

2012



Woodrow Wilson
International
Center
for Scholars

Mexican Rural Development Research Reports

A close-up photograph of several corn cobs of different colors, including yellow, red, and black, arranged in a cluster. The cobs are the central focus of the cover image.

Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México

Antonio Turrent Fernández, INIFAP
Timothy A. Wise y Elise Garvey, Universidad de Tufts

Reporte 24

Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México

Antonio Turrent Fernández, Timothy A. Wise, y Elise Garvey

Octubre de 2012

Los autores agradecen a los que nos ofrecieron sus comentarios puntuales al borrador de esta publicación. También agradecemos al Woodrow Wilson Center por su apoyo en la publicación del trabajo. El documento fue originalmente publicado en inglés por el Global Development and Environment Institute de Tufts University bajo el título "Achieving Mexico's Maize Potential", GDAE Working Paper No. 12-03, October 2012, disponible en: <http://www.ase.tufts.edu/gdae/Pubs/wp/12-03TurrentMexMaize.pdf>

Resumen

El incremento en los precios de los productos agrícolas y la creciente dependencia alimentaria de México, han elevado el costo de importación de alimentos hasta \$20 mil millones de dólares por año, a la vez incrementado el déficit de la balanza agrícola. México importa la tercera parte de su consumo aparente de maíz mayoritariamente de los EEUU, mientras 3 millones de productores producen la mayor parte del maíz blanco que se usa para tortilla y también en muchas otras formas de consumo pluricultural como alimento. Los déficits de rendimientos son altos entre los productores pequeños y medianos de maíz, con productividad global estimada en 57 % de su potencial. ¿Puede México reducir este déficit mediante tecnologías ya conocidas y empleadas en el país para recuperar su autosuficiencia en maíz? La revisión exhaustiva de la literatura indica que sí hay una alta probabilidad de lograrlo. Con el actual cambio de gobierno en México, se consideran diferentes opciones de política para identificar aquellas que incrementen la productividad agrícola y el manejo sustentable de sus recursos, y a la vez, reduzcan la importación de alimentos de manera creciente. Mientras el cambio climático acotará las posibilidades de crecimiento de la producción mediante el modelo agrícola intensivo en el uso de insumos, aquellas políticas involucran el énfasis en un extensionismo participativo, en la divulgación de prácticas agrícolas sustentables y en el mejoramiento del manejo del agua, incluso la expansión de la superficie bajo riego.

Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México

Antonio Turrent Fernández, Timothy A. Wise, y Elise Garvey
Mexican Rural Development Research Report No. 24, octubre 2012
Woodrow Wilson International Center for Scholars

Resumen ejecutivo

El crecimiento de los precios agrícolas y la dependencia alimentaria creciente han elevado el costo de la importación de alimentos al orden de \$20 mil millones de dólares anuales, a la vez que han agudizado el déficit de la balanza agropecuaria. La sequía severa actual en los EEUU empeora esta situación al incrementarse los precios del maíz a sus máximos históricos. El déficit actual de maíz en México es del orden de 10 millones de toneladas anuales, por las que se paga \$2.5 mil millones de dólares al año. México importa un tercio de su consumo de maíz principalmente de los EEUU, mientras que tres millones de productores aportan la mayor parte del maíz blanco que se consume como tortilla, así como el grano de más de 59 razas nativas de maíz que son ingredientes básicos de más de 600 preparados alimenticios pluriculturales. Se estima que el déficit de rendimiento es del orden de 43% bajo temporal, mientras que es sólo 10% en las unidades grandes bajo riego. La mayor parte de las unidades de producción de pequeña y mediana escalas opera a menos de 50% de su potencial.

¿Puede México revertir esos déficits de productividad usando tecnologías probadas y ampliamente utilizadas en el país para recuperar su autosuficiencia en maíz? El análisis exhaustivo de la literatura indica que sí es posible, y también identifica a las políticas de mayor probabilidad de éxito. El examen minucioso de las ganancias en productividad y del potencial de México en sus contrastantes sectores productivos de maíz –bajo riego y bajo temporal, escalas industrial y pequeña, adopción de híbridos y manejo de razas nativas– así como sus reservas de recursos naturales, ha de concluirse que México tiene el potencial para recuperar su autosuficiencia en maíz en un plazo relativamente corto, basándose en tecnologías existentes y sin recurrir que al uso del controvertido maíz transgénico.

Las evidencias sugieren que México puede aumentar su producción anual de maíz en sus tierras actualmente cultivadas, desde 23 hasta 33 millones de toneladas en un período de 10 a 15 años, lo que eliminaría el déficit actual de 10 millones de toneladas anuales. Con proyectos de infraestructura y de riego en el sur-sureste del país se añadiría 24 millones de toneladas al año. Esto sería suficiente para satisfacer la creciente demanda nacional de maíz que se espera llegue a ser de 39 millones de toneladas anuales hacia el año 2025.

Debido a que el cambio climático restringirá el crecimiento de la agricultura intensa en insumos, las políticas de fomento habrían de apoyarse en la resiliencia de México que deriva de su rica biodiversidad en maíz así como en el impulso a las prácticas agrícolas sustentables. En vista de que la menor disponibilidad de agua asociada al cambio climático será factor clave de la productividad agrícola de México, es esencial mejorar el manejo del agua disponible tanto para riego como para temporal, así como lo será aprovechar para riego la abundancia relativa de agua del sur-sureste del país.

Examinamos aquí cuatro programas gubernamentales que tienen el objetivo de incrementar la productividad del maíz de México. Lo que encontramos se resume en:

- Un impulso por expandir el uso de maíz transgénico que es innecesario y equivocado. El potencial de incremento del rendimiento es limitado, particularmente para los pequeños productores, mientras que son altos los riesgos para la rica biodiversidad de México en maíz y para sus parientes silvestres.
- Los objetivos gubernamentales recientemente introducidos en el Programa MasAgro para los pequeños productores y para la conservación de los recursos, son

encomiables. Sin embargo, el logro de sus objetivos es poco probable debido a su reducido presupuesto, a su dependencia excesiva de semillas mejoradas y en prácticas de conservación inadecuadas para pequeños productores y para tierras marginales. Sin embargo, la agricultura de conservación apoyada en no laboreo y en rotaciones largas de cultivo habría de ser impulsada en las unidades grandes de producción, para las que esos métodos han probado su eficiencia.

- Un programa piloto de extensionismo participativo llamado “Programa Estratégico para Altos Rendimientos de Maíz (PROEMAR) ha logrado un éxito impresionante, incrementando los rendimientos entre 55 y 70% en un proyecto conducido en varios estados por una organización de productores. El proyecto hizo accesible el análisis del suelo, el uso mejorado de insumos y de varias prácticas de manejo sustentable a productores pequeños y medianos bajo temporal. El proyecto no introdujo nuevos híbridos de maíz transgénicos o no. Los resultados fueron positivos desde el primer año con productores tanto en tierras de alta calidad agrícola como de mediana calidad y tanto para los que usaron semillas híbridas como maíces nativos.
- La tecnología “Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF)” fue desarrollada en México por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias y por el Colegio de Postgraduados, específicamente para pequeños productores. Esta tecnología aún en su fase piloto, es prometedora en el incremento del ingreso familiar, la reducción de la erosión y de los escurrimientos superficiales en laderas de pendientes moderada hasta pronunciada y en la fijación de carbón atmosférico. Ha sido cotejada en varios estados.

Estos resultados son consistentes con el consenso internacional prevaleciente en cuanto a la “intensificación sustentable” de la producción en pequeña escala. La inversión pública habría de ir donde hay los mayores déficits de rendimiento, entre los pequeños y medianos productores. Ahí es también donde el capital privado es más escaso y donde prevalecen las fallas de mercado.

