporal moderna de algunos agricultores que sembraron pequeñas parcelas de camote (*Ipomoea batatas*), zapallo (*Cucurbita* spp.), maíz (*Zea mays*), papaya (*Carica papaya*) y maracuyá (*Passiflora edulis*), lo cual confirma el dato de nuestro informante en cuanto a la menor disponibilidad de agua; además, pudimos

comprobar la existencia de viviendas precarias armadas con materiales perecederos. De lo antes expuesto se concluye que no todos los eventos ENOS ofrecen condiciones óptimas para la agricultura, sin embargo, esta actividad puede realizarse aún en estas condiciones.

Quebrada Cuculicote

Como hemos indicado anteriormente, durante los trabajos de campo realizados en esta área en 1984 (Gálvez 1992a, 1992b) documentamos un manantial en la naciente de la quebrada, ocupando una depresión rocosa y estrecha en las inmediaciones del sitio PV23-64 (Figura 3). En ese entonces encontramos a dos agricultores ocupando una pequeña vivienda elaborada con caña brava (*Gynerium sagittatum*) e inea (*Typha angustifolia*). Ellos habían rehabilitado un estrecho canal antiguo apoyado en la ladera de una colina en el borde derecho de la quebrada, con la finalidad de conducir el agua del manantial hasta una chacra vecina. Lamentablemente, al momento de nuestra visita no registramos cultivos en pie, de ahí que no disponemos de un registro del hecho. Adicionalmente, indicamos que el manantial era aprovechado para el cultivo de la inea y para la crianza de pequeños peces de agua dulce. Finalmente, en la visita de octubre de 1998 uno de los autores comprobó que el manantial había sido desecado debido a la mala práctica de los agricultores al pretender ampliar su área, con lo cual habían contribuido a su paulatino desecamiento.

Quebrada de la Camotera

Una posterior visita al manantial registrado entre 1987-1988 en el sector norte de esta quebrada (Briceño, 1995) fue efectuada en diciembre de 1998. Esta permitió la verificación de la presencia del manantial, asociado a flora silvestre (Figura 4); sin embargo, no hubo evidencias de la realización de faenas agrícolas y tampoco localizamos a informante alguno.

Quebrada San Nicolás

En la visita que realizamos en diciembre de 1998 a esta quebrada, documentamos la existencia de cultivos de menor escala de lenteja (*Dolichos lablab*), papaya (*Carica papaya*) y tomate silvestre (*Lycopersicon pimpinellifolium*), siendo el escenario distinto al del primer registro de 1987-1988 (Briceño, 1995), porque no hallamos agua corriente. La escasez de agua, coincide con la menor disponibilidad del recurso hídrico en las nacientes de la Quebrada Santa María, también comprobada por nosotros en diciembre de 1998.

Río Quirripano

En enero de 1999 los agricultores locales brindaron información acerca del rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*) en el área desértica colindante al cauce del río *a posteriori* de las lluvias de ENOS 1997-98. Durante este tiempo se aprovechó el riachuelo temporal que descendía de sureste a noroeste para tributar al río Chicama (Figura 8). Así, en 1998 se obtuvo un

rendimiento de aproximadamente 4500 kg por hectárea, sin el uso de abono o insecticidas, en comparación con la producción de 6000 kg por hectárea en las chacras cultivadas en el suelo del valle colindante en condiciones climáticas normales. Esto corrobora la importancia que tuvieron los suelos no cultivados antes de ENOS así como la ausencia de plagas que afectaran los campos, conforme también sucedió en la Quebrada Santa María (Gálvez y Briceño, 2001).

En relación a esta información que corresponde al desierto del valle de Chicama, debemos resaltar las notables coincidencias con los datos brindados por Daniel Oloya Oliva en una entrevista realizada en 2006 sobre los cambios ocurridos en el escenario desértico de la Quebrada y Cerro Alto de Guitarras y del Río Las Salinas, en el valle de Moche, durante ENOS de 1997/98 (Runcio y Gálvez, 2006; Gálvez y Runcio, 2009). El informante hizo una importante referencia a las fuentes de agua (puquios) que aparecieron en ese entonces. También indicó que el cauce de la quebrada presentaba agua corriente en todo su trayecto y -coincidiendo con los datos para el valle de Chicama- estas condiciones anormales se mantuvieron entre 3 a 4 años después. Tales condiciones favorables permitieron que varios lugareños realizaran cultivos temporales en pequeñas chacras. Además de maíz (*Zea mays*), sembraban camotes (*Ipomoea batatas*) y zapallos (*Cucurbita* spp.); asimismo, ninguno de estos cultivos fue fumigado y el rendimiento era equivalente al obtenido en las chacras de la parte baja en años normales⁸.

