

Informe final* del Proyecto FZ014
Colecta de maíces nativos en regiones estratégicas de la Península de Yucatán

Responsable: Dr. Javier Mijangos Cortés
Institución: Centro de Investigación Científica de Yucatán AC
Unidad de Recursos Naturales
Dirección: Calle 43 # 130, Chuburná de Hidalgo, Mérida, Yuc., 97200, México.
Correo electrónico: jomijangos@cicy.mx
Teléfono, fax (999) 981 30 00
Fecha de inicio: Enero 30, 2008
Fecha de término: Marzo 19, 2013
Principales resultados: Base de datos, fotografías, informe final.
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Mijangos Cortés, J. O. 2013. Colecta de maíces nativos en regiones estratégicas de la Península de Yucatán. Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. Unidad de Recursos Naturales. **Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto No. FZ014.** México, D.F.

Resumen:

Se plantea realizar una colecta de maíces nativos en la península de Yucatán en el 2008, basada en cuatro regiones estratégicas que desarrollan agricultura tradicional (la milpa): el oriente del estado de Yucatán (agricultura tradicional); la zona maicera de Yucatán (sur del estado que se caracteriza por tierras arables); la región de los Chenes en Campeche, con fuerte tradición milpera; y la denominada zona de resistencia Maya en Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, donde hasta la actualidad existe una fuerte identidad cultural de la población indígena. Los trabajos de colectas adquieren relevancia en esta zona geográfica del país por sus características ecogeográficas particulares. Destaca desde hace unas décadas la amenaza a la diversidad de los maíces nativos por desastres naturales (sequías prolongadas y huracanes) que han ocasionado pérdidas de germoplasma; por otro lado, la presión del crecimiento poblacional, la modernización, las actividades económicas alternativas en el agro y programas gubernamentales dirigidos al campo para la producción de básicos (entre otros) también han contribuido con la erosión de la diversidad de maíz tan importante en los sistemas tradicionales como la milpa. La colecta y caracterización permitirá muestrear el germoplasma conservado por los agricultores tradicionales, así como estimar la diversidad actual en la zona como una estrategia para su conservación y aprovechamiento. Los sitios de colecta a su vez permitirán definir nuevas regiones de exploración y eventualmente su visita para colectas futuras. La caracterización se hará en la localidad de Conkal Yucatán en el ciclo agrícola primavera-verano/08 en condiciones de riego. La caracterización cubrirá un total de 27 variables que incluirán tres de tipo fenológico, siete vegetativos, siete de la estructura reproductiva masculina (espiga), nueve de la estructura reproductiva femenina (mazorca), la agronómica de rendimiento, y, en su caso la que llegase a presentarse de plagas y enfermedades. El análisis de la información conducirá a una estimación de la diversidad fenotípica y a establecer las relaciones de similitud existentes.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.



FZ014-COLECTA DE MAÍCES NATIVOS EN REGIONES ESTRATÉGICAS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

INFORME FINAL

RESPONSABLE

DR. JAVIER ORLANDO MIJANGOS CORTÉS

Fecha

15 DE DICIEMBRE DE 2010

PROYECTO FZ014-COLECTA DE MAÍCES NATIVOS EN REGIONES ESTRATÉGICAS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

INSTITUCIÓN ADMINISTRATIVA RESPONSABLE:

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN A.C.

UNIDAD DE RECURSOS NATURALES

C 43 # 130, COLONIA CHUBURNÁ DE HIDALGO

C.P. 97200, MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO.

RESPONSABLE DEL PROYECTO:

DR. JAVIER ORLANDO MIJANGOS-CORTÉS

INVESTIGADOR ASOCIADO C

UNIDAD DE RECURSOS NATURALES

INSTITUCIONES Y PARTICIPANTES:

Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. (CICY)

Dr. Jaime Martínez Castillo

Ing. Miguel Ángel Fernández Barrera

M.C. Erick Alberto Aguilera Cauich

Sr. Filogonio May Pat

Sr. Paulino Simá Polanco

Instituto Tecnológico de Conkal (ITC)

Dr. Luis Latournerie Moreno

Centro Regional Universitario Península de Yucatán-Universidad Autónoma Chapingo
(CRUPY)

M.C. Juan Ramón Pérez Pérez

Universidad Autónoma del Carmen (UNACAR)

M.C. Augusto Cámara Mota

INDICE GENERAL		
Resumen		3
Introducción		4
Antecedentes del proyecto		5
Objetivos		8
Estado del arte de la diversidad genética de las razas de maíz en yucatán		8
	<i>El maíz: origen y dispersión</i>	9
	<i>Estudios de diversidad y filogenéticos de maíz.</i>	9
	<i>Región de la península de Yucatán.</i>	11
	<i>Los maíces de la Península de Yucatán:</i>	12
	<i>Estudios de diversidad biológica de maíz en la región</i>	12
Metodología		14
Exploración y colecta		14
	<i>Área geográfica de colecta.</i>	14
	<i>Exploración etnobotánica y muestreo</i>	16
	<i>Adquisición y registro de información de la colecta</i>	17
Análisis de la información de las colectas		18
	<i>Análisis del manejo del maíz en la península de Yucatán</i>	18
	<i>Análisis del germoplasma colectado</i>	18
Caracterización morfológica colecta 2008		19
	<i>Sitio de experimentación</i>	19
	<i>Germoplasma caracterizado</i>	19
	<i>Caracteres evaluados</i>	20
	<i>Estrategia de análisis</i>	20
	<i>Análisis estadísticos</i>	20
Resultados y discusión		20
Exploración etnobotánica y muestreo 2008		20
Colecta del germoplasma 2008		22
Análisis del germoplasma a nivel de raza		23
	<i>Número y predominancia de razas</i>	23
	<i>Número de Razas cultivadas por productor</i>	26
	<i>Diversidad de colores en las poblaciones de maíces</i>	26
	<i>Tipos de maíces cultivados por los agricultores</i>	27
	<i>Procedencia y movimiento del Germoplasma</i>	28
	<i>Edad de los agricultores que conservan y manejan la diversidad de maíces</i>	29
Análisis de la diversidad morfológica (colecta 2008)		30
	<i>Diversidad morfológica del total de la región</i>	30
Conclusiones		34
Bibliografía		34

RESUMEN

Se realizó una colecta de maíces nativos en cuatro regiones de la península de Yucatán en el 2008, con base en el criterio de que aún desarrollan agricultura tradicional (la milpa), la mayoría de los pobladores pertenecen al grupo étnico Maya y están poco representados en los bancos de germoplasma nacionales; estas cuatro zonas corresponde a: el oriente del estado de Yucatán (agricultura tradicional muy arraigada); el cono sur del estado de Yucatán (se caracteriza por tierras arables), la zona de los Chenes en Campeche (donde se lleva a efecto la actividad maicera más importante del estado con fuerte tradición milpera) y la denominada zona de resistencia Maya en Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, donde hasta la actualidad existe una fuerte identidad cultural de la población indígena Maya. Se colectó un total de 162 poblaciones de maíces criollos en el 2008, se constituyó por tres razas, en el que la mayor proporción correspondió a la raza *Tuxpeño*, y en baja frecuencia *Dzit bacal* y *Nal Tel*. Se realizó una exploración etnobotánica, una caracterización a partir de las mazorcas colectadas directamente y se evaluaron durante la fase vegetativa 148 poblaciones en la localidad de Conkal, Yucatán. Se colectó en 39 comunidades de las 4 zonas. Se generó una base de datos en Biótica v. 4.5 que ha sido incorporada al conjunto de bases de datos de la CONABIO. Se analizó la información etnobotánica relacionada con el manejo de la diversidad de los cultivos y se analizó la diversidad genética existente en el complejo racial de la región. La raza *Tuxpeño* está ampliamente distribuida en las zonas, siendo la que se cultiva de forma preferencial, presenta una amplia diversidad inferida de la variación de los caracteres de sus poblaciones. Las razas *Dzit bacal* y *Nal Tel* presentan menor diversidad en comparación con la raza *Tuxpeño*, se encontró que algunos de sus caracteres ya no presentan variación entre sus poblaciones, lo que podría interpretarse como una pérdida de diversidad. Aunado a la disminución de variación de algunos caracteres, existe el problema de una reducción en el número de productores (y en consecuencia de poblaciones) que cultivan las razas *Dzit bacal* y *Nal Tel*, esto va aunado a reducida distribución geográfica donde se localizan, lo que las coloca en una posición de vulnerabilidad y de amenaza a su diversidad.

Palabras Clave: *Zea mays*, recolección de germoplasma, maíz criollo, *Nal tel*, *Dzit bacal*, *Tuxpeño*.

INTRODUCCIÓN

En Yucatán el maíz es el cultivo agrícola alimenticio más importante de Yucatán tanto desde el punto de vista alimentario como social, su cultivo representa anualmente alrededor del 94% de la superficie cultivada (superior a 160 mil hectáreas anuales) y volúmenes de producción alrededor de las 146 mil toneladas al año, lo que ha significado rendimientos entre 0.8 a 0.9 ton ha⁻¹, cifra por debajo del 50% del promedio nacional (2 t ha⁻¹) (Fuente: INEGI 2008). En el 2005 se calculó que en el estado de Yucatán aproximadamente 57 mil productores y sus familias dependen directamente del germoplasma local de maíz que ha sido heredado generación tras generación (FAO-PESA, 2008).

Los agricultores continúan sembrando sus variedades criollas (Arias et al., 2000) y el manejo de germoplasma a lo largo de tantos años ha generado una gran diversidad de variedades, algunas con características poco deseables pero muchas otras con caracteres agronómicos sobresalientes producto de un mejoramiento producto de los años de experiencia y herencia del conocimiento; estas variedades adicionalmente han adquirido una adaptación ecogeográfica que les confiere características con mucho potencial en usos futuros; así, Según Ortega y Dzib (1992) y Arias (1995), la riqueza peninsular de variedades locales es notable; por ejemplo, en la comunidad de Yaxcabá, Yucatán donde se han registrado por lo menos 15 variantes ubicadas dentro de las razas Mesoamericanas *Nal-tel*, *Tuxpeño* y *Dzit-bacal*.

Destaca desde hace unas décadas la amenaza a la diversidad de los maíces nativos por desastres naturales como sequías intraestivales prolongadas, plagas, enfermedades, huracanes, la presión del crecimiento poblacional, la modernización, las actividades económicas, alternativas y diversificación de actividades agrícolas fomentadas por programas gubernamentales, migración de la población rural a las ciudades y cambios en las actividades económicas en las zonas rurales.

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

La zona Maya comprende gran parte de Mesoamérica (Gómez-Pompa *et al.*, 2003) y ha estado habitada desde hace aproximadamente 10,000 años. Esta zona llegó a estar densamente poblada por varios siglos durante el llamado Periodo Clásico de la civilización Maya. La civilización maya empleó dentro de diferentes sistemas de producción agrícola la roza-tumba-quema, siendo la milpa la actividad de producción más importante que se deriva de esta, caracterizándose por ser un policultivo que tiene como eje principal el cultivo del maíz (*Zea mays* L.). La milpa perdura hasta nuestros días en algunas regiones de la península de Yucatán donde las principales razas cultivadas en la actualidad son: *Nal tel*, *Dzit bacal* y *Tuxpeño* (Hernández et al., 1995; García-Quintanilla, 1999; Gutiérrez-Martínez, 2006; Martínez-Castillo, et al. 2004; Martínez-Castillo et al., 2006).

En la milpa de la Península de Yucatán, los mayas actuales han conservado la agrobiodiversidad local como el eje de subsistencia agroalimentaria de la población campesina indígena a pesar de fuertes limitantes agroecológicas (Arias, 1995). La diversidad de maíz está claramente relacionada con factores bióticos y abióticos como los suelos, el clima y el sistema de cultivo bajo roza-tumba-quema usado por los milperos locales y factores socioculturales de preferencia a este cultivo, resultando un proceso de conservación *in situ* a través del tiempo (Hernández, 1995), que ha mantenido dicha diversidad hasta nuestros días en constante dinamismo.

La diversidad de los maíces entre los milperos yucatecos puede ser clasificada en tres grupos principales: Los Tardíos (X-nuuk Nal), Intermedios (Tsöit Bakal, X-nuuk Nal) y Precoces (X-mejen Nal y *Nal tel*) (Pérez, 1942; Hernández, 1985). Dentro de la diversidad de los tres grupos principales se pueden reconocer quince categorías de



clasificación en sus variedades locales, correspondiendo siete a la raza *Tuxpeño* (X-nuk nal), dos a la raza *Nal-tel*, dos a la raza *Dzit-bacal* y cuatro X-mejen Nal (*Tuxpeño* x *Nal-tel*), clasificación basada en caracteres morfológicos de la mazorca, color de grano, grosor del olote y duración del período vegetativo (Arias, 2004b).

En la península de Yucatán se han identificado cuatro áreas geográficas, en las cuales se continúa trabajando la milpa (Martínez-Castillo et al., 2004), abarcando cuatro de las 13 zonas geográfico-culturales establecidas por Adams y Culbert (1977). Las zonas identificadas son: 1) Noreste de Campeche, conocida como los Chenes, 2) sur de Yucatán, en la zona Puuc, 3) Noreste de Yucatán y 4) centro-oriente de Quintana Roo en la zona del Río Bec (Martínez-Castillo, et al. 2004). Las cuatro áreas tienen características muy particulares de fisiografía, vegetación, y agroecológicas (Duch-Gary, 1991; Orellana et al., 1999) y han tenido, así mismo, trayectorias culturales y económicas propias.