La inversión en infraestructura hidroagrícola es de muy alta prioridad, dado que el cambio climático reducirá la disponibilidad de agua. Las obras de infraestructura hidroagrícola existentes se ubican en las regiones semiáridas mayormente del norte del país tienen escaso mantenimiento y son ineficientes. Es ampliamente justificable la inversión en nueva infraestructura hidroagrícola en el sur-sureste del país. Esta inversión a plazo largo produciría el incremento tanto en la productividad del maíz como en el manejo de recursos en la región del país más urgida de desarrollo económico y mejoramiento de las condiciones de vida.

La actual transición a un nuevo gobierno de México ofrece la oportunidad de abordar su ya insostenible dependencia del maíz del extranjero. Los altos y crecientes precios internacionales constituyen un poderoso incentivo. Los grandes ahorros posibles son evidentemente significativos, mientras que el mercado a su vez incentiva a los productores para adoptar mejoras tecnológicas. Se necesita ambición política y esta ha de traducirse en inversión pública.

El documento se encuentra disponible en;

<http://www.wilsoncenter.org/publication/mexican-rural-development-research-reports-english-spanish> (versión en español)

<http://www.ase.tufts.edu/gdae/Pubs/wp/12-03TurrentMexMaize.pdf> (english version)

Liga del proyecto con información adicional; <http://www.wilsoncenter.org/desarrolloruralmexicano>

Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México

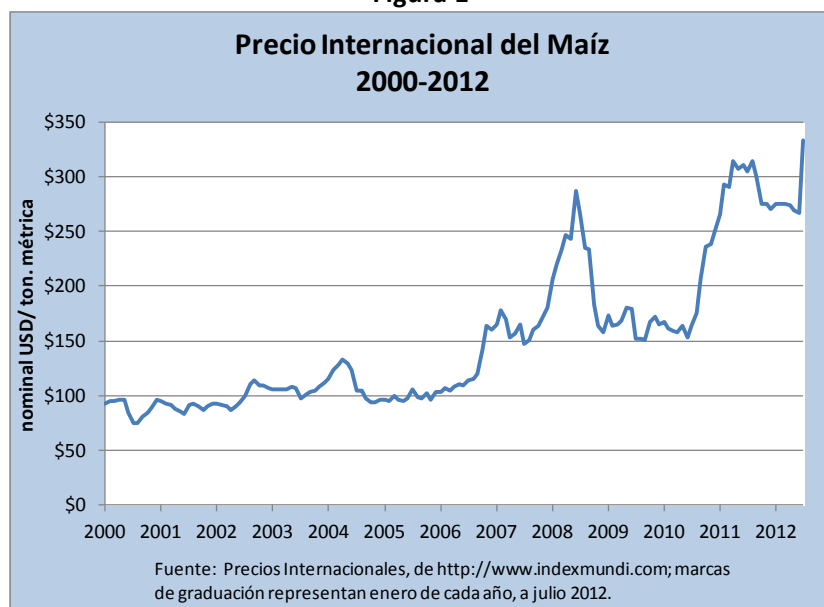
Antonio Turrent Fernández, Timothy A. Wise, y Elise Garvey¹

Introducción

Para sorpresa de muchos estudiosos del maíz de México, su producción ha aumentado en 50% a partir del inicio en 1994 del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Esa producción anual promedió 22.7 millones de toneladas en el período 2006-2010. El incremento ocurrió a pesar de 1) la cuadruplicación de su importación desde EEUU, 2) la caída de 66 por ciento en los precios al productor durante el 2005, caída asociada con los precios del maíz importado de EEUU, que han sido 19 por ciento inferiores a los costos de producción y 3) la abrumadora reducción del apoyo gubernamental a los productores medianos y pequeños, que cuentan como la gran mayoría de los productores de maíz, y que siguen produciendo más de la mitad de la producción de maíz de México (Wise, 2010).

A pesar del incremento en la producción de maíz de México, la dependencia en su importación aumentó desde 7 por ciento en los años 1990, hasta 34 por ciento en años recientes (2006-08), como parte de la creciente importación generalizada de granos estratégicos y de carnes desde los EEUU. Esta dependencia se ha vuelto muy costosa para México, especialmente después de los incrementos de precios internacionales del maíz en el período 2007-2008, que llevaron el costo de importación de alimentos hasta el orden de 10 mil millones de dólares anuales. México sigue importando entre 8 y 10 millones de toneladas de maíz al año, mientras que las condiciones de sequía severa del ciclo actual en los EEUU, su principal proveedor, impulsarán los costos de importación a nuevas alturas. Ver la Figura 1.

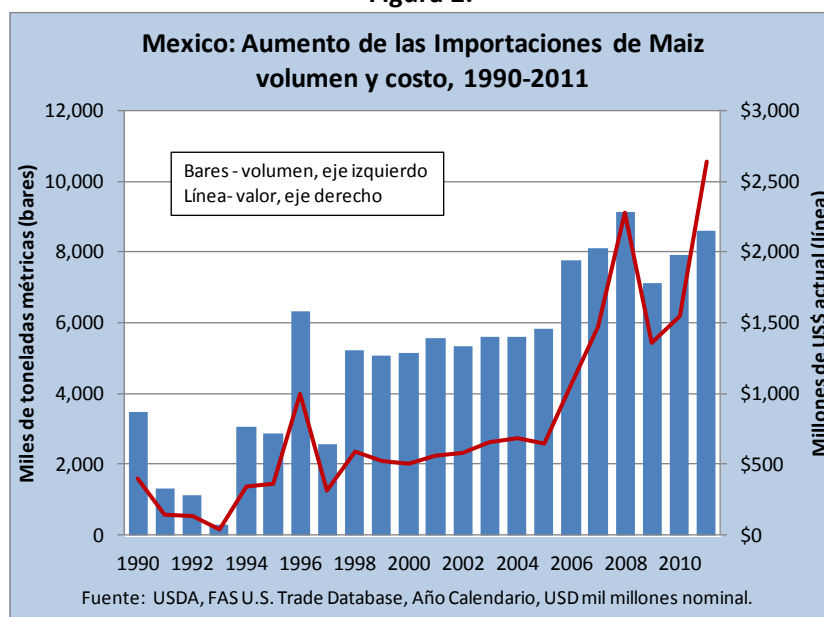
Figura 1



¹ Antonio Turrent Fernández es investigador de tiempo completo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Timothy A. Wise es Director de Políticas de Investigación del Instituto para el Desarrollo Global y el Ambiente, de la Universidad de Tufts. Elise Garvey es Investigadora del mismo Instituto.