Comentario final

La ocupación contemporánea del área quebradeña para el desarrollo de la agricultura y otras actividades en espacios donde existen evidencias de ocupaciones prehispánicas previas, se explica por la existencia de fuentes de agua procedentes de la escorrentía subterránea de la cuenca del Chicama, cuya importancia durante la ocurrencia de El Niño, la Oscilación del Sur (ENOS) es crucial para las actividades mencionadas. La presencia de agricultores contemporáneos está asociada al desarrollo de una tecnología del abrigo con fuertes vinculaciones en relación a su contraparte prehispánica, que aprovecha la disponibilidad de materiales de construcción en esta área y, en particular, las nacientes de las quebradas que devienen escenarios privilegiados por la presencia de agua, flora y fauna.

La elemental infraestructura de riego garantiza la captación y conducción del recurso hídrico, vinculando a un manantial con un reservorio y/o los campos de cultivo habilitados en la superficie de las terrazas aluviales del Cuaternario. Los suelos utilizados tienen características edáficas y nutrientes que garantizan un buen rendimiento de los cultivos de maíz y otros sin necesidad de abono, ofreciendo el ecosistema en el cual se insertan las chacras condiciones de salubridad suficientes como para anular la presencia de plagas, a diferencia del valle cultivado.

⁸ En este caso, el informante no dio un dato cuantitativo de utilidad en cuanto al rendimiento de las cosechas.

El sistema contemporáneo de transporte para la cosecha del maíz utilizando acémilas, sugiere el empleo de camélidos para el mismo fin en la época prehispánica, asumiendo como válida -a partir de las evidencias de infraestructura de viviendas arqueológicas- que uno de los fines principales de la ocupación del área fue el desarrollo de la agricultura, así como el pastoreo y la caza. Además, se debe destacar la movilidad de los ocupantes temporales del área quebradeña quienes una vez encaminadas las siembras pueden trasladarse al valle cultivado y viceversa. En la época prehispánica, esta movilidad habría permitido la reparación de la infraestructura dañada así como el desarrollo de cultivos *a posteriori* de las grandes lluvias en el valle cultivado, manteniendo una reserva potencial de productos agrícolas en el área quebradeña.

De esta manera, el comportamiento de los grupos contemporáneos nos permite una aproximación para comprender la ocupación del desierto en la época prehispánica, sin perder de vista que se trata de distintos escenarios en el tiempo y el espacio. Pero también demuestra que concebir la ocurrencia de ENOS como un evento totalmente catastrófico es un planteamiento que debe ser revisado a la luz del dato etnohistórico y, en particular, etnográfico.

Finalmente, y guardando las diferencias de la morfología de los surcos, la superficie donde se adecuan las chacras contemporáneas en esta área desértica posee semejanza con lo observable en los campos de cultivo prehispánicos de las Pampas de San Ramón y la zona El Automóvil (márgenes derecha e izquierda del valle de Chicama, respectivamente), sugiriendo que la experiencia acumulada en el cultivo de las áreas desérticas de menor altitud y cercanas al río Chicama fue aplicada en la conquista del área quebradeña. Sin embargo, en este último escenario el maíz y otros cultivos dependieron casi exclusivamente de los manantiales cuyo nivel se incrementaba después de las lluvias torrenciales generadas por ENOS.

Agradecimiento

Los autores agradecen a Julio Flores Vigo (valle de Chicama) y a Daniel Oloya Oliva (valle de Moche), así como a otros informantes anónimos por compartir su conocimiento ancestral sobre la agricultura en el desierto. Asimismo, a Leoncio Carrión Flores por su apoyo incondicional durante nuestro trabajo etnográfico en la ciudad de Ascope. Un reconocimiento especial al Biólogo Víctor F. Vásquez, por la revisión crítica del manuscrito.

Referencias Bibliográficas

- Bonavia D (1991): *Perú, hombre e historia I. De los orígenes al siglo XVI*. Ediciones EDUBANCO, Lima.
- Bourget S (2001): Rituals of sacrifice: its practice at Huaca de la Luna and its representation in Moche iconography. *Moche Art and Archaeology in Ancient Peru*, J. Pillsbury (editor), pp. 89-109. National Gallery of Art, Studies in the History of Art 63, Washington.
- Briceño J (1994): Investigaciones recientes sobre el Paleolítico superior en la parte media alta del valle de Chicama. *Investigar* 1: 5-18. Trujillo.