En la última mitad del siglo pasado se estima que se mantuvo la diversidad de los maíces locales de ciclo largo, no así los de ciclo más corto; los maíces locales de ciclo largo X-nuuk nal (Raza *Tuxpeño*, variantes amarillos y blancos) han sido sembrados mayoritariamente y preferentemente, seguido por los materiales locales intermedios *Dzit bacal* y la combinación racial de *Tuxpeño* con *Nal tel*, llamado X-mejen Nal. Sin embargo, se detectó la disminución creciente de materiales precoces especialmente la raza *Nal tel*, mientras se incrementó la reciente entrada de materiales mejorados, los cuales por su corto período de crecimiento han ocupado el lugar de los precoces. En las comunidades maiceras se ha observado una baja frecuencia de siembra de materiales acriollados y mejorados, aunque estos últimos se han incrementado en frecuencia en los últimos años. La siembra de mayor diversidad de maíces ofrece un aumento en las probabilidades de cosechas y como consecuencia de conservar semillas y asegurar alimentos básicos de la sobrevivencia familiar (Arias-Reyes, 2004).

El uso y preferencia hacia materiales mejorados se ha visto limitada por los hechos de tener que invertir en la adquisición de la semilla en cada ciclo agrícola, ya que ésta no puede ser conservada por los métodos tradicionales, la semilla se pierde por la afectación de plagas de almacén (Gorgojo); adicionalmente, implica un gasto por insumos como fertilizantes y herbicidas durante su cultivo.

La conservación del germoplasma local de maíz es llevada a cabo por los campesinos en función de las condiciones climáticas prevaletentes en el área, mientras la pérdida del germoplasma está principalmente influenciada por factores socioeconómicos, por lo que el manejo campesino de la diversidad cultivada es cambiante a través del tiempo observándose cambios a favor o en contra (Arias, 2004).

De forma paralela se han efectuado colectas con la finalidad de estudiar la diversidad del cultivo y eventualmente conservarla mediante el método *ex situ* (en bancos de semillas). Durante la década de los años de 1940 se tiene el primer registro de colectas de maíz en la península de Yucatán, formando parte del trabajo de las razas de maíz en México (Wellhausen et al., 1951). En años recientes (1998) inició el



OBJETIVOS

GENERAL

Conocer la diversidad de maíces nativos de la Península de Yucatán que se conservan en los sistemas tradicionales de cultivo, como una estrategia para su conservación y aprovechamiento.

PARTICULARES

- Explorar y coleccionar muestras de las diferentes poblaciones nativas de maíz en la península de Yucatán.
- Colectar la mayor cantidad de germoplasma de maíz de la raza *Nal Tel*, por medio de una exploración amplia en zonas estratégicas.
- Caracterizar morfológicamente las poblaciones de maíz nativo colectados.
- Estimar la diversidad morfológica del complejo racial de maíces nativos de la península de Yucatán y establecer sus relaciones de similitud.
- Integrar una base de datos con el germoplasma coleccionado.

ESTADO DEL ARTE DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DE LAS RAZAS DE MAÍZ EN YUCATÁN

En el año 2002 Matsuoka *et al.* presentaron evidencias moleculares que reafirmaron que el centro primario de origen del maíz se localizaba en el centro occidente de México en la región del balsas y se dieron evidencias moleculares de que a partir de su origen ocurrieron dos rutas principales de dispersión: hacia el norte por la Sierra Madre Occidental y hacia el sur por tierra firme (sin especificar una ruta) hacia América del sur (Matsuoka *et al.*, 2002; Vigoroux *et al.*, 2008). La dispersión del maíz hacia tierras bajas tropicales del sureste de México y en específico de la Península de Yucatán y de la porción de diversidad que tuvo éxito para esta dispersión es aún desconocida. El análisis de la diversidad genética a diferentes niveles de organización como razas y poblaciones, son el primer paso para el entendimiento de cómo está estructurada la organización de la diversidad del maíz y da evidencia de cómo se llevó a cabo su distribución geográfica durante el proceso de domesticación y diseminación (Vigoroux *et al.*, 2008).

Una de las razas que tuvo éxito en su dispersión hacia las regiones geográficas del sur y sureste de México donde predominan bajas altitudes y climas cálidos y tropicales fue la raza *Nal tel*, la cual ha sido considerada desde el inicio de la clasificación de la diversidad a nivel de razas, como una raza antigua (Wellhausen *et al.*, 1951). Pocas razas encontraron condiciones propicias para diseminarse hacia el sureste de México. En el caso de la península de Yucatán existe una diversidad relativamente baja de razas: *Nal tel* y dos de más reciente formación (*Dzit bacal* y *Tuxpeño*). Esta región de México es un área geográfica con peculiaridades agroclimáticas muy restrictivas. Es

importante descifrar la diversidad genética producto del desarrollo histórico de la sociedad de la región en su conjunto y del grupo étnico Maya que parecen haber generado un desarrollo evolutivo y un patrón de diversidad único y diferente a los otros.

Hasta el momento se han realizado a lo largo del tiempo por diferentes investigadores exploraciones etnobotánicas con la finalidad de coleccionar germoplasma y llevarlo a conservación en bancos de semillas, aunque algunas colectas han sido muy dirigidas a zonas específicas y en algunos casos el germoplasma no ha logrado mantenerse en conservación. Las colectas han tenido diferentes objetivos, inicialmente de estudiar la diversidad llegando a determinarse las razas presentes, otras se convirtieron en colecciones de trabajo con fines mejoramiento.

El maíz: origen y dispersión. El área geográfica de domesticación primaria del maíz (*Zea mays* L. subsp. *mays*) se localiza en el Centro-Occidente de México, en la cuenca de los ríos Lerma y Santiago, según lo confirman las diferentes líneas de evidencia, desde antropológicas (Mangelsdorf y Smith, 1949; Barghoorn *et al.*, 1954; Lorenzo y González, 1970; Flannery, 1973) hasta citogenéticas (Kato, 1984) y las moleculares que hasta el momento solo han abordado en forma gruesa este tipo de estudios, la cuenca del Balsas (Doebley *et al.*, 1984 y 1987; Matsuoka *et al.*, 2002; Matsuoka, 2005). En esta región puede ser encontrado creciendo de manera natural el maíz silvestre o teocintle (*Zea mays* subsp. *parviglumis*), que es considerado el ancestro del maíz actual y encuentra su mayor distribución en los valles y lomeríos del río Balsas (Doebley, 1990).

Al iniciar la domesticación en el Centro-Occidente de México, esta región se convirtió en el punto de partida y dispersión del maíz (Miranda, 2003). Al respecto, algunos estudios raciales han sugerido que el maíz de la región centro occidente segregó en los complejos de valles altos norteños y en los del sur de bajas altitudes (Doebley *et al.*, 1985). Cuevas (2003) postuló que partiendo del centro de domesticación de la especie, el maíz domesticado emigró primero hacia América del Norte y después hacia América Central, América del Sur y el Caribe. Matsuoka *et al.* (2002) proponen dos rutas de dispersión; una a través del occidente y norte de México hacia el suroeste de E.U. y posteriormente hacia el oriente de E.U. y Canadá; la segunda ruta parte de los valles altos de México hacia el oriente y las tierras bajas del sur de México y Guatemala, de aquí hacia las Islas del Caribe, y las tierras bajas de Sudamérica, y finalmente las montañas de los Andes.

El maíz, sin duda ha sido domesticado y dispersado por los grupos étnicos desde hace varios miles de años, esto es, desde la era del Neolítico y la mayor proporción de la diversidad observada en el cultivo fue generada por la acción humana en los sistemas de producción agrícola ancestrales (Miranda, 2003).

Estudios de diversidad y filogenéticos de maíz. Los análisis de ADN con microsatélites (Matsuoka *et al.*, 2002) sugieren que los maíces se diversificaron primero en los valles altos (particularmente entre los estados de Oaxaca y Jalisco),

proyecto Fortalecimiento de las bases científicas para la conservación *in situ* de la biodiversidad agrícola: México+ (Arias et al., 2004) en la que Arias et al. en 1999 realizaron 320 colectas de maíz en el centro oriente del estado de Yucatán (municipios de Yaxcaba, Cantamayec, Dzitas, y Opichen) iniciando un trabajo de mejoramiento participativo en la localidad de Yaxcaba Yucatán (Camacho y Chávez, 2004). En 1999 se realizó una exploración y colecta de 376 maíces criollos a nivel de península de Yucatán en la que quedaron representadas las regiones de Centro y parte del Oriente del estado de Yucatán (Thamek, Tunkás, Dzitas, Tizimín y Chemax), las regiones de Camino Real y los Chenes de Campeche y la región Centro Sur de Quintana Roo (Burgos et al., 2004). De esta última colecta fueron caracterizadas 120 poblaciones nativas en la localidad de Yaxcabá, Yucatán.

Un estudio reciente reveló que en los tres bancos de germoplasma más importantes de México (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-El Horno, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo-El Betán y la Universidad Autónoma Chapingo) se tienen en resguardo 617 accesiones correspondientes a las tres razas principales que pueden ser ubicadas en la Península de Yucatán (Arias et al., 2007). Hacia 1991, se observó que existía poca diversidad en la raza *Nal tel* y confirmándose nuevamente en la colecta realizada por Dzib y depositada en el Banco de Germoplasma de Chapingo en 2001 (22 poblaciones Comunicación personal). Arias et al. (2007) señalan que la raza *Nal tel* presenta una muy baja frecuencia entre las poblaciones de maíces representados en las colectas (5.5%), por lo que se encuentra en riesgo de desaparecer. Sin embargo, se observa que las variantes de ciclo intermedio igualmente son conservadas en baja frecuencia (10-25%). Es evidente, que la raza *Nal tel* se encuentra en riesgo de extinción por lo que representaría la prioridad número uno en una colecta.

Cabe señalar que la falta de adaptación de los materiales mejorados a uno o varios de los factores limitantes en la región abren la posibilidad de recurrir al germoplasma local que ya está adaptado o contiene caracteres de resistencia a factores adversos para realizar el mejoramiento incorporando o incrementando aquellas colectas de mayor interés.

La raza de maíz *Nal Tel* es considerada como una de las razas indígenas antiguas (Wellhausen et al., 1951) y representa un complejo de maíces con una distribución geográfica que se extendía principalmente en la zona de influencia de la cultura Maya, incluyendo las tierras bajas de la península de Yucatán, cultivándose en el traspatio de la casa en sus inicios y en sistemas de producción agrícola tradicionales como la milpa, que es agricultura de subsistencia en regiones con condiciones de estrés ambiental fuerte y donde los sistemas de producción se caracterizan por su baja intensificación y reducida aplicación de insumos.

antes de que se distribuyeran hacia las regiones bajas; estos resultados se han reforzado con el análisis filogenético más reciente realizado por Vigouroux *et al.* (2008), que se ajustan con la ubicación del centro primario de domesticación: Centro-Occidente de nuestro país (Miranda, 2003).

Anderson en 1946, sugirió que el maíz no está distribuido al azar en las diferentes regiones geográficas, sino que se encuentra asociado en complejos amplios con marcada tendencia geográfica y altitudinal, y que existen variaciones de planta a planta en la misma parcela, de parcela a parcela en la misma localidad, y de región a región. Esta hipótesis se ha ido confirmando a través del tiempo, Vigouroux *et al.* (2008) al analizar la estructura genética de razas de maíces modernos y ancestrales con microsatélites de gran parte del continente americano detectó la formación de cuatro agrupamientos, los cuales pueden ser conceptualizados como los complejos mencionados por Anderson (1946) a nivel macro: uno de valles altos de México, otro del norte de los Estados Unidos de Norte América, los Tropicales de tierras bajas y las razas andinas.

Anteriormente, Benz (1986) basado en caracteres morfológicos de la mazorca de 30 razas mexicanas reconoció dos complejos raciales: el complejo de mazorca piramidal mexicano, que incluyó los maíces de altitud superior a los 1,800 m.s.n.m. de la agrupación de la Trans-sierra Madre y la agrupación de los Valles Altos Centrales; y el Complejo Mexicano de Mazorca Angosta que fue subdividido en tres agrupaciones raciales: Grupo Racial México Balsas-Occidente que presentó las razas más primitivas de México, Subgrupo Racial Istmica y Subgrupo Racial Mixe, todas por debajo de 1 800 msnm. Las razas *Tuxpeño*, *Celaya*, *Vandeño* y *Tepecintle* no presentaron afinidad clara por ningún complejo, y describió cinco razas nuevas: *Chatino Maízón*, *Mixeño*, *Choapaneco*, *Mixteco* y *Serrano Mixe*.

Los estudios moleculares hechos con isoenzimas (Doebley *et al.*, 1985; Sánchez *et al.*, 2002a, 2002b); cpADN (Doebley, 1983; Doebley, 1990), y secuencias de ADN nuclear (Eagles y Lothrop, 1994; Goloubinoff y Wilson, 1993; Matzuoka *et al.*, 2002), han demostrado que el maíz es particularmente diverso genéticamente. A medida que se analiza mayor proporción del genoma, se ha podido establecer mayores relaciones de parentesco y similitud (Doebley, 1990; Matsuoka *et al.*, 2002; Vigouroux *et al.*, 2008). Estos hallazgos, en combinación con el desarrollo de nuevos métodos de análisis estadísticos, han permitido clasificar la diversidad en más de 310 razas en todo el continente americano (Vigouroux *et al.*, 2008) y más de 62 en México (Sánchez *et al.*, 2000a).