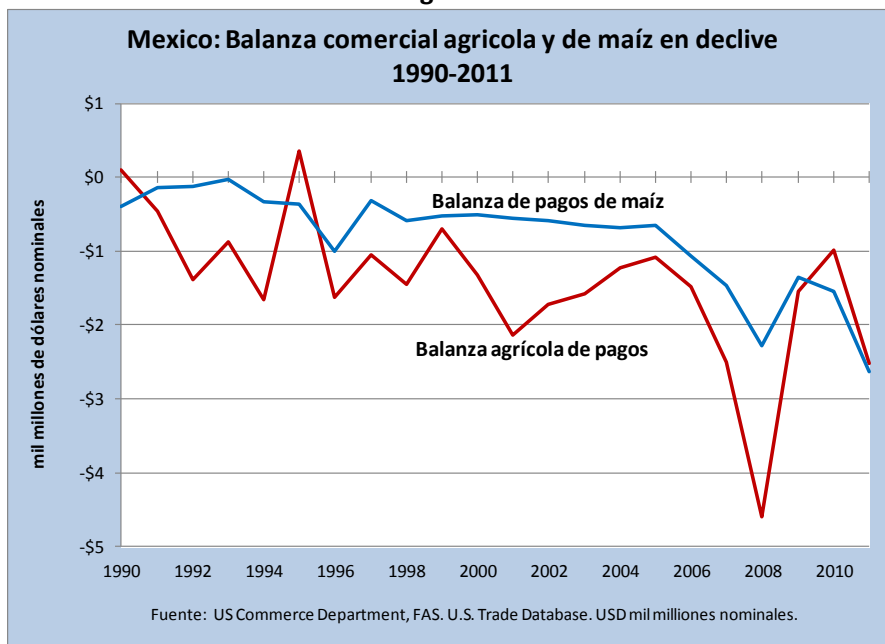
La importación de alimentos desde los EEUU costó a México 2.6 mil millones de dólares en 1990, 6.4 mil millones en 2000 hasta el máximo histórico 18.4 mil millones de dólares en 2011. Aún con los significativos incrementos en las exportaciones de México hacia los EEUU, la balanza agrícola de pagos empeoró desde un escaso saldo positivo en 1990, hasta el déficit de 1.3 mil millones de dólares en 2000 y al valor de desastre de 4.6 mil millones en 2008, debido al máximo relativo de los precios internacionales. El déficit de la balanza de pagos se mantenía en 2.5 mil millones de dólares en el 2011. Ver la Figura 2.

Figura 2.



Los costos por importación de maíz fueron crecientemente preponderantes en el déficit de la balanza de pagos, hasta ser de 2.6 mil millones en 2011. La importación de maíz igualó al déficit total de la balanza agrícola de pagos de los últimos dos años (Wise, 2012). Ver la Figura 3.

Figura 3.



El incremento de los precios internacionales del maíz fue causa central de los disturbios de la tortilla en el 2007, mientras que el alto costo de la importación de alimentos y la dependencia alimentaria son ahora cuestiones centrales del debate público. La posición declarativa del gobierno Mexicano es de eliminar o al menos reducir la dependencia del mercado internacional en maíz (SAGARPA *et al.*, 2011).

Para reducir esa dependencia en maíz, el gobierno Mexicano reveló una inversión de 138 millones de dólares en un programa de 10 años para incrementar la producción nacional de maíz en 5 a 10 millones de toneladas anuales hacia el décimo año. El programa es conocido como “Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional” (MasAgro). La estrategia es impulsar el uso de variedades mejoradas, así como mejorar el servicio de extensión agrícola para un manejo conservacionista de los recursos agrícolas de los pequeños y medianos productores de maíz (SAGARPA *et al.*, 2011). El gobierno también apoya la adopción de híbridos de maíz genéticamente modificados (MGM) habiendo autorizado su siembra a las escalas experimental y piloto. Esta autorización se dio a pesar de las evidencias del riesgo involucrado y de la amplia oposición popular.

En la campaña presidencial del 2012 se concedió poca atención hacia las políticas agrícolas, con la excepción de un candidato que se comprometió explícitamente a reducir a la mitad la dependencia en maíz hacia 2018, basada en una tasa de incremento anual de 4 por ciento en la producción y a la vez prohibir la siembra de maíz transgénico (Suárez Carrera 2012, pág. 18).

¿Es el objetivo de eliminar la dependencia en maíz alcanzable? Se ha argumentado que la inversión en el pequeño productor de maíz no es justificable, al ser incapaz de aumentar su productividad de manera significativa. Este argumento que ha prevalecido desde el inicio del TLCAN y está ahora bajo escrutinio debido al creciente costo de importación del maíz, deriva de la teoría de las ventajas comparativas. Esta teoría sugiere que en un mercado global –especialmente el norteamericano– el país debería producir aquello para lo que tiene ventajas comparativas e importar el resto. Sin embargo, la incapacidad del modelo basado en el TLCAN de generar suficientes fuentes de empleo y asegurar la seguridad alimentaria, ha llevado a varios autores a cuestionar este enfoque (Zepeda, Wise *et al.*, 2009). Los altos y crecientes precios internacionales recientes hacen

demasiado caro el enfoque de las ventajas comparativas. Los descomunales incrementos en los costos de importación de México, seguramente que forzarán al próximo gobierno a rediseñar sus políticas agrícolas.

El cambio climático también está presionando hacia políticas agrícolas más ambiciosas. La investigación sobre el cambio climático en México (Magaña *et al.*, 1997; Jones y Thornton, 2003) y sobre la vulnerabilidad y adaptaciones requeridas para mitigar sus efectos negativos sobre la producción de alimentos (Conde *et al.*, 2006; González-Chávez y Macías-Macías, 2007; Tinoco-Rueda *et al.*, 2011) identifican a la disponibilidad de agua para los cultivos como el factor central de impacto en la producción de alimentos en México. Los impactos del calentamiento global sobre el cultivo de maíz en México serán probablemente severos, debido al aumento en frecuencia de eventos extremos tales como la sequía reciente en la región semiárida del norte y de los ciclones en la región tropical. Tales impactos no han sido adecuadamente considerados en evaluaciones previas que en algunos casos predijeron condiciones climáticas más favorables por el cambio climático (Conde *et al.*, 2006). En una evaluación más reciente, sugiere que el cambio climático reducirá en 5 por ciento la producción de maíz de México hacia el año 2030 (Hertel *et al.*, 2010).

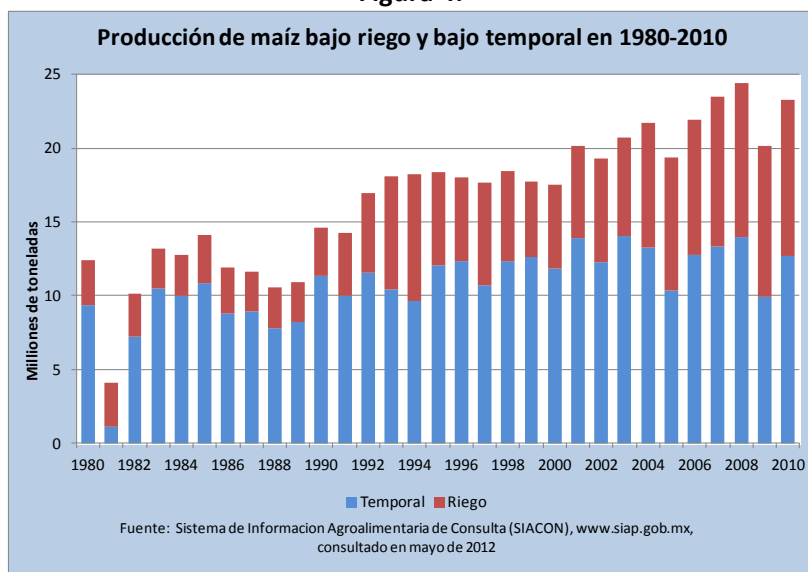
Investigaciones recientes sugieren que de hecho, los rendimientos globales de maíz ya se han reducido en 5.5 por ciento con relación a las ganancias esperadas desde 1980 a la fecha, debido al cambio climático (Lobell *et al.*, 2011). Varios investigadores predicen que la agricultura de los países en desarrollo será fuertemente afectada por el cambio climático (Parry *et al.*, 2007; Nelson *et al.*, 2009; Nelson *et al.*, 2010; Wassmann *et al.*, 2010; Muller *et al.*, 2011; and OECD *et al.*, 2012). La urgencia de reducir las emisiones de gases también impondrá límites a los tipos de agricultura intensas en el uso de recursos, y será prioritario desarrollar modelos de agricultura resilientes y sustentables (Royal Society, 2009).