- Briceño J (1995): El recurso agua y el establecimiento de los cazadores – recolectores en el valle de Chicama. *Revista del Museo de Arqueología, Antropología e Historia* 5: 143-161. Universidad Nacional de Trujillo.
- Chauchat C, Gálvez C, Briceño J, Uceda S (1998): Sitios arqueológicos de la zona de Cupisnique y margen derecha del Valle de Chicama. Patrimonio Arqueológico Zona Norte. *Travaux de l'Institut Français d'Etudes Andines* 113. Instituto Nacional de Cultura-La Libertad – Instituto Francés de Estudios Andinos. Lima.
- Dillehay T (2011): Introduction. *From foraging to farming in the Andes. New perspectives on food production and social organization*, T. Dillehay (editor), pp. 1-27. Cambridge University Press, New York.
- Dillehay T, Kolata A (2004): Long-term human response to uncertain environmental conditions in the Andes. *PNAS* 101 (12): 4325-4330.
- Erdmann W, Schulz N, Richter M, Rodríguez E (2008): Efectos del fenómeno del Niño 1997-1998 en la vegetación del desierto de Sechura, Región Paita hasta el año 2008. *Arnaldoa* 15(1): 63-86. Trujillo.
- Franco R, Gálvez C, Vásquez S (2003): Modelos, Función y Cronología de la Huaca Cao Viejo, Complejo El Brujo. *Moche: Hacia el Final del Milenio*, Vol. II, S. Uceda y E. Mujica (editores), pp. 125-177. Universidad Nacional de Trujillo y Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Gálvez C (1992^a): Evaluación de Evidencias Paijanenses en Tres Zonas de Ascope, Valle de Chicama. *Revista del Museo de Arqueología* 3: 31-50. Universidad Nacional de Trujillo.
- Gálvez C (1992^b): Un estudio de campamentos paijanenses en la Quebrada Cuculicote, valle de Chicama. *Estudios de Arqueología Peruana*, D. Bonavia (editor), pp. 21-43. Asociación Peruana para el Fomento de las Ciencias Sociales, Lima.
- Gálvez C (1999): Nuevos Datos y Problemas sobre el Paijanense en el Chicama: Aportes para una Evaluación de la Ocupación Temprana en el Norte del Perú. *Boletín de Arqueología PUCP* N° 3: 41-54. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gálvez C (2004): El Precerámico Temprano en la costa norte del Perú. *Desarrollo Arqueológico de la Costa Norte del Perú*, T. I, L. Valle (editor), pp. 17-28. Ediciones SIAN, Trujillo.
- Gálvez C (2009): La Laguna: paisaje cultural del valle de Chicama. *Arkinka* 185: 92-95. Lima.
- Gálvez C (2011): Viviendas de materiales orgánicos y ocupación del desierto en el valle de Chicama. *Arkinka* 187: 94-101. Lima.
- Gálvez C, Briceño J (2001): The Moche in the Chicama Valley. *Moche Art and Archaeology in Ancient Peru*, J. Pillsbury (editor), pp. 141-157. National Gallery of Art, Studies in the History of Art 63. Washington.
- Gálvez C, Runcio MA (2009): El Paisaje Visto desde Adentro: Etnografía y Espacio en Alto de Guitarras. *Revista del Museo de Arqueología, Antropología e Historia* 11: 235-252. Universidad Nacional de Trujillo.
- Gálvez C, Runcio MA (2010): Eventos ENOS (El Niño, la Oscilación del Sur) y ocupación del desierto entre el Horizonte Temprano y el Intermedio Tardío: análisis de casos en los sectores medios de los valles de Moche y Chicama. *Archaeobios* N°4, Vol. 1: 19-52. Centro de Investigaciones Arqueobiológicas y Paleoecológicas Andinas. Trujillo.