Desde 1942, la clasificación de la diversidad de los tipos nativos de maíz se ha basado en la categoría taxonómica de raza, fundamentada en ese concepto mediante el uso de caracteres cuantitativos más que cualitativos, que reúnen e integran gran cantidad de datos y se conceptualiza como un grupo de individuos relacionados, con suficientes características en común como para permitir su reconocimiento como tal, refiriéndose al número de integrantes como un número grande de individuos, por lo que el análisis es de

grupos, no de individuos por separado (Anderson y Cutler, 1942). En consecuencia, desde el punto de vista genético, deben tener un número significativo de genes en común.

Wellhausen *et al.* (1951) con base en características morfológicas y fisiológicas describieron la diversidad en 25 razas diferentes de maíz, tres subrazas y mencionaron siete tipos de maíz poco definidos. Hernández y Alanís (1970) describieron cinco razas adicionales de la Sierra Madre Occidental. McClintock *et al.* (1981), realizando análisis citogenéticos de más de 40 razas de Mesoamérica, encontraron una gran variación en número cromosómico (al presentarse el cromosoma denominado 10 anormal y los cromosomas B, así como diferencias en la frecuencia y el tamaño de los nudos cromosómicos. Benz (1986) con maíces mexicanos identificó cinco razas nuevas. Ortega *et al.* (1991) identificaron 41 razas de las partes altas del centro y norte del país. Sánchez *et al.* (2000a) reportaron 59 razas considerando a todas las anteriores. Actualmente, incluidos los trabajos realizados por diferentes instituciones, se estima la existencia de un número superior a 65 razas en México.

El desarrollo de los marcadores moleculares ha proporcionado las herramientas para poder estimar la diversidad genética al nivel de ADN. En maíz, se ha dado amplio uso a los marcadores isoenzimáticos desde inicios de la década de los años 1980 (Goodman y Stuber, 1983; Stuber *et al.*, 1988). En años recientes se ha tendido a complementar, y eventualmente reemplazar, los estudios genéticos con marcadores de ADN basados en PCR; de estos, los SSR han mostrado un enorme potencial para el análisis del ADN a gran escala por los elevados niveles de polimorfismo detectados en maíz, así como por ser de tipo co-dominante, con elevada precisión, repetibilidad y por permitir un muestreo amplio del genoma (Smith *et al.*, 1997; Reif *et al.*, 2003). Pressoir y Berthaud (2004), empleando 11 marcadores microsatélites obtuvieron que el patrón de la estructura poblacional de maíces de los valles centrales de Oaxaca presenta una baja diferenciación genética ($F_{st}= 0.011$) entre poblaciones de maíces de diferentes localidades de la región, y que no existe aislamiento geográfico debido a la distancia física entre localidades, por lo que se presenta un flujo genético entre los maíces de las localidades, inferido a partir de la baja diferenciación ($F_{st}= 0.003$) entre las poblaciones de maíces que se cultivan en cada una. Por otro lado, estos autores, detectaron un elevado nivel de homocigosis dentro de las poblaciones ($F_{is}=0.13$) lo que demuestra que existen diferencias considerables entre poblaciones y entre loci.

Región de la península de Yucatán. La civilización maya (300-900 años D.C.) empleó dentro de diferentes sistemas de producción agrícola la Roza, Tumba y Quema (RTQ) y la actividad de producción más importante que se deriva de esta es la milpa, que se caracteriza por ser un policultivo que tiene como eje principal el cultivo del maíz, con las razas *Nal tel*, *Dzit Bacal* y *Tuxpeño* (Hernández *et al.*, 1995). La milpa perdura hasta nuestros días en algunas regiones de la península de Yucatán, mientras que en otras ha ido sufriendo modificaciones o adaptaciones (García-Quintanilla, 1999; Gutiérrez-Martínez, 2006); diferentes instituciones han realizado, y están realizando estudios para entenderla y conservarla; en 1998 inició el proyecto Fortalecimiento de las bases científicas para la conservación *in situ* de la biodiversidad agrícola: México+ (Arias *et al.*, 2004) en la que hacen uso de 320

variedades de maíz de una colecta efectuada en 1999 en el centro oriente del estado de Yucatán, en los municipios de Yaxcabá, Cantamayec, Dzitas, y Opichén (Camacho-Villa y Chávez-Servia, 2004).

Se han identificado áreas geográficas sobresalientes en la península de Yucatán, en las cuales se continúa trabajando con la milpa (Martínez-Castillo *et al.*, 2004; Martínez-Castillo, *et al.* 2006), abarcando cuatro de las 13 zonas geográfico-culturales establecidas por Adams y Culbert (1977). Las cuatro áreas tienen características muy particulares de fisiografía, vegetación, y agroecológicas (Duch-Gary, 1991; Orellana *et al.*, 1999) y han tenido, así mismo, trayectorias culturales y económicas propias.

Los maíces de la Península de Yucatán: Las primeras colectas de maíz en la península de Yucatán se hicieron en los años de 1940 formando parte del trabajo de *Las Razas de Maíz en México* (Wellhausen *et al.*, 1951). Los agricultores de la región reconocen hasta 15 variantes en función de caracteres morfológicos y fenológicos; dentro de estas variedades se pueden identificar tres razas principales: *Tuxpeño*, *Dzit Bacal* y *Nal tel*; así mismo, se reconocen variantes morfológicas con énfasis en caracteres de mazorca, color y forma de grano, y de forma complementaria existe el reconocimiento por la duración del ciclo biológico (Arias *et al.*, 2004).

La raza *Nal tel* es considerada como una de las razas indígenas antiguas (Wellhausen *et al.*, 1951) y representa un complejo de maíces primitivos con una distribución geográfica que se extiende principalmente en la zona de influencia de la cultura Maya, incluyendo las tierras bajas de la península de Yucatán. Esta raza es usada en sistemas de producción agrícola tradicionales como la milpa (agricultura de subsistencia y autoconsumo principalmente), los sistemas de producción se caracterizan por su baja intensificación y reducida aplicación de insumos.

El complejo *Nal-Tel* se caracteriza por su precocidad (3 meses), bajos rendimientos atribuidos a su ciclo de vida tan corto, produce mazorcas pequeñas con pocas hileras de pocos granos que son pequeños; sin embargo, también destacan sus características de alta adaptación a las condiciones climáticas adversas (resistencia a sequía) y edáficas de la región (tolerancia a suelos pobres y pedregosos), elevada tolerancia a plagas (de campo y almacén) y enfermedades, cobertura total y protección de la mazorca y el grano por sus brácteas, lo que le permite ser almacenado por un periodo de tiempo largo en campo (en los tallos secos de la planta), altos contenidos de proteínas en granos cristalinos reventadores. Su influencia es muy probable que esté presente en las variedades precoces del occidente y sur de México, además de las amarillas de Cuba. Sin embargo, exploraciones recientes (2007) en la región por parte de nuestro equipo de trabajo sugieren que esta raza se encuentra seriamente amenazada y en riesgo de desaparecer, tal como lo avizó Burgos *et al.* (2004) y lo confirmaron Arias *et al.* (2007) en un análisis histórico de colectas en los principales bancos de germoplasma del país.

Estudios de diversidad biológica de maíz en la región. Los estudios de diversidad genética de esta región han sido escasos y no han sido divulgados de

forma adecuada, la mayoría de ellos han sido desde el enfoque de clasificación por el agricultor, morfológico y uno preliminar con marcadores isoenzimáticos.

Campesinos de la región central del Estado de Yucatán reconocen 15 variantes distribuidas entre las tres razas, dos en la raza *Nal tel*, dos en la Raza *Dzit Bacal*, siete en la raza *Tuxpeño* y cuatro en un subgrupo denominado Xmejen-Nal que posiblemente sean producto del cruzamiento de variedades precoces con tardías, o flujo genético y selección bajo domesticación y que se identifican principalmente por ciclos de vida entre dos y 2.5 meses (Arias *et al.*, 2004).

Así, se ha reconocido que el campesino reconoce un patrón de diversidad fenotípico y fenológico definido en primera instancia por la raza, que lleva implícito cerca de 13 caracteres morfológicos (Argáez *et al.*, 2002) y en segundo plano los caracteres de color de grano en combinación con la duración del ciclo de cultivo (Arias *et al.*, 2004). Análisis preliminares con marcadores isoenzimáticos de nueve poblaciones evidenciaron diferencias genéticas que separan a las razas (Arias *et al.*, 2004). Análisis morfológicos han confirmado que las estructuras que más contribuyen en la variación morfológica son la espiga, la mazorca y el grano (Camacho-Villa y Chávez-Servia, 2004).

Estudios en el Centro-Oriente del estado de Yucatán (Camacho-Villa y Chávez-Servia, 2004), determinaron que la diversidad entre razas presenta un patrón que es definido principalmente por el ciclo del cultivo, el número de granos por hilera, la longitud total de la espiga, longitud de la rama central de la espiga y el número de ramificaciones de la espiga; con lo que se pudo diferenciar ocho grupos, siete de ellos principalmente por la longitud del ciclo de cultivo y uno por el reducido número de hileras de grano.

A nivel de península de Yucatán en 1999 con maíces criollos de las regiones de Centro y Centro-Oriente del estado de Yucatán, las regiones de Camino Real y los Chenes de Campeche y la región Centro Sur de Quintana Roo, se observó que el patrón de distribución de la diversidad puede ser explicado principalmente por los caracteres de duración del ciclo de cultivo, altura de la planta, número de hojas abajo de la mazorca, longitud de la mazorca, número de hileras de granos y el diámetro del olote (raquis y médula), diferenciando la diversidad a nivel de raza y en la que la raza *Tuxpeño* presenta la mayor variación intra racial, mientras que la raza *Nal tel* la menor variabilidad morfológica (Burgos *et al.*, 2004).

Arias *et al.* (2007) señalan que en las colectas de maíces de la península de Yucatán existentes en los tres principales bancos de germoplasma del país, la raza *Nal tel* está presente en muy baja frecuencia (5.5%), por lo que se encuentra en riesgo de desaparecer. Las variantes de ciclo intermedio igualmente son conservadas en baja frecuencia (10-25%). Las colectas de germoplasma en la Península de Yucatán indican que al rededor del 70% del germoplasma manejado por los agricultores es de la raza *Tuxpeño*, lo que resalta su preferencia e importancia como fuente alimenticia en las comunidades.



A partir de los estudios mencionados de diversidad morfológica se podría inferir la variación fenotípica y la diversidad a nivel de paisaje de algunas zonas de la región, principalmente de la denominada franja maicera del estado de Yucatán; esto implica que existe un vacío en la información a nivel de genes y alelos, siendo la base de la diversidad y de la historia evolutiva de la especie y sus razas (Rajora, 1999).

METODOLOGÍA

EXPLORACIÓN Y COLECTA

El maíz es un cultivo domesticado, por lo que depende de las poblaciones humanas; así, la colecta se realizó teniendo como precedente las colectas realizadas a lo largo del tiempo, exploraciones etnobotánicas realizadas en 2007 y trabajos comunitarios y técnico-académicos de los diferentes participantes del proyecto.

En el presente informe se integra información correspondiente a dos colectas efectuadas en las mismas zonas durante los años 2007 y 2008; aunque, el objeto de financiamiento del proyecto FZ014 auspiciado por la CONABIO fue la colecta realizada durante el 2008.

Área geográfica de colecta. A lo largo de la Península de Yucatán existe un gradiente climático desde la zona norte más seca hasta las zonas más húmedas al sur, lo que está estrechamente relacionado a las variables climáticas como precipitación, geología, topografía y edafología. La constitución geológica corresponde al área tectónica más reciente de fines de la era terciaria. En el territorio norte no existen corrientes superficiales de agua; sin embargo, en el subsuelo se forman depósitos comúnmente conocidos como Cenotes y en algunos sitios se encuentran depósitos denominados aguadas. La confluencia de estos factores conduce a diferentes tipos de ecosistemas y asociaciones de vegetación. Así, existe una mezcla de selvas secas en el norte hasta selvas medianas y altas en la zona sur de la península.

En la península de Yucatán se han registrado cambios que han afectado las actividades socio-culturales y económicas que han impactado directamente la actividad agropecuaria con una resultante de seria amenaza para las poblaciones de maíces nativos (en especial la raza *Nal tel*). Sin embargo, de los trabajos mencionados de Martínez-Castillo et al. permitieron identificar cuatro áreas geográficas donde se continúa con la actividad agrícola basada en la milpa, principalmente con maíces criollos o acriollados y que son las propuestas para una primera exploración de colecta que permita determinar el estado actual de estos maíces.

La selección estuvo fundamentada en los siguientes aspectos: son regiones en las que los maíces nativos están siendo cultivados, tradicionalmente han mantenido el sistema de cultivo de la milpa en la que el maíz es la especie principal, culturalmente se conservan tradiciones ligadas a los respectivos grupos indígenas y su cosmovisión se refleja principalmente en el manejo y desarrollo de la actividad agrícola.