En este documento hacemos el repaso de la evidencia disponible para juzgar si México puede recuperar su autosuficiencia en maíz y aún ser exportador neto, empleando las tecnologías disponibles que excluyen al uso de maíz transgénico. También se busca evaluar el potencial productivo no aprovechado de dos millones de pequeños productores y de aquellos más que manejan sus recursos agrícolas de manera sustentable. También se evalúan algunas políticas recientes del gobierno así como propuestas alternas más ambiciosas para el caso de que el próximo gobierno diera prioridad a la autosuficiencia en maíz.

Antecedentes

Los productores de maíz cultivan ocho millones de hectáreas cada año, de las que 1.5 millones de hectáreas cuenta con riego, mientras que la mayoría –6.5 millones de hectáreas– son de temporal. Mayormente, la tierra de temporal es cultivada en pequeñas unidades de producción que aplican sistemas tradicionales, si bien, como grupo heterogéneo en cuanto al manejo de los recursos. La mayor porción de la producción nacional de maíz proviene de estas pequeñas unidades de producción. (Ver Figura 4). La fracción de tierras de temporal incluye 1.5 millones de hectáreas de buena a excelente calidad agrícola, 3.5 millones de hectáreas son de mediana calidad, y 1.5 millones de hectáreas son de calidad marginal (Turrent-Fernández *et al.*, 1996).

Figura 4.



Los rendimientos guardan gran varianza en el país. Las unidades de producción de riego practican el modelo de la Agricultura Industrial, logrando rendimientos del orden de 10 ton/ha, comparables a los logrados por sus homólogos estadounidenses. En las tierras temporaleras de mayor calidad, como en partes del estado de Jalisco, se cultiva híbridos comerciales con altos niveles tecnológicos, produciendo rendimientos entre 7 y 8 ton/ha. Las tierras de menor calidad agrícola se manejan mayormente en pequeñas unidades, cultivan principalmente razas nativas de maíz, alcanzando rendimientos entre 2 y 3 ton/ha; algunos producen excedentes de grano para el mercado regional. Las unidades de producción que cultivan tierras marginales tienden a ser del tipo de subsistencia y sub-subsistencia, logrando rendimientos de menos de 1 ton/ha. Siembran únicamente razas nativas de maíz. A pesar de sus bajos rendimientos, estas unidades contribuyen significativamente a la seguridad alimentaria de los estratos rurales más pobres del país.²

Se ha descrito tres tipos de unidades de producción agrícola de México en la literatura: a) tradicional, b) subsistencia y c) empresarial. (La etno-agricultura de las Sierras, conforma un cuarto tipo que no ha sido formalmente reconocido, siendo normalmente incluido en el tipo de subsistencia.) Los tipos tradicional y de subsistencia cuentan por el 75 por ciento del total de unidades de producción. El tipo tradicional normalmente produce excedentes para los mercados locales; el tipo de subsistencia normalmente no produce suficiente alimento para la familia, y el déficit es normalmente adquirido en el mercado local (Turrent-Fernández y Serratos Hernández, 2004).

Lo anterior conforma un sector maicero de uso intenso de mano de obra. El productor mexicano medio usa 14 jornales para producir una tonelada de maíz, mientras que en EEUU y Canadá –y sus homólogos de Sinaloa– solo requieren 0.14 jornales por tonelada de grano, equivaliendo a una productividad por productor cien veces menor (Turrent-Fernández y Serratos-Hernández, 2004).

² Las estimaciones se basan en observaciones del período 2003-10 en los estados de Sinaloa (riego), Jalisco (tierras de temporal de alta calidad agrícola), el distrito de temporal Tomatlán (con calidad mediana a baja), y el distrito de Ojo Caliente, Zacatecas (tierras marginales). FUENTE: SIAP (2012a). Cierre de la producción agrícola por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

La resiliencia es un rasgo sobresaliente del sector que produce el maíz de México. Según los Censos Agrícolas del 2007, el número de unidades de producción se incrementó con respecto a 1991, a pesar de la competencia con el grano importado y de los precios reales decrecientes. El sector ha resistido los esfuerzos gubernamentales en pro de su modernización. Por ejemplo, la adopción de híbridos de alto rendimiento creció hasta los años 1970, apoyada por programas públicos y un significativo esfuerzo de investigación para desarrollar híbridos y variedades mejoradas. Sin embargo, ese nivel de adopción se ha mantenido bajo, no rebasando el nivel de 30 por ciento de la tierra sembrada anualmente con maíz.

La mayoría de los expertos concuerda con que el cuidadoso manejo del riesgo de los productores tradicionales es sensible a la pobre adaptación de las variedades comerciales mejoradas a sus condiciones agroecológicas y a su uso limitado de insumos externos (semillas, fertilizantes, plaguicidas y agua de riego), necesarios para alcanzar su potencial productivo. El acceso inseguro al crédito ha sido otro factor que limita la adopción a tecnologías para incrementar los rendimientos (Turrent-Fernández, 2012). Según los Censos Agrícolas del 2007, solamente el 4 por ciento de los productores mexicanos tuvo acceso a crédito formal comercial (Robles-Berlanga, 2010). Las condiciones para la adopción de semillas híbridos han empeorado con la reformas del mercado, en la medida en que las corporaciones multinacionales de semillas ahora dominan el mercado, desplazando a los programas del sector público que buscaban desarrollar variedades mejoradas de maíz adaptadas a las condiciones locales.

Una segunda razón de la adopción acotada de híbridos y variedades mejoradas de polinización libre, deriva del uso cultural de maíz como alimento. Las más de 59 razas nativas de maíz cultivadas mayormente en tierras de mediana, baja calidad y marginales, son ingredientes especializados insustituibles de la cocina pluricultural mexicana, que incluye más de 600 preparados comestibles (alimentos y bebidas) a base de maíz nativo nixtamalizado –incluyendo 300 tipos de tamales. Hay una estrecha correlación entre la raza nativa y el preparado, e.g., la tortilla especial “tlayuda” de la cocina oaxaqueña sólo puede ser preparada con grano de la raza nativa “bolita”, a la vez, el “totopo” también de la comida oaxaqueña, sólo puede ser preparado con grano de la raza nativa “Zapalote chico”.

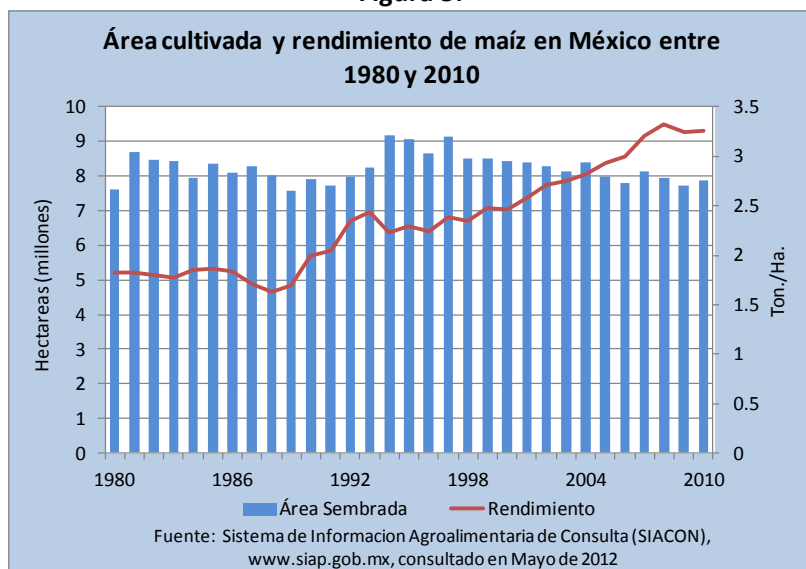
La producción nacional de maíz promedió 22.7 millones de toneladas anuales en el período 2006-10. Tal producción fue inferior en 10 millones de toneladas para satisfacer el consumo nacional en el mismo período. México duplicó su producción anual de maíz alcanzada en 1990 (Robles-Berlanga, 2010), a pesar de las condiciones significativamente desfavorables impuestas a los productores a partir del 1994, año de inicio del TLCAN (Wise, 2010). La demanda creciente de maíz, especialmente la de maíz forrajero amarillo, mantuvo en crecimiento la demanda de maíces blancos mejorados y de las razas nativas de maíz.