<<http://www.arqueobios.org/ArqueobiosEs/Revista2010/Edicion2010/Articulos2010/ARCHAEOBIOS2010.pdf>>

- Gálvez C, Becerra R, Marín R (2002): *Inventario de sitios arqueológicos de la provincia de Ascope. Distrito de Chicama, Santiago de Cao y Magdalena de Cao (primera parte)*. Informe presentado al Instituto Nacional de Cultura, Dirección Departamental de Cultura La Libertad, Trujillo.
- Gárate A, Pacheco A (2004): Cambios en la distribución y abundancia de la ictiofauna de aguas someras en San Bartolo (Lima, Perú) después del ENSO 1997-98. *Ecología Aplicada* Año 3, Vol. 1-2: 148-153. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Huertas L (1987): *Ecología e historia. Probanzas de indios y españoles referentes a las catastróficas lluvias de 1578, en los corregimientos de Trujillo y Saña*. Centro de Estudios Sociales "Solidaridad", Chiclayo.
- Huertas L (1993): Anomalías cíclicas de la naturaleza y su impacto en la sociedad: el "Fenómeno El Niño". *Bulletin de l'Institut Francais d'Etudes Andines* 22 (1): 345-393, Lima.
- Kosok P (1965): *Life, land and water in ancient Peru*. Long Island University Press, Nueva York.
- Larco R (2001): *Los mochicas*. Museo Arqueológico Rafael Larco Herrera, Lima.
- Manzanilla L (1997): Indicadores arqueológicos de desastres: Mesoamérica, Los Andes y otros casos. *Historia y desastres en América Latina*, Volumen II, V. García Acosta (coordinadora). Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.
<http://www.desenredando.org/public/libros/1997/hydv2/hydv2-todo_sep-09-2002.pdf>
- Nials F, Deeds E, Moseley M, Pozorski S, Pozorski T, Feldman R (1979): El Niño: the catastrophic flooding of coastal Peru. *Field Museum of Natural History Bulletin* 50(7): 4-14; 50(8): 4-10. Chicago.
- ONERN (1976): *Mapa ecológico del Perú y guía explicativa*. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Lima.
- Ortlieb L, Macharé J (1989): Evolución climática al final del Cuaternario en las regiones costeras del norte peruano: breve reseña. *Bulletin de l'Institut Francais d'Etudes Andines* 18(2): 143-160.
- Paredes C, Cardoso F, Tarazona J (2004): Distribución temporal de moluscos y crustáceos tropicales en la Provincia Peruana y su relación con los eventos El Niño. *Rev. peru. biol.* 11(2): 213-218. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
<<http://sisbib.unsm.edu.pe/BVRevistas/biología/biologiaNEW.htm>>
- Pozorski T, Pozorski S (2003): The impact of the El Niño phenomenon on prehistoric Chimú irrigation systems of the Peruvian coast. *El Niño in Peru: biology and culture over 10,000 years*, J. Haas y M. Dillon (editor), pp. 71-89. Fieldiana, Botany New Series N° 43, Field Museum of Natural History, Chicago.
- Rossen J (2011): Preceramic plant gathering, gardening, and farming. *From foraging to farming in the Andes. New perspectives on food production and social organization*, T. Dillehay (editor), pp. 205-228. Cambridge University Press, New York.
- Runcio MA, Gálvez C (2006): Quebrada y Cerro Alto de Guitarras (Valle de Moche, Perú): una Visión desde el Presente. *Revista ANTI, N° Especial 2*. Actas

del Primer Coloquio Internacional "Los Andes Antes de los Inka". Centro de Investigaciones Precolombinas. Buenos Aires (publicación en CD-rom).

Sabogal J (1975): La agricultura tradicional en el desierto – Costa norte del Perú. *Indiana* 3: 267-286. Iberoamerikanisches Institut. Berlín Occidental.

Sandweiss, D., H. Rollins y J. Richardson III. 1983. Landscape alteration and prehistoric human occupation of the north coast of Peru. *Annals of the Carnegie Museum* 52(12): 277-298. Pennsylvania.

Swenson E (2007): Adaptive strategies or ideological innovations? Interpreting sociopolitical developments in the Jequetepeque Valley of Peru during the Late Moche Period. *Journal of Anthropological Archaeology* 26: 253-282.

Uceda S. Canziani J (1993): Evidencias de grandes precipitaciones en diversas etapas constructivas en Huaca de la Luna, costa norte del Perú. *Registros del Fenómeno El Niño y de eventos ENSO en América del Sur*, J. Macharé y L. Ortlief (compiladores), *Bulletin de l'Institut Francais d'Etudes Andines* 22(1): 313-343, Lima.

Watson R (1979): *Water control and land use on the arid north coast of Peru: prehispanic agricultural systems in the Chicama Valley*. Tesis de Maestría. Department of Anthropology, University of Texas, Austin.