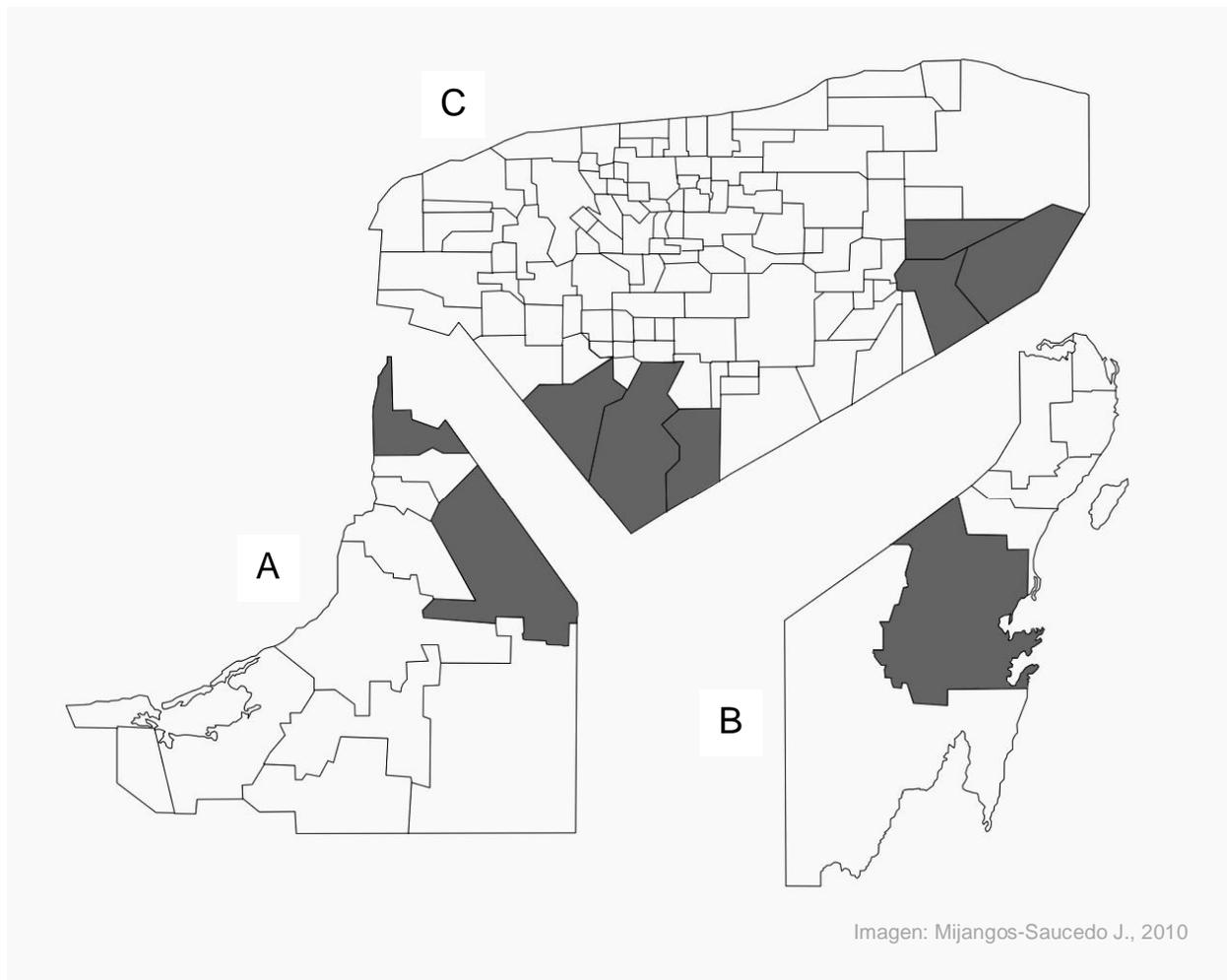


Imagen: Mijangos-Saucedo J., 2010

Figura 1. Área geográfica de colecta de maíces nativos en regiones estratégicas de la Península de Yucatán. A) Estado de Campeche, B) Estado de Quintana Roo y C) Estado de Yucatán. Nota: Imagen con escalas diferentes entre estados tomados de INEGI.

Las zonas de exploración y colecta fueron:

- 1) Noreste de Campeche, conocida como los Chenes, la cual involucró los municipios, Hopelchen y una comunidad de Calkiní (Figura 1A, Cuadro 1).
- 2) Sur de Yucatán, localizado en la zona Puuc y consideramos principalmente tres municipios: Oxkutzcab, Tzucacab, Chemax y Tekax (Figura 1C, Cuadro 1). Esta zona adquiere relevancia ya que la actividad agrícola ha sufrido grandes cambios y transformaciones tendientes a una modernización. Se ubica abajo de la principal zona maicera del estado de Yucatán.
- 3) Oriente de Yucatán, en los municipios de Temozón y Valladolid. Es una región que ha sufrido cambios en años recientes, principalmente en la extensión de la

actividad pecuaria y algunos cambios por introducción de tecnologías modernas y cultivos alternativos (Figura 1C, Cuadro 1).

4) Centro-oriente de Quintana Roo en la zona del Río Bec en el municipio de Felipe Carrillo Puerto (Figura 1B, Cuadro 1), es una región que ha sido poco colectada, su exploración es importante por su ecogeografía contrastante con las otras regiones.

Cuadro 1: Ubicación del área geográfica de las zonas de exploración y colecta de maíces nativos en la Península de Yucatán.¹

Estado	Municipio	Latitud (Min-Max)	Longitud (Min-Max)	Altitud (Promedio)	Superficie (km ²)
Yucatán	Temozón	20° 57q	87° 47q	22	1,087
		20° 48q	88° 16q		
	Valladolid	20° 51q	87° 50q	25	945.2
		20° 27q	88° 20q		
	Chemax	20° 35q	87° 33q	26	1,948
		20° 38q	88° 04q		
	Tzucacab	19° 38q	88° 59q	36	1,289
		20° 09q	89° 14q		
	Oxkutzcab	20° 21q	89° 22q	33	512
		19° 58	89° 46q		
Tekax	19° 32q	89° 09q	37	3,820	
	20° 19q	89° 39q			
Campeche	Hopelchen	17° 48q	86° 06q	250	7,460
		20° 11q	90° 09q		
	Calkiní	17° 48q	89° 53q	10	1,967
		20° 11q	90° 29q		
Quintan Roo	Felipe Carrillo	20° 10q	88° 43q	25	13,806
	Puerto	20° 51q	87° 26q		
Total	9 Municipios				32,834.2

¹ Fuente: Enciclopedia de los municipios de México. 2005. http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_Enciclopedia. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Secretaría de Gobernación. México.

Exploración etnobotánica y muestreo. El equipo de colecta se constituyó de dos a cinco integrantes, de los cuales siempre uno fue hablante del idioma Maya. En cada una de las cuatro zona se tomó una o dos localidades como base para el inicio de los recorridos, generalmente la de mayor importancia por número de pobladores, económica o por su ubicación geográfica estratégica, a partir de la cual se partía para hacer rutas de recorrido hacia los diferentes rumbos siguiendo los caminos principales y posteriormente los caminos vecinales y de milpa. Así, se recorrieron las comunidades, poblados y parcelas. Las casas y las parcelas de las diferentes

comunidades fueron visitadas las veces que fue necesario para hacer la colecta del germoplasma y recabar la mayor cantidad de información.

Como parte del muestreo, al llegar a cada comunidad se hizo un reconocimiento del pueblo en la búsqueda y localización de casas en cuyo traspatio se observara troje de maíz. Por lo general se realizó la visita a una casa con troje de los diferentes puntos cardinales del pueblo, si accedían a la entrega de germoplasma se procedió a levantar la encuesta, realizar la colecta de mazorcas, y elaborar los datos de pasaporte.

En la visita a los primeros agricultores de cada comunidad y durante la encuesta (plática), se indagó sobre la existencia de los agricultores de la misma comunidad o comunidades contiguas o cercanas que consideraran como los más reconocidos por el tiempo de dedicarse a la milpa, la conservación de la forma tradicional de llevar a efecto las labores de la milpa, tener la mayor diversidad de tipos de maíces y/o ser los que mejor conservan su maíz. En todos los casos se buscó a los principales agricultores para coleccionar su germoplasma; no en todos los casos fue posible realizar dicha colecta.

En función a la problemática que se presenta en algunos tipos de maíces de la región (como se puede inferir de los antecedentes del proyecto), se dio primordial importancia a la búsqueda y colecta de poblaciones de maíz de las razas *Nal tel* y *Dzit bacal*; en el caso de estas razas se preguntaba de manera específica si la conocía y sabía si alguien la cultivaba; para el caso de la raza *Nal tel* no se ignoró ninguna población de maíz detectada durante las entrevistas con los agricultores y en caso de dar información al respecto se realizó la búsqueda dirigida.

El germoplasma coleccionado varió de 1-2 kg de semilla en los casos que el productor ya tenía desgranado el maíz, o al menos 20 mazorcas directamente obtenidas de la troje del traspatio del agricultor o en visita a las trojes de sus diferentes parcelas. En el caso de la raza *Nal tel*, cuando se localizó a productores que aún la cultivaban se coleccionó el mayor número de mazorcas posibles. Las colectas de poblaciones de maíces de la raza *Nal tel*, fueron muestreadas con el mayor número de mazorcas posibles que el productor accedió a entregar.

Las diferentes poblaciones de maíces coleccionadas fueron colocadas en bolsas plásticas independientes, identificándose claramente con su código en el interior y en el exterior de la bolsa correspondiente a su asignación en el registro de levantamiento de colecta y datos de pasaporte. Los

Adquisición y registro de información de la colecta. Los agricultores proveedores de germoplasma fueron encuestados mediante una entrevista prediseñada que junto con los datos de pasaporte de las colectas proporcionó la información solicitada por la CONABIO en el Anexo 1 de la convocatoria y otros temas de interés. De forma genérica, dicha información corresponde a la identificación de la procedencia del material, donador, ubicación del mismo donador, y preguntas de

interés etnobotánico. Por otra parte se tiene la precharacterización con datos a partir de las mazorcas colectadas (Cuadro 2).

Una vez finalizada la colecta y el levantamiento de la información, se generaron los registros de datos de pasaporte y la información fue capturada en la base de datos BIÓTICA 4.5 que proporcionó la CONABIO.

En este proyecto fueron reportadas dos colectas, una en 2007 y la segunda en 2008, realizadas en las mismas zonas aunque con ligeras variantes metodológicas, de comunidades y/o agricultores visitados, por lo que, en lo general se puede decir que son complementarias.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE LAS COLECTAS

La información fue manejada en dos formas para efectos de este informe. Las variables cualitativas fueron procesadas por métodos descriptivos y en algunos casos se manejaron datos categóricos por lo que se emplearon datos de frecuencias como apoyo. En el caso de las variables cuantitativas producto de la precharacterización a partir de mazorca y Caracterización preliminar se procedimientos de análisis estadísticos.

Análisis del manejo del maíz en la península de Yucatán. Durante la entrevista prediseñada y el levantamiento de datos de pasaporte de cada colecta (2007 y 2008), se recabó información a partir de los productores; la cual tenía como finalidad conocer la forma en cómo el agricultor maneja el cultivo y su relación con la diversidad del maíz.

Análisis del germoplasma colectado. Inicialmente se realizó una descripción completa sobre el número y predominancia de razas por estados producto de la colecta 2008, para lo que se emplean números absolutos y relativos (porcentajes).

Para efectos de tener un sesgo menor de información, los análisis de: Número de razas cultivadas por productor, Diversidad de colores en las poblaciones de maíces, Tipos de maíces cultivados por los agricultores, Procedencia y movimiento del Germoplasma y Edad de los agricultores que conservan y manejan la diversidad de maíces, se generó a partir de los datos de la colecta 2007.

La colecta que se realizó durante el año 2007, presentó la diferencia con la colecta del 2008 de que no existió una búsqueda dirigida de la raza *Nal tel*, por lo que el muestreo fue completamente al azar bajo el esquema de visita a casas de agricultores con troje en sus traspatios en cualesquiera de los puntos cardinales de la comunidad y en función al tamaño de la comunidad se decidía la búsqueda del agricultor o agricultores reconocidos. Esto hace más equitativo el muestreo por razas y por zonas.

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA COLECTA 2008

Sitio de experimentación. El ensayo se estableció Conkal Yucatán, donde se tuvo un terreno adecuado para trabajo agrícola de milpa y con cierta infraestructura para riego, lo que permitió disminuir el riesgo de pérdidas por sequía, así como un mejor control para el seguimiento del desarrollo del cultivo. El municipio de Conkal se ubica en la región centro norte del estado. Queda comprendido entre los paralelos 21° 02' y 21° 08' de latitud norte y los meridianos 89° 29' y 89° 35' longitud oeste; posee una altitud de 8 metros sobre el nivel del mar.

Germoplasma caracterizado. El material genético involucrado fueron 148 poblaciones de maíces nativos de las distintas zonas de la península de Yucatán; 133 correspondieron a la raza Tuxpeño, 11 a Dzit bacal y 4 a Nal tel. Las accesiones fueron cultivadas en cinco surcos de 5 m de longitud y 0.8 m de separación entre surcos. La distancia entre matas fue de 50 cm, depositando tres semillas por mata.

Cuadro 1. Caracteres evaluados de 148 poblaciones de maíces nativos de la Península de Yucatán.