Los mercados para el maíz forrajero amarillo, en gran parte importado, y maíz blanco, en gran parte producido en México, son distintos pero muy relacionados. Desde que entró en efecto el TLCAN, los precios de los dos se han correlado, con el precio internacional transmitido a los mercados locales y regionales, aún sin transmisión perfecta. Es común encontrarse con un premio para el maíz blanco en México. Los mercados se relacionan estrechamente porque el maíz blanco se sustituye con el amarillo en las mezclas forrajeras, y en muchas otras preparaciones industriales. El maíz amarillo se sustituye menos bien con el blanco para la tortilla y otras preparaciones de comida humana.

El incremento de la producción nacional de maíz se debió principalmente a los incrementos sostenidos en su productividad, dado que la superficie cultivada de maíz se mantuvo casi constante y aún se abatió ligeramente (ver Figura 5) (Fox y Haight, 2010). El

rendimiento promedio nacional se duplicó entre 1990 y 2007, alcanzando el nivel de 2.82 toneladas por hectárea (Robles-Berlanga, 2010)

Figura 5.



Parte del incremento de los rendimientos se debió al aumento en la superficie cultivada con maíz bajo riego, que ocurrió entre los años 1980 y primera parte de los 1990, principalmente en grandes unidades de producción del norte de México (ver la Figura 4). La superficie de maíz bajo riego aumentó desde 1.06 millones de hectáreas en 1980-1984 con rendimientos promedio de 2.94 ton/ha, hasta 1.422 millones de hectáreas en 2006-2010 con rendimientos que promediaron 7.42 ton/ha. Tales son incrementos de 40% en la superficie bajo riego y 250% en el rendimiento de maíz. La productividad de maíz bajo temporal creció durante el mismo período, si bien a la tasa de 35%, por rendimientos que aumentaron desde 1.63 t/ha a 2.2 t/ha (SIAP, 2012b).

La mayordomía de las 31 millones de hectáreas de tierras de labor de México ha sido notoriamente pobre. Entre las fallas sobresalientes están:

1. Aun cuando la superficie de tierras de labor en ladera es aproximadamente de 13 millones de hectáreas (alrededor de 30% de la superficie de labor bajo temporal), su protección contra la erosión hídrica es insignificante (Turrent Fernández, 1986). Por ejemplo, en la región de Los Tuxtlas, estado de Veracruz, donde la precipitación anual es de 1500 mm, la erosión puede ser de 146 toneladas de suelo por hectárea en laderas de 15% de pendiente (Francisco Nicolás *et al.*, 2006).
2. No se ha materializado la promesa explícita gubernamental de invertir fondos públicos adicionales para incrementar la superficie bajo riego, en preparación para el TLCAN, lo que ha congelado la productividad de maíz de miles de productores. La superficie de maíz bajo riego es actualmente 20 a 25% inferior a la de 1993-94 y aunque sigue siendo 40% superior a la del bienio 1999-2000, el crecimiento de la superficie de maíz bajo riego ha sido insignificante desde 2005.
3. La tecnología de riego ha evolucionado poco en los 6.3 millones de hectáreas bajo riego, promediando 46% en su eficiencia de riego (Arreguín Cortés *et al.*, 2004). Esta limitación es a la vez un problema ecológico dada la insuficiencia reciente de agua para riego en el norte del país, y una cuestión de productividad.

4. La actividad agrícola moderna está insuficientemente regulada y no asigna responsabilidades por sus externalidades crecientes. Por ejemplo, la agricultura de tipo industrial –monocultivo con alto uso de agroquímicos– contamina las aguas de escurrimiento que descargan en el Mar de Cortés, siendo causa primaria de su eutrofización (Committee on the Causes and Management of Coastal Eutrophication, 2000; Manning, 2002).
5. Los programas públicos de apoyo a la agricultura han ignorado la contribución potencial de los agricultores en pequeño, categoría ampliamente predominante por su número y por la superficie dedicada al cultivo del maíz en el campo mexicano.

Distribución geográfica de la producción de maíz

Hay un componente geográfico de la producción de maíz en México. Se puede clasificar a los productores según cuatro grupos (que se describen abajo), basados en la producción de maíz (Turrent Fernández y Serratos Hernández, 2004).

- Grupo I. Se ubica en el centro y sur-sureste de México contiene el 70% de las razas nativas de maíz. Esta región tiene una alta probabilidad de preservar su biodiversidad de maíz; comprende estados con medianas a muy altas proporciones de población rural, con uso limitado de híbridos, con producciones de maíz desde media a alta, y rendimientos bajos a altos.
- Grupo II. Se ubica en estados del norte del país que producen poco maíz y con frecuencias de población rural desde baja hasta mediana, su uso de híbridos es de bajo a mediano, y en general tienen muy baja a mediana producción y productividad de maíz.
- Grupo III. Se ubica en el estado de Jalisco que es gran productor de maíz, con rendimientos que varían desde bajos hasta medios y altos. Hay un uso alto de híbridos en las regiones más productivas; también hay considerable número de razas nativas de maíz y poblaciones de teocintle. El nivel de población rural es medio.
- Grupo IV. Se localiza en los estados de Sonora y Sinaloa, y en los alrededores del Distrito Federal.

El potencial de maíz desaprovechado en México

¿Cuál es el potencial de maíz desaprovechado de México? Las nuevas estrategias para aumentar la productividad y producción involucran la reducción de los déficits relativos del rendimiento en la tierra ya cultivada y abrir al cultivo nuevas o subutilizadas tierras de calidad agrícola. El déficit de rendimiento –diferencia entre el rendimiento potencial y el actual de una parcela– no es alto en las grandes unidades-industrializadas de producción de maíz en México. Ya se han adoptado tecnologías para lograr altos rendimientos en estas unidades de producción, ya se han invertido capital, y sus rendimientos son comparables a los de las regiones avanzadas de los EEUU. En estas regiones se podría regar nuevas tierras y mejorar la eficiencia del riego, pero estas serían acciones de tipo primario para incrementar la producción mediante la inversión pública. La muy cacareada promesa de que los maíces transgénicos –que ya han sido aprobados en México en las escalas experimental y piloto– incrementarían el rendimiento, ha sido desacreditada por evidencias de campo (verlas en Benbrook, 2002; Gurian-Sherman, 2009). (Hemos de tratar de nuevo esta cuestión más

adelante). En un estudio detallado del período 2000-2004 se estimó que las unidades de producción grandes ya estaban operando al nivel de 90% de su productividad potencial, dejando un reducido déficit de rendimiento (Turrent Fernández, 2008).

Los déficits de rendimiento son mayores entre los pequeños y medianos productores de maíz de temporal. Esta observación es consistente con evaluaciones internacionales (FAO, 2011; FAO *et al.*, 2012). Como este sector tiene acceso limitado al crédito formal, al riego, y ha sido desatendido por los servicios de extensión en las últimas dos décadas, los productores producen bastante por debajo de su potencial. El sector también sufre de organización inoperante, que limita cualquier incremento en la productividad. En el mismo estudio atrás citado se estima que los productores temporaleros de maíz operan al 57% de su potencial productivo, dejando un déficit de rendimiento de 43%. La mayor parte de las regiones operaban a menos del 50% de su potencial. Eliminar este déficit de rendimiento añadiría más de nueve millones de toneladas a la producción nacional (Turrent Fernández, 2008).