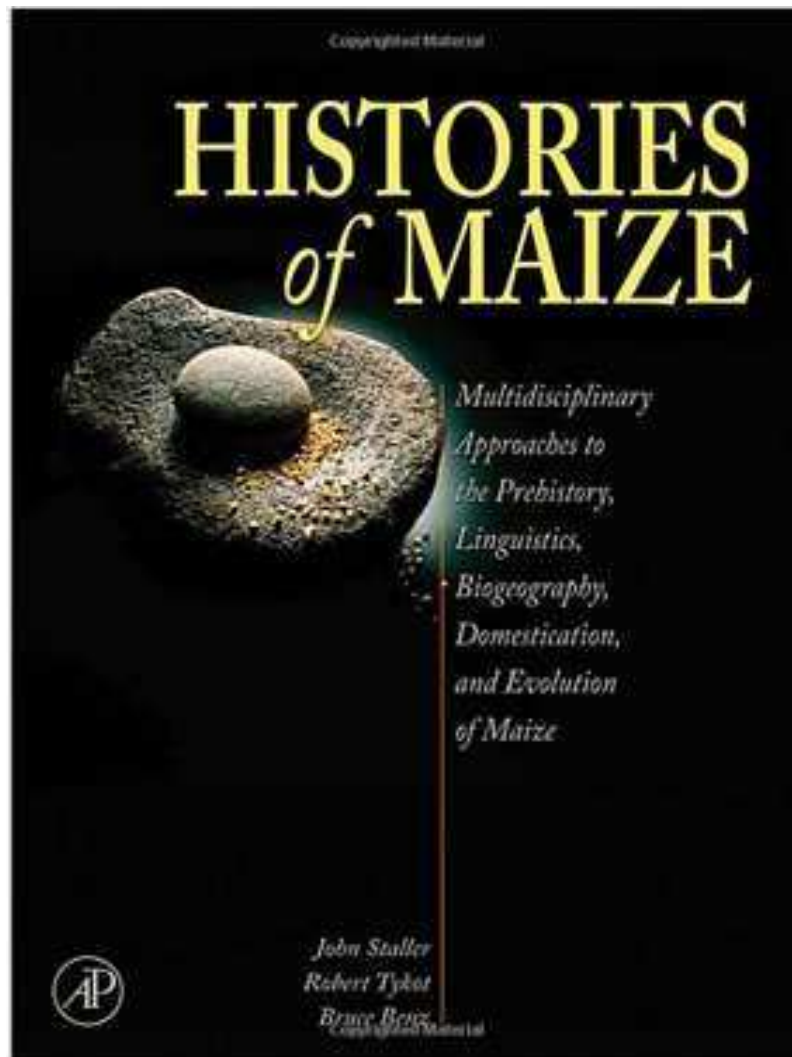


**LIBROS
PUBLICADOS**

ARQUEOBIOS

LIBROS PUBLICADOS

A continuación presentamos algunos libros y revistas que son de interés para aquellos investigadores de la Bioarqueología. Los libros son obras muy recomendables para aquellos que tienen interés particular en cada tema.



El libro presenta una compilación de diversas investigaciones referidas a la historia del maíz, tanto en Mesoamérica, Centroamérica y Sudamérica, desde el punto de vista de su domesticación, botánica, estudios químicos y radiocarbónicos. El libro se puede comprar en www.amazon.com



**POLITICA
EDITORIAL**

ARQUEOBIOS

POLÍTICA EDITORIAL

La revista "ARCHAEOBIOS" tiene como meta realizar una publicación anual, en español e inglés y será un medio de difusión masivo donde especialistas nacionales y extranjeros puedan enviar manuscritos producto de sus investigaciones en Bioarqueología. La revista tendrá arbitraje, lo que implica que todos los artículos de investigación, artículos de revisión y notas técnicas remitidos al editor serán revisados por un equipo de expertos que conforman el comité editorial, los cuales después de una evaluación cuidadosa nos permitirá otorgar la aceptación para su publicación en la misma.

SECCIONES:

Los artículos de investigación, artículos de revisión y notas técnicas deben enviarse en soporte informático (CD) al responsable de la edición de la revista, por correo o por correo electrónico (<vivasa2401@yahoo.com>).