Tipo	Nombre	Unidad
Vegetativo	Altura de planta (ap)	cm
	Altura de mazorca (am)	cm
	Relación ap/am (rapam)	
	Longitud de hoja de la mazorca (lh)	cm
	Ancho de hoja de la mazorca (ah)	cm
	Área foliar de la hoja de la mazorca (af)	cm ²
	Número de entrenudos debajo de la mazorca (nebm)	
	Número de entrenudos arriba de la mazorca (neam)	
	Número total de entrenudos (te)	
De la espiga	Longitud del pedúnculo de la espiga (lpe)	cm
	Longitud del tramo ramificado de la espiga (ltre)	cm
	Longitud de la espiga central (lce)	cm
	Longitud total de la espiga (lte)	cm
	Núm. de ramificaciones primarias de la espiga (nre)	
De la mazorca	Longitud de mazorca (lmz)	cm
	Diámetro central de mazorca (dmz)	cm
	Número de hileras de granos (nhg)	
	Número de granos por hilera (ngh)	
	Diámetro de olote (do)	cm
	Peso seco de cinco mazorcas (psmz)	g
	Espesor de grano (eg)	mm
	Ancho de grano (ag)	mm
Longitud de grano (lg)	mm	

Caracteres evaluados. Las accesiones fueron distribuidas de forma aleatoria simple. Se determinaron 23 características morfológicas indicadas en el Cuadro 1. Dichas variables fueron tomadas en un total de 5 plantas por accesión.

Para el caso de los caracteres de mazorca, se emplearon los datos de la precharacterización debido a que estos no habían sido tomados de las plantas cultivadas al momento de los análisis.

Estrategia de análisis. Se realizaron análisis de la diversidad por accesiones con un enfoque general y otro por razas; posteriormente, se analizó la diversidad entre zonas por razas.

Análisis estadísticos. Para el análisis general se aplicaron procedimientos de análisis de varianza completamente al azar para determinar la variación por cada uno de los caracteres; mientras que, para el análisis de la variación total se aplicaron análisis de componentes principales (ACP).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

EXPLORACIÓN ETNOBOTÁNICA Y MUESTREO 2008.

En las comunidades del estado de Yucatán y los Chenes Campeche las trojes se encuentran generalmente en los solares de la casa y esporádicamente dentro de las mismas casas, en algún espacio en específico; mientras que, en las comunidades de la región Centro-Oriente de Quintana Roo, las trojes se ubican generalmente en las parcelas de producción, las cuales pueden localizarse hacia diferentes rumbos del territorio de la comunidad, siendo cultivados sus diferentes maíces en las mismas o diferentes parcelas, estando además las parcelas mucho más distantes y en condiciones de más difícil acceso que en Yucatán o Campeche.

En el cono Sur de Yucatán donde hay tierras arables se observan grandes superficies de terrenos destinados a la siembra de maíces mejorados, algunos de los agricultores que siembran maíz mejorado mecanizado igualmente siembran maíces criollos en pequeñas superficies arables o bien en terrenos que no son aptos para laborar con el tractor; este maíz criollo es de procedencia familiar (por herencia de padres o abuelos), siembran estos maíces por su resistencia a plagas de almacén bajo el sistema de almacenamiento tradicional con el que cuentan; han hecho referencia que los maíces mejorados que siembran para recibir los apoyos gubernamentales, o para vender comercialmente, no pueden ser almacenados por más de un mes, debido a que los gorgojos (plaga de almacén) se los comen rápidamente, no pudiendo mantenerlos por más de tres meses. En esta zona se localiza maíces criollos en comunidades que no tienen tierras arables, esto es, con topografía accidentada y alta pedregosidad.

El oriente de Yucatán cuenta con terrenos en su mayoría pedregosos pero con una cultura de siembra de milpa muy arraigado, aunque se observa que están ocurriendo cambios en la forma de desarrollar esta actividad, especialmente en la tendencia al monocultivo; la mayoría de los productores de las comunidades cuenta con materiales criollos.

En la zona de los Chenes, Campeche, existe grandes planadas que son terrenos con buena profundidad de suelo, lo que permite el trabajo con maquinaria; en muchas comunidades se está adoptando este sistema de producción y generalmente se siembra con materiales mejorados adquiridos a través de los programas de gobierno, o bien, por compra directa en los negocios de productos agroquímicos. La siembra de maíces criollos igualmente se registra en terrenos muy pedregosos y en los de topografía accidentada.

En la zona de Felipe Carrillo Puerto, se cuenta con grandes extensiones de terrenos, y los suelos presentan una profundidad y fertilidad mayor a los de Campeche y Yucatán. Se cuenta con un temporal más benigno y profuso y se ha observado la existencia de mayor cantidad de productores particulares; sin embargo, la exploración dirigida a las comunidades indígenas permitió la colecta de materiales criollos.

La estrategia de muestreo azaroso combinado con dirigido hacia agricultores reconocidos dentro de las mismas comunidades por su labor en al milpa, o bien, como conservadores de diversidad maicera permitió un muestreo que si bien no es exhaustivo, representa una parte importante de la diversidad de las poblaciones de maíz de la región. Los agricultores reconocidos en sus comunidades por su forma de trabajo y de la diversidad de maíces que maneja variaron de uno a tres por comunidad; estos productores, generalmente poseen germoplasma heredado de su antecesores, presentan disposición a probar nuevas poblaciones de maíces (especialmente criollas)



Foto: Mijangos-Cortés J., 2008

Figura 2. Exploración etnobotánica para colecta de maíces en la península de Yucatán.

y cuentan con algunos tipos de maíces que han mantenido durante varias décadas; en algunos casos proveen de semilla a otros productores en tiempos críticos, eventualmente han adoptado los maíces provenientes de otras regiones y en algunos casos realizan un trabajo de selección y mejoramiento de su semilla (Figura 2).

Podemos mencionar que coincidimos con Arias (1995) en que los mayas actuales han conservado la agrobiodiversidad local,

aunque, con el maíz como el eje de subsistencia agroalimentaria de la población campesina indígena a pesar de fuertes limitantes agroecológicas.

Las comunidades visitadas, en su mayoría, presentaron una población con elevada frecuencia de la etnia Maya. El tamaño de muestra varió de 20 a 30 mazorcas por población debido a que los agricultores tradicionales de las comunidades visitadas tienen una idiosincrasia muy particular y son muy reservados y renuentes a ceder el germoplasma destinado a semilla (Figura 3).

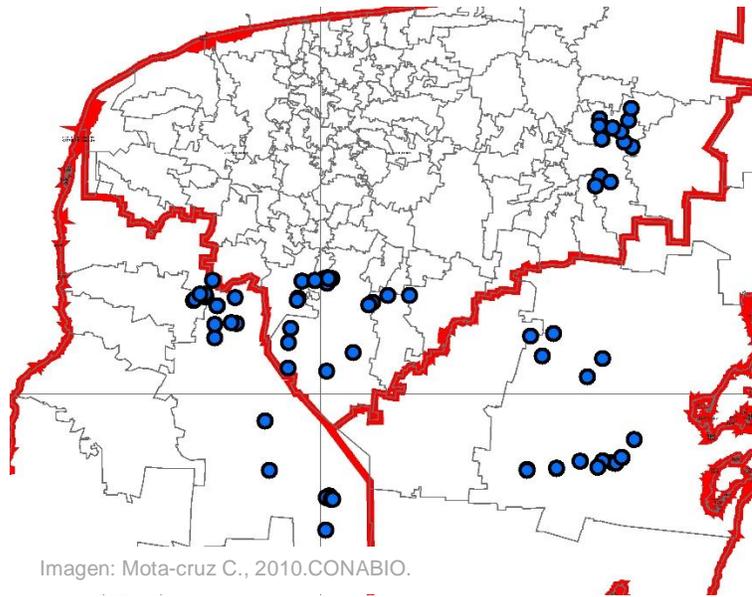


Imagen: Mota-cruz C., 2010.CONABIO.

Figura 3. Colecta de germoplasma de maíz en la península de Yucatán 2007 y 2008.

La totalidad del territorio de los municipios incluidos en la colecta cubre una extensión de 32,834.2 km². De esta superficie quedaron representadas 39 comunidades de nueve municipios de los tres estados.

El número de parcelas sembradas por agricultor es variable año con año, en número y superficie; sin embargo, podemos considerar el cultivo de una a cuatro parcelas en diferentes puntos de las tierras de la comunidad, las cuales pueden variar en superficie cultivada desde 0.5 de ha⁻¹ hasta cuatro o seis hectáreas. El número de tipos de maíces que siembran por parcela de trabajo varía de uno a cuatro.

Se detectó que existe la selección consciente e inconsciente por parte del productor; la mayoría de los productores aplican una selección a nivel de mazorca seca en troje para conformar la semilla que se usará como siembra del siguiente ciclo. Pocos agricultores no realizan una selección de la semilla para su siembra, por lo que emplean un compuesto balanceado de la semilla del ciclo anterior.

COLECTA DEL GERMOPLASMA 2008.

Durante el 2008 se colectaron **162 poblaciones** de maíces; a partir de 126 agricultores donadores; 29 fueron de la zona de los Chenes en Campeche, 34 de la zona Puuc o Cono sur del estado de Yucatán, 32 del Oriente de Yucatán y 31 de Río Bec Quintana Roo. Yucatán al ser muestreado en dos zonas diferentes alcanzó mayor

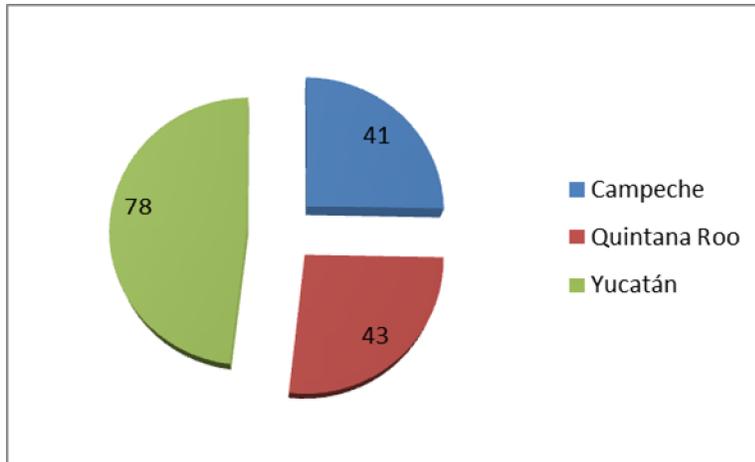


Figura 4. Proporción de colectas de maíces por estados realizadas en la región de la Península de Yucatán en 2008.

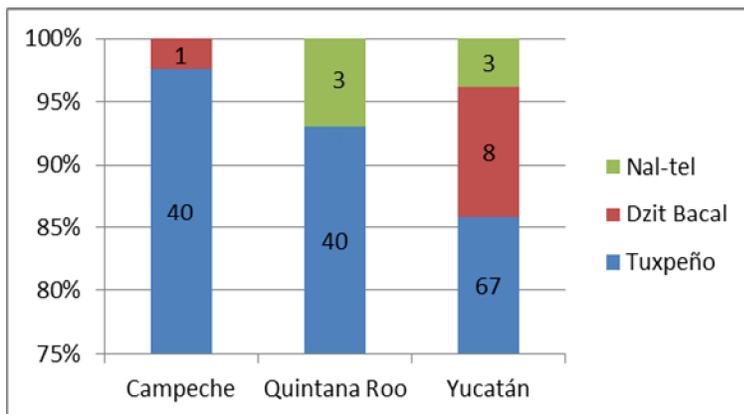


Figura 5. Proporción de colectas de maíces por razas por estados realizadas en la región de la Península de Yucatán en 2008.

características de la región que imponen condiciones ambientales muy restrictivas a los cultivos como: pedregosidad, sequía, régimen hídrico errático y huracanes.

La raza predominante en la colecta 2008 es la *Tuxpeño* con una frecuencia del 90.7%, seguida de *Dzit bacal* (5.6%) y finalmente la *Nal tel* (3.7%). Se observó igualmente la existencia de poblaciones que morfológicamente parecen ser el producto del flujo genético entre razas y/o poblaciones.

La predominancia de la raza *Tuxpeño* tiene efecto generalizado en los 3 estados, destacando los Chenes, Campeche con 97.6% (Figura 5). La raza *Nal tel* se distinguió por su baja frecuencia, aunque en estas estadísticas se acerca a la frecuencia de la raza *Dzit bacal*; sin embargo, esto adquiere su explicación por la búsqueda dirigida que se realizó hacia esta raza (Figura 5). La raza *Nal tel* estuvo ausente en la zona de los Chenes; su búsqueda fue constante y se detectaron pocos agricultores que la

cantidad de colectas que Campeche y Quintana Roo (Figura 4). De la colecta total se tiene un promedio de 1.29 accesiones por productor.

La colecta 2007 estuvo conformada por 152 accesiones de tres razas: *Tuxpeño* (139), *Dzit Bacal* (5) y *Nal Tel* (8). La información de esta colecta igualmente fue entregada a la CONABIO y podrá ser consultada.