En la siguiente sección se evalúa la evidencia de que México podría aumentar su producción de maíz de manera significativa.

Agrimensura del potencial productivo de maíz

Turrent Fernández ha estimado que México podría transformarse en exportador neto de maíz, basando su estimación del potencial productivo nacional en tres grandes agrimensuras conducidas en 1977, 1991 y 2000. Aquellas involucraron más de 4100 experimentos de campo de un período de 50 años. A continuación daremos el repaso de estos estudios.

De 1952 a 1977, muchos investigadores principalmente del INIFAP e instituciones antecesoras, condujeron 2,545 experimentos de campo sobre fertilidad de suelos bajo temporal, en las principales regiones productoras de maíz del país, así como 819 experimentos de riego. Los experimentos tuvieron típicamente de 0.3 a 0.5 hectáreas de extensión, siendo agrupados en 72 agrosistemas de maíz. Los experimentos involucraron razas nativas de maíz o la primera generación de maíces mejorados del INIFAP. El mismo autor proyectó que los incrementos logrados en los rendimientos aproximarían a los rendimientos alcanzables en 7.48 millones de hectáreas en el país (0.97 millones bajo riego y 6.51 bajo temporal), y que tal conduciría a una producción que duplicaría la producción anual de 10.05 millones de toneladas anuales a 20.17 millones de toneladas por año (Turrent Fernández, 1986).

Una agrimensura posterior, de 1991, incrementó la estimación de la producción potencial a 25.77 millones de toneladas anuales para el período 1988-1989, y elevó la estimación a 28.62 millones de toneladas anuales para el período 2005-2009. Para tal, se condujo experimentos para cotejar el desempeño de tecnología más reciente del INIFAP que involucró nuevos híbridos públicos, mayores densidades de población y de fertilización. Se evaluó los déficits de rendimiento para un millón de hectáreas bajo riego y para 1.5 millones de hectáreas de las Provincias Agronómicas de temporal de "Muy Buena y de Buena Productividad". Los rendimientos obtenidos por los productores fueron 3.63 ton/ha bajo riego y 2.88 ton/ha para ambas Provincias Agronómicas de Temporal. Los rendimientos potenciales fueron respectivamente 6.15, 4.3 y 3.8 ton/ha (Turrent Fernández et al., 1996; Turrent Fernández, 2011).

En el año 2000, los investigadores añadieron a la estimación del potencial productivo nacional de maíz, aquellas reservas de tierras y de agua, ambos subutilizadas de la región sur-sureste del país, en seguimiento a una iniciativa de proyecto descartada por el gobierno a finales de los años 1980. La estimación del incremento en producción se basó en experimentos de campo conducidos por investigadores del INIFAP en ocho de los estados más empobrecidos del sur-sureste, donde los productores disponen de escasos recursos, la reserva de agua es relativamente abundante y muchas tierras de calidad agrícola son subutilizadas bajo el modelo de ganadería extensiva. La iniciativa de aprovechar estos recursos ayudaría a atemperar las desigualdades del desarrollo económico del país y del nivel de vida, al inyectar capital a una región de gran marginalidad social. El riego permitiría obtener dos cosechas al año e incrementar la producción de manera significativa, a la vez que se rota cultivos (e.g., arroz o soya en Primavera Verano y maíz de riego en Otoño-Invierno) que mejoraría la calidad de los suelos. La infraestructura agrícola sería costosa, en parte porque se requeriría extender la red de electricidad para el bombeo y eficiencia en el uso del agua.

La magnitud de los incrementos en la producción de maíz estimados es sorprendente. Los productores de maíz podrían añadir ocho millones de toneladas anuales de maíz (ciclo Otoño Invierno) por cada millón de hectáreas de tierras de labor subutilizadas más 16 millones de toneladas en dos millones de hectáreas de tierras agrícolas subutilizadas en pastoreo extensivo (Turrent Fernández *et al.*, 1998; Turrent Fernández *et al.*, 2004b; Turrent Fernández *et al.*, 2004a).

Las estimaciones de producción, publicadas en 2009 para un horizonte de 10 a 15 años, fueron de 53 millones de toneladas anuales, de las que 29 millones provendrían de las superficies de temporal y riego actualmente sembradas, y 24 millones de la superficie adicional bajo riego en el sur-sureste (Turrent Fernández, 2009). Este potencial de producción se refiere únicamente al uso de tecnología de origen público, con exclusión del uso de maíz transgénico. Como se menciona atrás, la inversión pública requerida sería muy alta, que se incrementaría para reconvertir el sistema ganadero extensivo hacia un sistema agropecuario intensivo que involucraría la semi-estabulación del ganado y el cultivo de granos forrajeros y para consumo humano (Turrent Fernández, 2009).

Turrent Fernández actualizó sus estimaciones en 2011 para reconocer el incremento del orden de 500,000 hectáreas sembradas con maíz bajo riego a partir de los años 1990. La estimación de la producción potencial nacional se incrementa a 57 millones de toneladas anuales (Turrent Fernández, 2011). Este nivel de producción sería más que suficiente para satisfacer la creciente demanda nacional de maíz que se espera sería del orden de 39 millones de toneladas anuales hacia el año 2025 (FAPRI, 2011).

Cinco de 8 millones de hectáreas sembradas con maíz cada año son inadecuados para la agricultura industrial debido a sus características limitativas geográficas y edafoclimáticas. Los tres millones de hectáreas de tierras de mayor calidad –1.5 millones bajo riego, más 1.5 millones de hectáreas de las Provincias Agronómicas (PA) de Muy Buena y de Buena Productividad– ya están siendo aprovechadas a niveles cercanos a su potencial. Cualquier incremento de productividad en gran parte de aquellos 5 millones de hectáreas de tierras de menor calidad agrícola –3.5 millones de hectáreas de la PA de Mediana Productividad más 1.5 millones de hectáreas de las PA de Baja Productividad y de Tierras Marginales– tendría que consistir en el mejoramiento del manejo agronómico de las variedades mejoradas de polinización libre, de las razas nativas de maíz y de los materiales desarrollados por los productores a partir de ambas fuentes de germoplasma, mientras que en las PA de Baja Productividad y Tierras Marginales, sólo las razas nativas de maíz

prosperan. Los esfuerzos públicos y privados para el mejoramiento genético del maíz no han tenido éxito en estas últimas PA, tanto por su adaptación agronómica como por su inadecuada calidad para su consumo pluricultural como alimento. En la siguiente sección hacemos el repaso de la evidencia de que sí es posible incrementar la productividad en gran parte de tales tierras de menor de menor calidad agrícola.

Repaso de las evidencias

Debido a la presencia en México del Centro Internacional del Maíz y Trigo³ (CIMMYT), asociado con el Sistema del Grupo Consultivo sobre la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR por sus siglas en Inglés) y al mandato del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) se ha puesto énfasis en el desarrollo y liberación de híbridos de maíz en México. Desde 1963 a la fecha, el INIFAP ha liberados más de 200 variedades mejoradas de maíz adaptadas a diferentes regiones agroclimáticas de México (Espinosa *et al.*, 2009). Como se menciona previamente, la adopción de maíces mejorados (híbridos y variedades de polinización libre) ha sido limitada, alcanzando el valor de 30% del uso de semilla de maíz al nivel nacional, con escaso crecimiento en las dos décadas recientes. Se siembra esos híbridos en la mayor parte de los 3 millones de hectáreas de tierras de la mejor calidad bajo riego y temporal.