1.- Artículos de Investigación:

Los artículos deben ser redactados en español e inglés. No deben exceder de 25 páginas de 3000 caracteres cada una (incluyendo bibliografía, ilustraciones y notas). Los artículos deben estar acompañados del nombre, apellido, función, dirección de la institución y correo electrónico del o de los autores; del resumen del artículo en los dos idiomas, aproximadamente 700 caracteres cada uno; de un máximo de seis palabras claves (descriptores) en los dos idiomas; de la traducción del título a los dos idiomas, y de un contenido con: Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión, Conclusiones y Referencias Bibliográficas".

2.- Artículos de Revisión:

Un artículo de revisión tiene como finalidad examinar la bibliografía publicada sobre un tema especializado y/o polémico, y situarla en una perspectiva adecuada para que su utilización en las interpretaciones bioarqueológicas sea adecuada. La revisión se puede reconocer como un estudio en sí mismo, en el cual el revisor tiene un interrogante, recoge datos, los analiza y extrae una conclusión.

Estos artículos deben ser redactados en español e inglés. No deben exceder de 25 páginas de 3000 caracteres cada una (incluyendo bibliografía, ilustraciones y notas). Los artículos deben estar acompañados del nombre, apellido, función, dirección de la institución y correo electrónico del o de los autores; del resumen del artículo en los dos idiomas, aproximadamente 700 caracteres cada uno; de un máximo de seis palabras claves (descriptores) en los dos idiomas; de la traducción del título a los dos idiomas, y el contenido del mismo es de formato libre.

3.- Notas Técnicas:

Las notas técnicas deben ser redactadas en español e inglés. No deben de exceder de 4 páginas a espacio simple con 3000 caracteres cada una (incluye la bibliografía e ilustraciones). Deben estar acompañados del nombre, apellido, función, dirección de la institución y correo electrónico del o de los autores. Las notas técnicas deben estar referidas a temas nuevos donde se resalten metodología y tecnologías que se aplican en las investigaciones bioarqueológicas, o comentarios técnicos sobre algún tema relevante en bioarqueología.

4.- Ilustraciones (mapas, figuras, cuadros, fotos, etc.):

Todas las ilustraciones, numeradas y señaladas en el texto, deben ser entregadas en su forma definitiva, en soporte informático y con la indicación del programa utilizado (mapas y figuras en formato vectorial).

Cada ilustración debe identificarse con un número y acompañarse por: el apellido de su autor, de un título; de las fuentes; de una leyenda explicativa de hasta 150 caracteres.

Las fotos en lo posible deben ser de formato digital, aunque pueden ser escaneadas en alta resolución o entregadas en papel de buena calidad (formato 15 cm x 10 cm). Los mapas, planos, esquemas vienen acompañados de una escala gráfica, de la orientación y de una leyenda.

4.- Referencias Bibliográficas:

La bibliografía debe incluir todas las referencias citadas en el texto y sólo éstas. Las referencias bibliográficas se presentan al final del artículo, en una lista ordenada alfabéticamente. Los títulos de las revistas y los nombres de los organismos se indicarán completos (no están permitidas las siglas). Las referencias se presentarán bajo el formato indicado a continuación:

Referencias para Libros:

Estenssoro JC (2003): Del paganismo a la santidad. La incorporación de los indios del Perú al catolicismo 1532-1750, 586 p.; Lima: Instituto Francés de Estudios Andinos (IFEA) - Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) Fondo Editorial.

Referencias para Artículos en Libros:

Barton H, Fullagar R (2006): Microscopy. In: Ancient Starch Research Edited by Robin Torrence and Huw Barton, Chapter 3, Pp. 47-52.

Referencias para Artículos de Revistas:

Han XZ, Hamaker BR (2002): Location of Starch Granule-associated Proteins Revealed by Confocal Laser Scanning Microscopy. Journal of Cereal Science 35:109-116.

5.- Evaluación:

El manuscrito será evaluado por el comité editorial de la Revista **ARCHAEOBIOS**. Los informes cuyo responsable puede quedarse en el anonimato, serán enviados a los autores. Si las correcciones solicitadas son de importancia menor, el manuscrito será aceptado para su publicación sin ser enviado de nuevo al evaluador. Si las correcciones son mayores, el manuscrito será mandado nuevamente al evaluador. En caso de una segunda evaluación negativa, el artículo será definitivamente rechazado.

Cualquier manuscrito que no respete estas instrucciones (extensión, ilustraciones no conformes a la calidad requerida por la Revista **ARCHAEOBIOS**) será devuelto a los autores para su corrección sin ser evaluada.