ANÁLISIS DEL GERMOPLASMA A NIVEL DE RAZA

Número y predominancia de razas. Las colectas 2007 y 2008 confirmaron la presencia de tres razas considerando las cuatro zonas muestreadas de la región. Esto significa que a nivel de diversidad de raza, la Península de Yucatán tiene presente 4.7% de la diversidad de razas reportadas en México (62 en total). El bajo número de razas puede ser atribuido a las difíciles y particulares

conservan, los cuales tienen poca cantidad de semilla y están en riesgo de perderla (según comentarios de los propios productores). Gran cantidad de productores, en especial los de mayor edad refirieron haber conocido o sembrado la raza *Nal tel*, pero que la perdieron y no la pudieron recuperar por falta de germoplasma en la zona. La raza *Dzit bacal* no fue localizada en la zona de Río Bec, Quintana Roo y alcanzó su máxima frecuencia en el estado de Yucatán. De forma general, se registró que la predominancia de la raza Tuxpeño está asociada a una mayor tolerancia a la sequía intraestival y a un mayor rendimiento de grano, según la percepción de los agricultores.

Los datos de colecta y la exploración sugieren que la raza *Tuxpeño* se encuentra geográficamente más extendida en la región (Cuadro 3), sus poblaciones son las que están en manos de casi todos los productores, aquellos pocos que no poseen esta raza se detectó que fue sustituida por *Dzit bacal* y el motivo fue la preferencia del agricultor por ese tipo de maíz en particular, o bien, por ser el que recibió en herencia de su familia.

Las razas *Dzit bacal* y *Nal tel* que se encontraron en baja frecuencia, están adicionalmente restringidas geográficamente ubicándose en comunidades específicas (Cuadro 3).

Al indagar el origen de las poblaciones, en algunos casos se determinó que existía una elevada probabilidad que las poblaciones de maíces de dichas razas ubicadas en la misma localidad tuvieran una relación genética muy estrecha o la misma; esto es, que eran del mismo origen y se encontraban en manos de diferentes agricultores posiblemente por intercambio de germoplasma entre los pobladores de la comunidad y ocurrido en el presente o en un pasado muy cercano.

Un ejemplo claro a este respecto de cercanía genética entre poblaciones de maíces es el caso de las poblaciones de *Nal tel* colectadas en Dzoyola (tres poblaciones) que fueron colectadas a tres agricultores pero que en el transcurso de la entrevista se determinó que al menos uno recibió directamente el germoplasma del productor que la trajo inicialmente al pueblo y que también fue visitado; y existe una elevada probabilidad que la población restante igualmente tenga el mismo origen genético; sin embargo, esta aseveración solo puede ser confirmada mediante evaluaciones fenotípicas y genotípicas.

Es importante mencionar que el análisis por raza no puede tener un soporte estadístico debido a la naturaleza propia de la colecta; esto es, se tenía como preferencia la búsqueda de poblaciones de la raza *Nal tel*, por lo que al ser dirigida a esta raza adquiere un sesgo que no permite un análisis estadístico en igualdad de condiciones (detección al azar por efectos del muestreo) con las otras dos razas, las cuales sí fueron muestreadas bajo las mismas condiciones de aleatoriedad, si estaban presentes se tomaba la muestra. Los agricultores visitados de la comunidad eran encuestados y se tomaba una muestra de todos los tipos de maíces que cultivaran. En caso de referir el conocimiento de algún productor que tuviera maíces de la raza *Nal*

**Cuadro 3.** Colectas de germoplasma de maíz en cuatro regiones de la península de Yucatán, distribución por comunidades y razas de maíz.

Estado	Municipio	Localidad	Número de Colectas				
			Total	RAZAS			
				Tuxpeño	Dzit bacal	Nal-tel	
Campeche	Calkini	La Fátima	2	2	-	-	
		Hopelchen	Bolonche de Rejón	9	9	-	-
			Chunyaxche	3	3	-	-
			San Antonio Yaxche	2	2	-	-
			San Bernardo Uechil	2	2	-	-
			Vicente Guerrero	15	14	1	-
			Xbilincoc	4	4	-	-
			Xculoc	2	2	-	-
			Xkalot-Akal	2	2	-	-
	Quintana Roo	Felipe Carrillo Puerto	Chancah de Repente	1	1	-	-
Dzoyola			7	4	-	3	
			Filomeno Mata	5	5	-	-
			Kopchén	2	2	-	-
			Naranjal Poniente	1	1	-	-
			San Andrés	3	3	-	-
			San Francisco Aké	6	6	-	-
			Señor	3	3	-	-
			Uh May	4	4	-	-
			X-Hazil Sur	6	6	-	-
		Yaxley	5	5	-	-	
Yucatán	Chemax	Uspibil	5	3	2	-	
		Oxkutzcab	Xohuayán	2	2	-	-
	Tekax	Alfonso Caso	6	5	-	1	
		Benito Juarez	2	2	-	-	
		Candelaria	3	2	-	1	
		Canek	3	3	-	-	
		Caxaytuk	2	2	-	-	
		Huntochac	1	1	-	-	
		Kan Cab	6	6	-	-	
		Salvador Alvarado	2	2	-	-	
		San Marcos	3	3	-	-	
		Tekax	4	4	-	-	
		Temozon	Dzalbaj	1	1	-	-
			Hunukú	2	2	-	-
	Tzucacab	Ek Balam	7	4	2	1	
		Valladolid	Konxoc	7	7	-	-
	Tixhulactún		7	5	2	-	
	Xocén		11	9	2	-	
	Yalcobá		4	4	-	-	

tel, éste era buscado y se solicitaba la donación del germoplasma, incluso si el productor era de otra comunidad distante.

Como se puede inferir, ambas razas (*Nal tel* y *Dzit baca*) están desapareciendo de las zonas muestreadas; esta disminución del número de poblaciones (con respecto a lo que ha sido referido por los mismos productores) podría o está generando (probablemente) en la actualidad problemas genéticos a ambas razas, probablemente se observará un fenómeno por fragmentación de la población y podría estar en rumbo a lo que se denomina un cuello de botella. Los agricultores mencionaron que las principales causas de la pérdida de germoplasma, en particular la de *Nal tel*, han sido las frecuentes sequías intraestivales que se prolongaron más de lo que comúnmente se esperaba en los últimos años y los huracanes (particularmente) en la zona de Río Bec, Quintana Roo.

Número de Razas cultivadas por productor. Con base en el análisis de la colecta de maíces realizada en 2007 en las mismas zonas se pudo determinar que poco más del 90% de los 107 productores encuestados que donaron germoplasma cultiva sólo una de las tres razas, destacando Campeche con una frecuencia superior al 95% y el Oriente de Yucatán por ser la zona en la que menor número de agricultores tradicionales cultiva sólo una raza y en la que mayor proporción de agricultores cultiva dos o más razas (Cuadro 4), lo cual puede ser considerado como un indicativo de manejo de diversidad.

Muchos de los productores que cultivan dos tipos de maíces pueden pertenecer a la misma raza, con la diferencia entre ellas por el color de grano. Los productores que manejan diferentes razas explicaron que se debe a una estrategia para enfrentar la sequía, en la que los tipos de maíces manejados presentan una diferencia en precocidad, generalmente uno precoz y otro tardío y en algunos casos uno intermedio.

Cuadro 4. Proporción de razas de maíz cultivadas en la región de la Península de Yucatán.

Núm. De razas	ZONA									
	Total	%	1	%	2	%	3	%	4	%
1	99	92.5	25	96.2	28	93.3	21	84	25	96.2
2 o más	8	7.5	1	3.8	2	6.7	4	16	1	3.8
Total	107		26		30		25		26	

Zona 1 (Campeche), 2 (Sur de Yucatán), 3 (Oriente de Yucatán), 4 (Quinta Roo). Colecta 2007.

Diversidad de colores en las poblaciones de maíces. Se encontró la presencia de cinco colores principales (Figura 6), Blanco (62.6%), amarillo (28.8%), azul (6.1%) y rojo y naranja (ambos colores con 1.2%). La zona en la que se localizó mayor variedad de colores de grano fue el Oriente de Yucatán, donde se encontraron

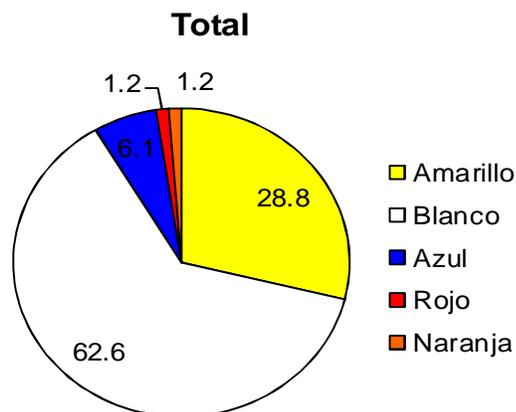


Figura 6. Proporción de colores de granos de maíces en las colectas en la región de la Península de Yucatán. Colecta 2007.

indicando claramente la existencia de infiltración genética o flujo de genes entre poblaciones de maíces diferentes.

Existe igualmente en la región poblaciones homogéneas de maíces variegados con los colores crema de fondo o predominante y veteados (o rayas) en rojo; este tipo de maíces son denominados localmente como *maíz Rix Cristo*.

Los maíces blancos y amarillos son los de mayor frecuencia de cultivo, lo cual está estrechamente relacionado con el gusto de consumo del productor, en especial se refirieron al sabor.

Tipos de maíces cultivados por los agricultores. El manejo que el germoplasma de maíz recibe por parte de los agricultores es diverso, pudiéndose encontrar germoplasma que procede de los antecesores de las familias y ha sobrevivido a lo largo del tiempo por herencia; así como el empleo o adquisición de germoplasma mejorado por métodos convencionales.

Así, se realizó un listado de tipos de maíces cultivados en la región tomando como criterio la denominación que los agricultores les dan a sus maíces; se encontraron 23 denominaciones (Figura 7) de los cuales el *maíz nuc nal* fue el que estuvo con mayor frecuencia (47.4%) referido entre los agricultores. Los maíces *maíz nuc nal* son pertenecientes a la raza *Tuxpeño* formando parte del componente tardío y por lo general de color de grano blanco o amarillo; existen otros maíces de color azul denominados *Ek juqb*, que igualmente pertenecen a la raza *Tuxpeño*, pero adquieren una denominación diferente por su color y grano más harinoso.

los cinco colores, seguidos por Campeche en el que se encontraron cuatro colores y finalmente el sur de Yucatán y Quintana Roo que presentaron tres colores (Blanco, amarillo y azul), aunque en proporciones menos desiguales entre colores en Quintana Roo.

Junto con los colores básicos se observó una gama de variantes, mazorcas con granos de diferentes colores (blancos con amarillo, azules con blanco, etc.) a los que se les denomina mazorcas pintas,

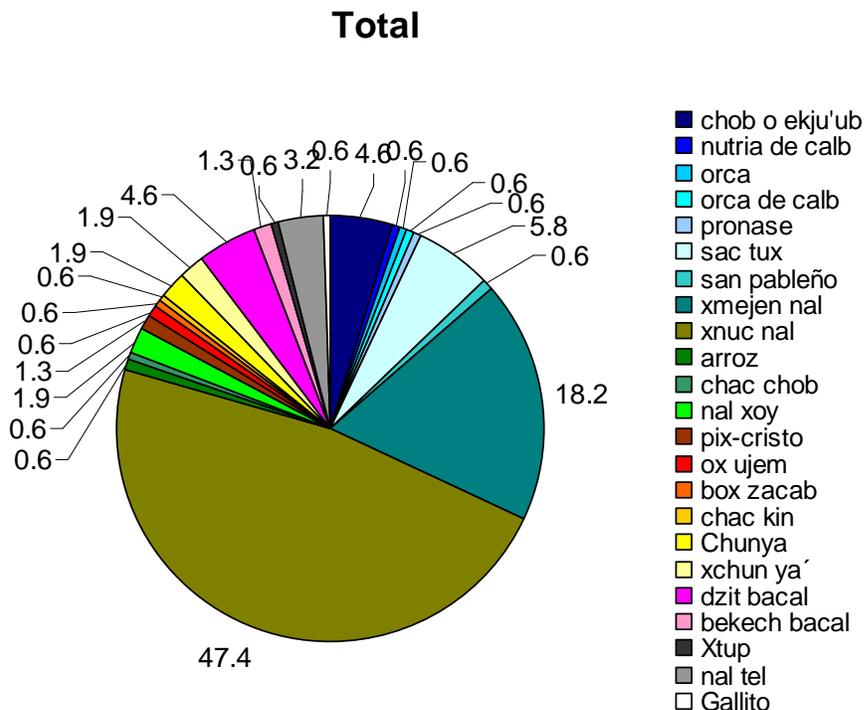


Figura 7. Tipos de maíces registrados durante la colecta 2007 en la región de la península de Yucatán.

Así, propiedades diferentes que caracterizan a una población de maíz lo reconocen como un tipo diferente. Se registraron 19 variantes, las cuales pueden adquirir su diferenciación por precocidad, color, tipos de granos en cuanto a tamaño y composición (grado de cristalino o harinoso) y diámetro de olote.

En la identificación de variantes y durante la colecta (2007) se muestreó igualmente en los

agricultores visitados el germoplasma mejorado que poseían y que es procedente del mercado formal de semillas; se detectó la presencia de cinco procedencias diferentes incluyendo poblaciones que han sido producto de la introducción del gobierno a las comunidades pero en programas de maíz para consumo. Algunas poblaciones introducidas se encontraron en proceso de acriollamiento.