Productividad de los híbridos de maíz

No es sorpresivo que la mayor parte de la investigación sobre la productividad del maíz en México haya focalizado a la minoría de tierras de la mayor calidad y a sus productores. No encontramos literatura que resumiera la contribución de los maíces híbridos y variedades de polinización libre sobre las ganancias en el rendimiento nacional de maíz. Sin embargo, sí hay fuentes que analizan los desempeños de los maíces mejorados de manera puntual o regional. Por ejemplo:

- Hay estudios sobre la densidad de población óptima de diferentes híbridos, alcanzando rendimientos hasta de 12 ton/ha (Cervantes-Santana *et al.*, 2002). Un segundo estudio cotejó las distancias óptimas entre plantas en dos híbridos (Tinoco Alfaro *et al.*, 2008).
- Muchos estudios compararon las productividades de diferentes híbridos en diferentes regiones. En algunos de estos estudios se alcanzaron rendimientos entre 10 y 21 ton/ha (Martínez Gomez *et al.*, 2004; Gaytán Bautista *et al.*, 2005; Sierra-Macías *et al.*, 2005; Tosquy-Valle *et al.*, 2005).
- El programa de Mejoramiento Genético de Maíz del INIFAP del Campo Experimental Centro de Chiapas, alcanzó rendimientos hasta de 15 ton/ha bajo riego en uno de sus híbridos mejorados (Coutiño-Estrada, *et al.*, 2006).
- Hay estudios que han documentado incrementos del rendimiento en regiones muy lluviosas del país, logrando incrementos hasta de 15% en los rendimientos sobre híbridos previamente liberados (9 ton/ha) (Sierra Macías, *et al.*, 2005).

³ Se puede consultar la historia detallada del trabajo del CIMMYT sobre el mejoramiento del maíz en México en "Meeting the World Maize Needs" y en "Impacts of Maize Breeding Research in Latin-America" Morris, Michael L., López Pereira, Miguel A. (1999). *Impacts of maize breeding research in Latin-America, 1966-1997*. Mexico, D.F., Mexico, International Maize and Wheat Improvement Center, Pingali, Prabhu L. (Ed.) (2000). *Meeting the World Mize Needs: Technological Opportunities and Priorities for the Public Sector CIMMYT 1999/2000 World Maize Facts and Trends*. Mexico City, Mexico, CIMMYT.

- En otros estudios se ha reportados incrementos en el rendimiento hasta de 40% de híbridos no convencionales en comparación los maíces nativos empleados como progenitores (Espinosa *et al.*, 1999).

Estos estudios han sido utilizados como justificantes del enfoque prevalente para desarrollar variedades híbridas de maíz, a pesar de su limitada adopción en México. También es limitado el valor de este tipo de investigación porque ha sido realizado para condiciones de riego o de temporal favorable. Por lo tanto, son insuficientes como guía para incrementar la productividad del maíz en las tierras menos productivas de México.

El déficit de rendimiento del maíz en las mejores tierras de México es relativamente reducido. Tal aseveración no implica que los rendimientos de maíz no puedan ser incrementados en esas tierras, o que el mejoramiento genético de las variedades híbridas no contribuyera al mayor rendimiento. Este segundo camino puede incrementar paulatinamente el potencial de rendimiento de nuevos híbridos en el orden del 1% anual. También el mejoramiento de la eficiencia del riego se asociaría con incrementos puntuales en el rendimiento. Sin embargo, la decreciente disponibilidad de agua en las presas asociada al cambio climático, reducirá los rendimientos potenciales y los observados. Ya hay abundante inversión privada en este sector, por lo que las inversiones públicas reeditarían más en las tierras de temporal manejadas por pequeños y medianos productores, que sí tienen altos déficits de rendimiento.

Productividad de las variedades nativas

Las razas nativas de maíz cubren vastos territorios del campo mexicano, particularmente los edafo-climáticamente más limitativos, siendo manejadas por la gran mayoría de sus productores en diversos sistemas agrícolas. México es el centro de origen del maíz, habiendo en la actualidad 59 razas nativas de maíz. Hay varias razas adaptadas a cada región o clima, a la vez que son ingredientes especializados para su uso pluricultural como alimento. El rendimiento es sólo uno de los criterios de valor de cada material genético.

Los mejoradores de maíz de México y otros investigadores asignan importancia central al rendimiento de materia seca del grano, con mínima consideración a sus usos pluriculturales. Aún cuando la tortilla es el alimento central de México, de la misma forma que el trigo y el arroz, hay muchos preparados a base de maíz nixtamalizado. Por ejemplo, sólo con las razas Cacahuacintle y con Maíz Pozolero se puede preparar “pozole” y no con alguna de las variedades mejorados actuales.

En el vocabulario común de México, el término “maíz criollo” se refiere de manera equivocada a cualquier maíz cultivado que no es híbrido o variedad mejorada de polinización libre. El término confunde a las razas nativas de maíz y al producto de su interacción genética con la categoría de maíces mejorados.⁴

⁴ El término criollo es impreciso en la referencia al maíz nativo o raza nativa de maíz. La introducción de variedades modernas de maíz: híbridos y variedades de polinización libre interaccionan genéticamente con las razas nativas de dos maneras por lo menos: a) la semilla de unas cuantas mazorcas tomadas en sitios lejanos (alopátricos) es traída y mezclada con la semilla propia y sembradas juntas para introducir, mediante su cruzamiento, caracteres que el productor juzga útiles para mejorar su raza nativa. Esta práctica es parte del Mejoramiento Genético Autóctono que se remonta a las primeras etapas de domesticación, b) la siembra de una raza mejorada, híbrida o de polinización libre en la vecindad de razas nativas y usando sus progenies como semilla durante varias generaciones, conduce a poblaciones conocidas como “Híbrido o variedad mejorada acriolladas”. En este segundo caso, la raza nativa funciona como progenitor donante de adaptación local. Estas

Las razas nativas de maíz se cultivan casi en cualquier parte del territorio, siendo manejadas con diversas prácticas. *La milpa* tradicional caracterizada por la asociación del maíz, frijol, calabaza y especies toleradas y aprovechadas (arvenses) ha sido abandonada en muchas partes del país, a pesar de sus reconocidas virtudes para la dieta balanceada y como sistema que mantiene la calidad del suelo. Hay versiones de milpa modificada a base de la asociación del maíz y el frijol. También las razas nativas de maíz pueden serse manejadas en monocultivo.

La productividad y alta eficiencia energética de los sistemas agrícolas indígenas y tradicionales sigue siendo reconocida por la comunidad académica (IAASTAD, 2009b). Sus características y tipología varían ampliamente (Clawson, 1985; Thrupp, 1998; Toledo, 2001). Así por ejemplo, en los años 1950, las “chinampas” ya rendían entre 3.6 y 6.3 toneladas de maíz por hectárea, mientras el rendimiento promedio de los EEUU era 2.5 ton/ha (Sanders, 1957). Sólo hacia 1965 el nivel de rendimiento alcanzaría las 4 ton/ha (Altieri, 1999).

Los cultivos compuestos pueden ser más productivos de lo que las mediciones tradicionales del rendimiento sugieren, porque sólo miden la producción de una especie en vez del complejo de especies producidas. Hay varios beneficios bien documentados que derivan de las técnicas tradicionales (Trenbath, 1976; Francis y Smith, 1985; Vandermeer, 1989). Se ha demostrado que los productores indígenas y tradicionales alcanzan entre 20 y 60% más producto cosechable por unidad de tierra que en los monocultivos (Beets, 1982). Se ha estimado en México que se requeriría 1.7 hectáreas de monocultivos para cosechar la misma cantidad de alimentos que de una hectárea de cultivo asociado de maíz, frijol y calabaza (Gliessman *et al.*, 1998).