Procedencia y movimiento del Germoplasma. De un total de 125 poblaciones nativas de maíces poco más de la mitad (52.8%, Cuadro 5) han permanecido en manos de los agricultores por más de 30 años, las poblaciones de maíces han sido heredadas generación tras generación como un legado familiar; una buena cantidad (más del 34%) fueron compradas, y, en menor grado (13%) el movimiento del germoplasma se dio por regalo o intercambio. La zona del oriente de Yucatán se caracterizó por el hecho que una alta frecuencia de los agricultores tradicionales (74.2%) han conservado los maíces nativos de sus familias.

La red informal de semillas entre los agricultores tradicionales de la región es muy importante y se lleva a efecto principalmente con poblaciones nativas de maíces de la región (91.8%), donde la principal forma de movimiento del germoplasma se ha dado a través del comercio (34.1%) entre los agricultores poseedores de estos maíces criollos. Se estimó que en la zona de los Chenes Campeche se da el mayor comercio de semillas (43.3%) y en el oriente de Yucatán el menor (22.6%)

Cuadro 5. Procedencia del germoplasma de maíces criollos de la península de Yucatán.

Procedencia	PRODUCTORES									
	Total	%	ZONA							
			1	%	2	%	3	%	4	%
Comprada	43	34.1	13	43.3	12	37.5	7	22.6	11	34.4
Herencia	65	52.8	13	43.3	14	43.8	23	74.2	15	46.9
Regalada	16	12.2	4	13.3	6	18.7	1	3.2	5	15.6
Intercambio	1	0.8	0	0	0	0	0	0	1	3.1
Total	125		30		32		31		32	

Zona 1 (Campeche), Zona 2 (Sur de Yucatán), Zona 3 (Oriente de Yucatán), Zona 4 (Quinta Roo). Colecta 2007.

Edad de los agricultores que conservan y manejan la diversidad de maíces.



Imagen: Mijangos-Cortés J., 2007.

Figura 8. Agricultores de maíces criollos en la región de la península de Yucatán.

Se ha observado en la región de la península de Yucatán (como en otras regiones del país) un cambio en la población que se dedica a las actividades agrícolas, en especial aquellas en cuyas manos se encuentra la diversidad de los maíces nativos.

Se estimó que la población de la región está entre el rango de 19 a 98 años, pero es una población envejecida, determinada por una típica pirámide invertida, en la que el 68% de los agricultores es mayor de 50 años de edad (Figura 8, Cuadro 6).

Este hecho pone en riesgo el germoplasma nativo de maíces (entre otros), independientemente de la raza que se trate, ya que, los conservadores del

germoplasma están en la etapa final de vida, al morir estos productores no habrá quién se encargue de continuar el cultivo

Cuadro 6. Edad de los agricultores donadores de germoplasma de maíz nativo en la península de Yucatán.

PRODUCTORES	
EDAD (AÑOS)	FRECUENCIA
20 o menos	1
21-30	5
31-40	12
41-50	17
51-60	28
más de 61	44

Colecta 2007.

ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD MORFOLÓGICA (COLECTA 2008)

Todos los análisis de diversidad o variación fueron realizados a partir de 148 poblaciones de maíces nativos colectados durante la exploración 2008.

Diversidad morfológica del total de la región. Al realizar el análisis de la variación de los caracteres de todas las poblaciones (Cuadro 7), se encontraron diferencias estadísticas entre las poblaciones nativas. Esta diversidad es explicada por el hecho de que están involucrados en el análisis poblaciones de maíces de las tres diferentes razas y que han sufrido un proceso de selección bajo domesticación de agricultores ciclo tras ciclo adicionalmente, las poblaciones han permanecido por muchas generaciones en microambientes que son muy contrastantes.

Se observaron plantas que varían en altura desde 1.4 hasta 3.3 m, hojas con longitudes de 66 cm hasta 1 m, que pueden producir tallos de 11 hasta 20 entrenudos, espigas de 47 a 70 cm que contienen de 13 a 30 ramificaciones primarias, lo que habla de una

Cuadro 7. Valores promedio, significancia del análisis de variancia y valores mínimo y máximo de de características de las poblaciones de maíces nativos de la península de Yucatán¹.

Variable	Mean	Signif.	Min	Max
ap	264.5	**	139	328
am	176.7	**	74	228
rapam	1.5	**	1.09	2.12
lh	90.97	**	66.4	102.4
ah	10.1	**	6.8	12.8
af	692.6	**	350.6	948
nebm	11.1	**	6.6	14
neam	5.4	**	4.2	6.8
te	16.5	**	11.2	19.6
lpe	17.7	**	12	23
ltre	18.2	**	11.2	23.6
lce	19.4	**	13.1	28
lte	55.3	**	47.2	69.6
nre	23.8	**	14.4	30.2
lmz	15.0	**	9.1	19.0
dmz	4.1	**	3.2	4.8
nhg	11.9	**	9.2	15.2
ngh	35.6	**	24.6	46.4
do	2.3	**	1.6	3.0
psmz	23.96	**	9.0	57.0
eg	3.6	**	2.8	4.5
ag	8.7	**	6.9	9.8
lg	11.2	**	8.99	12.95

¹ Colecta 2008, n=148.

eficiencia reproductiva muy diferente entre poblaciones de maíces; y, como características de suma importancia, se observó que se pueden obtener mazorcas de 9 a 19 cm de largo con 9 a 15 hileras de granos que varían enormemente en tamaños, lo que conduce a rendimientos de peso en mazorca que pueden ir de 9 a 57 g.

Para descifrar o explicar de forma global la diversidad encontrada en el complejo racial de la región se realizó el análisis ACP (Cuadros 8 y 9), el cual indicó que la explicación de la mayor proporción de la diversidad se debe a 8 caracteres: altura de planta, altura de mazorca, número de entrenudos debajo de la mazorca y totales, el espesor de los granos y en segundo nivel de explicación se tienen los caracteres de longitud, diámetro y peso de la mazorca. Estos caracteres pueden ser empelados para diferenciar a las razas involucradas entre otras cosas.

Estos resultados hablan de mucha diversidad dentro del complejo racial de la región y que pueden diferenciarse en primera instancia por sus caracteres de tipo vegetativo y en segundo término por caracteres de mazorca. La característica de precocidad es de gran importancia no sólo para estas tres razas, sino para todas las razas de maíz en general, la cual es empleada incluso por los agricultores de la región de la península de Yucatán para diferenciar los tipos de maíces, esta característica no fue incluida en este análisis, pero cabe mencionar que la raza *Nal tel*, es el componente más precoz del complejo con siete semanas a la floración; la fracción de maíces intermedios a tardíos, esta cubierta por la dos razas restantes o cruza interracial.

Cuadro 8. Análisis de la variación total (ACP) del complejo racial de las poblaciones de maíces nativos de la península de Yucatán¹.

CP	Valor Propio	% Individual	% Acumulado
1	5.18430501	22.5405	22.5405
2	3.70061221	16.0896	38.6301
3	2.93870473	12.7770	51.4071
4	2.00186992	8.7038	60.1108

¹ Colecta 2008, n=148, 23 características.

presentar diferencias en todas las características

Cuadro 9. Variables que explican la variación total entre las razas de maíces nativos de la península de Yucatán¹.

CP1	CP2	CP3	CP4
ap	lmz	lh	ltre
am	dmz	ah	lte
nebm	psmz	af	
te			
eg			

¹ Colecta 2008, n=148, 23 características.

caracteres. Es de remarcar el hecho que algunas de las características de la espiga son las que ya no presentan variación, como la longitud del peciolo y el tramo ramificado de la espiga. En los órganos sexuales masculinos (la espiga) la falta de variación se acentúa en la raza *Dzit bacal*, ya que todos los caracteres son homogéneos, incluso en el análisis a través de zonas (datos no presentados).

Para el caso de la raza *Nal tel* se observa que los caracteres que ya no presentan variación son la longitud de las hojas el número de entrenudos debajo de la mazorca y totales, el número de ramificaciones primarias de la espiga y el número de hileras de grano así como el espesor del grano.

El complejo *Nal tel* se caracteriza por bajos rendimientos atribuidos a su ciclo de vida tan corto, produce mazorcas pequeñas con pocas hileras y reducido número de granos pequeños; sin embargo, también destacan sus características de precocidad, alta adaptación a las condiciones climáticas de la región, elevada tolerancia a plagas y enfermedades, cobertura total y protección de la mazorca y los granos por sus brácteas, lo que le permite un almacenamiento por periodos de tiempo variable (meses) en campo cuando la planta se seca y altos contenidos de proteínas en granos cristalinos reventadores. Asimismo, hay evidencias que sugieren que *Nal tel* y *Chapalote* son resistentes a plagas de almacén, en parte debido al contenido

Análisis de la diversidad dentro de razas. Posterior al análisis del complejo racial se procedió al análisis dentro de razas; en este caso, se emplearon análisis de varianzas individuales.

Las poblaciones de la raza *Tuxpeño* fueron las que mostraron la mayor diversidad al analizadas (Cuadro 10); mientras que, las razas de *Dzit bacal* y *Nal tel* presentaron caracteres en los que ya no se observan diferencias entre sus poblaciones, lo que es un claro indicativo de pérdida de variación en dichas características.

La raza *Dzit bacal* no presenta diferencias en 10 de las características evaluadas, superando a la *Nal tel* que no presenta diferencias en ocho

Cuadro 10. Formación de grupos de similitud entre poblaciones de maíces nativos dentro de razas de la península de Yucatán¹ con base en la diversidad detectada en los análisis de varianza.

Características	Número de grupos formados mediante Tukey		
	<i>Tuxpeño</i>	<i>Dzit bacal</i>	<i>Nal tel</i>
ap	> 40	5	2
am	> 40	8	2
ramap	17	5	3
lh	32	3	1
ah	24	1	3
af	37	1	3
nebm	13	3	1
neam	3	1	3
te	19	5	1
lpe	3	1	1
ltre	10	1	1
lce	5	1	2
lte	7	1	2
nre	3	1	1
lmz	15	5	3
dmz	32	1	2
nhg	13	3	1
ngh	17	3	2
do	31	6	3
psmz	13	3	3
eg	19	3	1
lg	19	1	3
ag	15	3	3
Promedio*	16.5	2.5	2.0
Min	3	1	1
Max	> 40	6	3

¹ Colecta 2008, * Promedios sin considerar las variables con más de 40 grupos, n=148, 23 características.

poblaciones y comparando zonas, se puede decir, de forma preliminar que en la zona de Río Bec en Quintana Roo, se localiza una mayor diversidad, seguido por la zona del Oriente de Yucatán, el cono sur de Yucatán respectivamente y la de menor diversidad es la de los Chenes en Campeche.

La información global sugiere que esta distribución de diversidad está relacionada con la forma del manejo del sistema agrícola, en el que la zona que presenta un enfoque más comercial es la que ha perdido más diversidad.

específico de ciertas proteínas y la presencia de ácidos fenólicos como el ácido ferúlico en sus semillas (Arnason *et al.*, 1994). Lo antes expuesto implica que existen genes de relevancia en la raza *Nal tel* que podrían ser utilizados como fuente para el mejoramiento genético.

Al comparar las razas es evidente la superioridad en el grado de diversidad de la raza *Tuxpeño* (ver el promedio de número de grupos diferentes de poblaciones que se forman), la cual presenta caracteres con más de 40 grupos diferentes (alturas de planta y mazorca) y los caracteres que menos grupos diferentes forma son los de número de entrenudos arriba de la mazorca y número de ramificaciones de la espiga con tres.

Estos resultados indican que la variación (o diversidad) de las poblaciones de las razas *Nal tel* y *Dzit bacal* se está reduciendo a nivel genético, toda vez que el fenotipo es reflejo de parte de la aportación del genotipo a la variación.

En el análisis global de diversidad desde el número de razas hasta el de dentro de



CONCLUSIONES

En la península de Yucatán aún existen agricultores que conservan el sistema de cultivo denominado la milpa, en la que el maíz es el cultivo eje y en torno al cual se desarrollan otros cultivos. La milpa está sufriendo modificaciones con el paso del tiempo reduciendo la diversidad de cultivos que en él se siembran, por lo que, se ha incrementado el número de agricultores que sólo siembran maíz.

En las zonas de los Chenes, Campeche, cono sur de Yucatán, oriente de Yucatán y Río Bec, Quintana Roo, cuenta con una diversidad genética correspondiente a tres razas, *Tuxpeño*, *Dzit bacal* y *Nal tel*. La diversidad de maíces por debajo y dentro del nivel de razas puede ser identificada por características de rendimiento, precocidad, resistencia a la sequía, colores de grano y composición del grano.

La raza *Tuxpeño* es la predominante de la región con amplia distribución geográfica; mientras que, las razas *Dzit bacal* y *Nal tel*, se encuentra en muy baja frecuencia y restringidas geográficamente. La diversidad de la raza *Dzit bacal* puede ser considerada en riesgo de desaparecer, mientras que, la *Nal tel* debe ser considerada en peligro de extinción. Las poblaciones de estas razas presentan de forma preliminar homogenización en muchos de sus caracteres morfológicos, lo que es un indicativo de reducción de la diversidad genética, aunque esto debe ser confirmado mediante evaluaciones sistematizadas en campo y estudios moleculares de ADN.

BIBLIOGRAFÍA

Adams R., E. W. y T. P. Culbert. 1977. The origins of civilization in the Maya lowlands. *In*: R. E. W. Adams (ed.). The Origins of Maya Civilization. Univ. of New Mexico. Albuquerque. pp. 3-34.

Anderson, E. 1946. Maize in Mexico a preliminary survey. *Ann. Miss. Bot. Garden* 33(2):147-247.

Anderson, E and H. C. Cutler. 1942. Races of Zea mays: I. Their recognition and classification. *Ann. Miss. Bot. Garden* 29(2):69-88.

Argáez, O., L. Latournerie, L. Arias y J. L. Chávez. 2002.. Caracteres utilizados por los agricultores para distinguir y nombrar sus variedades de los cultivos de la milpa. *En*: J. L. Chávez- Servia, L. M. Arias-Reyes, D. I. Jarvis, J. Tuxill, D. Lope-Alzina y C. Eyzaguirre (eds.). Simposio Manejo de la Diversidad Cultivada en los Agroecosistemas Tradicionales. 13-16 de febrero de 2002. IPGRI. Mérida, Yuc. p. 65.

Arias L. 1995 La producción milpera actual en Yaxcabá, Yucatán. en Hernández E. et al. comps. La milpa en Yucatán un sistema de producción agrícola tradicional Colegio de Postgraduados, Montecillo pp 271-285.

Arias L. 2000. Agricultura tradicional, su racionalidad en la conservación de recursos naturales. En: Higuera I. A. y Larqué. II foro nacional sobre soberanía alimentaria. Hermosillo, Sonora. 14-16 Oct. 1999. Academia Mexicana de Ciencias. pp 53-78.

Arias-Reyes, L. M. 2004. Diversidad genética y conservación in situ de los maíces locales de Yucatán, México. Tesis de doctorado. Instituto Tecnológico de Mérida. Mérida, Yucatán México. 113 p.

Arias L., J. Chávez, D. Lope y T. Duch. 2000. Final Report of Mexico Project, "Strengthening the scientific basis of in situ conservation of agricultural biodiversity, IPGRICINVESTAV-IPN, Mérida, Yuc.

Arias L., D. Jarvis, D. Williams, L. Latournerie, F. Márquez, F. Castillo, P. Ramírez, R. Ortega, J. Ortíz, E. Sauri, J. Duch, J. Bastarrachea, M. Guadarrama, E. Cázares, V. Interián, D. Lope, T. Duch, J. Canul, L. Burgos, T. Camacho, M. González, J. Tuxill, C. Eyzaguirre y V. Cob. 2004. Conservación *in situ* de la biodiversidad de las variedades locales en la milpa de Yucatán, México. *En*: J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill y D.I. Jarvis (eds.). Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales. IPGRI. Cali, Colombia. pp. 36-46.

Arias L. M., L. Latournerie, S. Montiel y E. Sauri. 2007 Cambios recientes en la diversidad de maíces criollos de Yucatán, México. *Universidad y Ciencia* 23(1): 69-74.

Arnason, J.T., J. T. Arnason, B. Baum, J. Gale, J. D. H. Lambert, D. Bergvinson, B. J. R. Philogene, J. A. Serratos, J. Mihm and D. C. Jewell *et al.* 1994. Variation in resistance of Mexican landraces of maize to maize weevil *Sitophilus zeamais*, in relation to taxonomic and biochemical parameters. *Euphytica* 74 (3): 227-236.

Barghoorn, E. S., M. K. Wolfe, and K. H. Klisby. 1954. Fossil maize from the valley of Mexico. *Bot. Mus. Leaflet*. Harvard University. 16: 229-240.

Benz, B.F. 1986. Taxonomy and Evolution of Mexican Maize. PhD. Dissertation. University of Wisconsin. Madison, Wisconsin, USA. 433 p.

Burgos M., L. A., J. L. Chávez S. y J. Ortíz C. 2004. Variabilidad morfológica de maíces criollos de la península de Yucatán, México. *En*: J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill y D.I. Jarvis (eds.). Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales. IPGRI. Cali, Colombia. pp. 58-66.

Camacho-Villa, T. C. y J. L. Chávez-Servia. 2004. Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatán, México. *En*: J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill y D.I. Jarvis (eds.). Manejo de la Diversidad de los Cultivos en los Agroecosistemas Tradicionales. IPGRI. Cali, Colombia. pp. 47-57.

Cuevas S., J. A. 2003. Domesticación del maíz: evaluación experimental de algunos móviles. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. México. 225 p.

- Doebley, J. F. 1990. Molecular evidence and the evolution of maize. *Econ. Bot.* 44(3, Supplement):6-27.
- Doebley, J. F. 1983. The maize and teosinte male inflorescence: a numerical taxonomic study. *Ann. Miss. Bot. Gard.* 70(1):32-70.
- Doebley, J. F. 1990. Molecular evidence and the evolution of maize. *Econ. Bot.* 44(3, Supplement): 6-27.
- Doebley, J. F., M. M. Goodman and C. W. Stuber. 1984. Isoenzymatic variation in *Zea* (Gramineae). *Systematic Botany* 9(2): 203. 218.
- Doebley, J. F.; M. M. Goodman and C. W. Stuber. 1985. Isozyme variation in the races of maize from Mexico. *Am. J. Bot.* 72(5):629. 639.
- Doebley, J. F., M. M. Goodman and C. W. Stuber. 1987. Patterns of isozyme variation between maize and Mexican annual teosinte. *Econ. Bot.* 41:234. 246.
- Duch-Gary, J. 1991. Fisiografía del estado de Yucatán. Su Relación con la Agricultura. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- Eagles, H. A. and J.E. Lothrop. 1994. Highland maize from central Mexico-its origin, characteristics, and use in breeding programs. *Crop Sci.* 34:11-19.
- Flannery, K. V. 1973. Origin of agriculture. *Ann. Rev. Anthropol.* No. 2. Palo Alto, California.
- García-Quintanilla, A. 1999. Las mujeres y la nueva milpa: Equidad genérica en la agricultura peninsular del mañana. Nah Molay. Primer Congreso de Mujeres Mayas (Mayan Women First Congress). UNIFEM. Mérida, Yuc. pp. 114-123.
- Goloubinoff, P.; S. Pääbo and A. C. Wilson. 1993. Evolution of maize inferred from sequence diversity of an *Adh2* gene segment from archaeological specimens. *PNAS.* 90:1997-2001.
- Gómez-Pompa A., M. F. Allen, S. L. Fedick y J. J. Jiménez-Osornio. 2003. The Lowland Maya Area. Three Millennia at the Human-Wildland Interface. The Haworth Press Inc., Binghampton, NY.
- Goodman, M. M. 1976. Maize (*Zea mays* Gramineae-Maydeae). In: N. W. Simmonds (ed.). *Evolution of Crop Plants*. Longman Scientific and Technical. New York, USA. 339 p.
- Goodman, M. M. and C. W. Stuber. 1983. Maize. In: S.D. Tanksley, and T. J. Orton (eds.). *Isozymes in Plant Genetics and Breeding. Part B*. Elsevier Science Publisher. New York, U.S.A. pp. 1-33.

Gutiérrez-Martínez, J.A. 2006. Agricultura de roza y dinámica demográfica en una comunidad maya. Centro de Ecología, UNAM. http://www.etnoecologica.org.mx/Etnoecologica_vol1_n2/frame_superior_art_gutierrez.htm. Revisado 20 de Septiembre de 2006.

Hernández E. 1985. Maize and man in the great southwest Amer. Eco. Bot. 39:416-430.

Hernández E. 1995. Domestication of plants, a personal point of view. in Ramamoorthy T., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds). Biological Diversity of México Oxford Univ. Press.

Hernández X., E., E. Bello B. y S. Levy T. 1995. La milpa en Yucatán un sistema de producción agrícola tradicional. Tomo 1. Colegio de Postgraduados. México. 306 p.

Hernández X., E. y G. Alanís F. 1970. Estudios morfológicos de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México- implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. Agrociencia 5:3-30.

Hernández X., E., E. Bello B. y S. Levy T. 1995. Agricultura tradicional en México. *En*: E. Hernández X., E. Bello B. y S. Levy T. (eds.). La milpa en Yucatán. Un Sistema de Producción Agrícola Tradicional. Tomo 1. Colegio de Postgraduados. México. p. 15-34.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2008) El Sector alimentario en México. Disponible en línea: http://biblioteca.inec.unam.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=3170&Itemid=111 (Consultado: 15 de Octubre del 2008).

Kato Y., T. A. 1984. Chromosome morphology and the origin of maize and its races. *Evolutionary Biology* 17: 219-253.

Lorenzo J. L., y L. González. 1970. El más antiguo teosintle. *Boletín del Instituto Nacional de Antropología e Historia*. No. 42. México, D.F.

Mangelsdorf, P. C., and E. Smith. 1949. New archaeological evidence on evolution of maize. Botanical Museum of Harvard University. Cambridge, Massachusetts.

Martínez-Castillo, J., D. Zizumbo-Villarreal, P. Guepts, P. Delgado-Valerio, P. Colunga-Garcíaamarín. 2006. Structure and genetic diversity of wild populations of Lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) from the Yucatan peninsula, Mexico. *Crop Sci.* 46: 1071-1080.

Martínez-Castillo, J., D. Zizumbo-Villarreal, H. Perales-Rivera, P. Colunga-Garcíaamarín. 2004. Intraspecific diversity and morpho-phenological variation in *Phaseolus lunatus* L. from the Yucatan peninsula, Mexico. *Econ. Bot.* 58(3): 354-380.

Matsuoka, Y., Y Vigouroux, M. M. Goodman, J. Sánchez G., E. Buckler and J. Doebley. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *PNAS* 99(9): 6080-6084.

Miranda C., S. 2003. El origen genético y geográfico del maíz (*Zea mays* L.). *En*: Muñoz O., A. (ed.). Centli-Maíz. Editorial Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México, México. pp. 147-159.

Orellana, R., M. Balam-Ku, I. Bañuelos-Robles, E. García, J. A. González-Iturbe, F. Herrera-Cetina, y J. Vidal-López. 1999. Evaluación climática. *In*: A. García de Fuentes, J. Córdoba y Ordóñez, y P. Chico Ponce de León (eds.). Atlas de Procesos Territoriales de Yucatán. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán. pp. 163-182.

Ortega R. Y Dzib L. 1992 Recursos genéticos de maíz para la milpa en: Zizumbo *et al.* (eds) La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad CICY pp 135-145.

Pérez A. 1942 La Milpa. Pub. Gobierno de Yucatán Mérida, Yuc. México 57 pp.

Pressoir, G. and J. Berthaud. 2004. Patterns of population structure in maize landraces from the Central Valleys of Oaxaca in Mexico. *Heredity* 92: 88-94.

Rajora, O. P. 1999. Genetic biodiversity impacts of silvicultural practices and phenotypic selection in white spruce. *Theor. Appl. Genet.* 99: 954-961.

Reif J. C., A. E. Melchinger, X. C. Xia, M. L. Warburton, D. A. Hoisington, S. K. Vasal, G. Srinivasan, M. Bohn and M. Frisch. 2003. Genetic distance based on simple sequence repeats and heterosis in tropical maize populations. *Crop Sci.* 43:1275-1282.

Sánchez G., J. J. 1989. Relationships among the Mexican races of maize. PhD. Dissertation. North Carolina State University. Raleigh, N.C., USA. 187 p.

Sánchez G. J. J.; M. M. Goodman and C. W. Stuber. 2000a. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54(1): 43-59.

Sánchez G. J. J.; C. W. Stuber and M. M. Goodman. 2000b. Isozymatic diversity in the races of maize of the Americas. *Maydica.* 45: 43-59.

Smith, J.S.C., E.C.L. Chin, H. Shu, O.S. Smith, S.J. Wall, M.L. Senior, S.E. Mitchell, S. Kresovich, and J. Ziegler. 1997. An evaluation of utility of SSR loci as molecular markers in maize (*Zea mays* L.): comparisons with data from RFLPs and pedigree. *Theor. Appl. Genet.* 95:163. 173.

Stuber, C. W.; J. F. Wendel; M. M. Goodman and J. S. C. Smith. 1988. Techniques and scoring procedures for starch gel electrophoresis of enzymes from maize (*Zea mays* L.). North Carolina Agricultural Research Service. Technical Bulletin No. 286. Raleigh, North Carolina, USA. 87 p.



Vigouroux, Yves, J. C. Glaubitz, Y. Matsuoka, M. M. Goodman, J. Sánchez G., and J. Doebley. 2008. Population structure and genetic diversity of new world maize races assessed by DNA microsatellites. *Am. J. of Botany* 95(10): 1240. 1253.

Wellhausen, E. J.; L. M. Roberts y E. Hernández X. (en colaboración con P.C. Mangelsdorf). 1951. Razas de Maíz en México. Su Origen, Características y Distribución. Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D.F. 239 p.

Yeh, F. C. and T. J. B. Boyle. 1999. Popgene version 1.31. Microsoft Windows-based freeware for population analysis. University of Alberta and Centre for International Forestry Research, Edmonton, Alberta.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES (POR SU APORTACIÓN EN ACTIVIDADES PUNTUALES DEL PROYECTO).

CONABIO. Por seleccionar este proyecto y auspiciarlo económicamente.

Del Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. Mérida, Yucatán

Daniel Zizumbo Villarreal

Félix Dzul Tejero

Nelson Torres Hernández

Luciana Camacho Pérez

Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México. (CP)

Dr. Gustavo López Romero