Los sistemas indígenas y/o tradicionales también son calificados con ventaja en términos de eficiencia energética. Por ejemplo, el sistema roza-tumba-quema manejado con energía humana en áreas montañosas de México (unidad de producto por unidad de insumo) rinde 10:1 comparado con 4.5:1 en el sistema de maíz mecanizado de Iowa, EEUU (Pimentel y Pimentel, 1979; Altieri, 1999), también superando al rendimiento de 7.5:1 alcanzado en el sistema de maíz orgánico mecanizado también en Iowa (IAASTD, 2009, pág. 51).

Repaso de las evidencias disponibles

La investigación sobre la productividad de estos sistemas es muy limitada, como también lo ha sido la inversión del gobierno mexicano en su mejoramiento (Turrent Fernández *et al.*, 2010). Alguna de esta investigación muestra los porqués de que la adopción de híbridos de maíz haya sido lenta por parte de esos agricultores. Uno de tales estudios muestra que la no adopción de híbridos refleja la percepción de que las razas nativas tienen beneficios más allá del rendimiento *per se*, tales como la estabilidad a la variabilidad climática, sus usos pluriculturales y costos más bajos en el uso de insumos (Guillén-Pérez *et al.*, 2002).

A menudo, el uso de híbridos se asocia con ganancias limitadas frente a sus altos costos. Los autores de uno de estos estudios compararon los rendimientos promedio de los híbridos con variedades de polinización libre mejoradas localmente en el Altiplano Central de México (Arellano Hernández y Arriaga Jordán, 2001). Los dos híbridos probados produjeron 5.25 y 5.32 ton/ha, mientras que tres variedades mejoradas de polinización libre rindieron 5.37, 5.06 y 4.45 ton/ha de y una raza nativa 4.16 ton/ha. Aparentemente, para la

poblaciones no retienen necesariamente los caracteres de uso como alimento pluricultural. Lo frecuente es que el grano del material acriollado sea destinado al mercado.

mayoría de los productores los modestos incrementos en rendimiento de los híbridos no compensan los costos y riesgos adicionales involucrados. Los mayores costos se asocian con una mayor dependencia de insumos que han de comprarse –semillas, fertilizantes químicos, plaguicidas– mientras que los mayores riesgos se asocian con el monocultivo sujeto a condiciones ambientales cambiantes a las que los materiales locales están adaptados.⁵

Algunas razas nativas de maíz han sido más investigadas que otras debido a su mayor potencial de rendimiento y han constituido la base del mejoramiento genético de maíz en México y en otras partes. Las razas Chalqueño, Tuxpeño y Celaya además de ser ampliamente cultivadas en México han sido también aprovechadas para desarrollar híbridos no-convencionales. Como resultado, hay mayor investigación sobre el rendimiento de estas razas sobresalientes, que a menudo son usadas como comparadores de los rendimientos de híbridos derivados de ellas.

Por ejemplo, en un estudio realizado en el 2004 se comparó características agronómicas, rendimiento de grano y calidad de la semilla de 24 poblaciones locales de la raza Chalqueña de grano azul del estado de México, con el híbrido de grano blanco H-139. Se encontró que las dos poblaciones de mayor rendimiento (5.1 y 5.4 ton/ha) fueron superadas por el híbrido (6.5 ton/ha) (Miguel A. *et al.*, 2004). Ha habido otras investigaciones para evaluar el potencial de rendimiento de la raza Chalqueño (ver por ejemplo, a de Jesús Pérez de las Cerda *et al.*, 2007). En otras investigaciones se ha comparado la calidad y rendimiento de grano de las Razas Palomero Toluqueño (4.2 ton/ha) y Cacahuacintle (4.6 a 5.3 ton/ha) con algunos híbridos (7.4 a 9.0 ton/ha) (González Huerta *et al.*, 2007).

También se ha hecho trabajos de mejoramiento de los materiales nativos mediante su cruzamiento con materiales mejorados para añadir a aquellos varios caracteres deseables como el mayor rendimiento y la resistencia al acame; en este caso, el objetivo del mejorador es que como variedad de polinización libre, el productor obtenga su propia semilla (ver pie de página previo). También, la introducción de materiales mejorados: híbridos y de polinización libre a regiones de prevalencia de razas nativas, conduce a que los productores propicien el “acriollamiento” del material introducido por cruzamiento y selección, siendo sus progenies manejadas bajo polinización libre.

Como se ha mencionado previamente, la investigación consultable de México que involucra a las razas nativas de maíz y a materiales mejorados, ha tenido como objetivo el evaluar el avance de los segundos con respecto a las razas nativas bajo el supuesto de modernización universal del cultivo del maíz en tierras de alta calidad agrícola –monocultivo intensivo, altas densidades de población y uso de fertilizantes, protección contra plagas. La evaluación se ha centrado en el rendimiento de grano y en rasgos agronómicos como el acame y la resistencia a enfermedades. Típicamente estos resultados confirman la superioridad de los híbridos sobre las razas nativas. Es inusual encontrar cotejos de los mismos materiales en condiciones que reprodujeran las condiciones de manejo y uso para las que fueron desarrolladas las razas nativas –milpa clásica, bajo uso de insumos externos, bajas densidades de población y arreglos topológicos, así como la calidad del grano para su consumo pluricultural.

⁵ Para mayor información sobre las prácticas de los productores (cuáles materiales genéticos –nativos o introducidos– prefieren sembrar, favor de consultar a Perales Hugo, *et al.*, (2003a), “Dynamic Management of Maize Landraces in Central Mexico”. *Economic Botany* 57(1):21-34, Perales Hugo, *et al.*, 2003b; “Landraces of Maize in Central Mexico: An Altitudinal Transect. “*Economic Botany* 57(1): 7-20; Huato D *et al.*, (2007). “Productivity and Possession of the Land: The Case of the Producers of Maize in the State of Tlaxcala, Mexico. “*Cuadernos de Desarrollo Rural* 4(59): 149-177.

Bellon muestra que en regiones en las que se cultiva diferentes tipos de maíz: híbridos, razas nativas y materiales acriollados, los productores no perciben superioridad evidente de algún tipo. Todos tienen ventajas y desventajas, lo que conduce a decisiones de compromiso (Bellon y Risopulos, 2001; Bellon *et al.*, 2005; Bellon *et al.*, 2006). En uno de estos estudios se examinó la adopción de una variedad mejorada de polinización libre (V-524) en una comunidad de Chiapas durante un período de nueve años en el que la variedad mejorada fue acriollada por los productores. Las estimaciones de los productores respecto a los rendimientos esperados de varios tipos de maíz fueron de 1.93 ton/ha para los híbridos, 1.77 para la variedad acriollada, ambos ligeramente superiores a los de sus razas nativas Olotillo Blanco 1.50 ton/ha y Olotillo Amarillo 1.43 ton/ha (Bellon y Risopoulos, 2001).

Los investigadores concluyeron que la variedad mejorada (V-524) acriollada proporcionaron a los productores las mismas ventajas que los híbridos, e.g., rendimientos altos, menos acame y precocidad con menores desventajas que los híbridos, e.g., mayor requerimientos de intensidad, mayor riesgo y costos (Bellon y Risopoulos, 2001). (Aún así, los resultados no permiten evaluar la estabilidad del rendimiento sobre el tiempo, que resulta evidente sólo después de que la adopción persiste varios ciclos. Los rendimientos de tales cruza normalmente sufren deterioro con el tiempo).

Otras investigaciones han demostrado que las líneas progenitoras de maíces modernos, al ser modificadas con germoplasma de teocintle, pariente silvestre del maíz, pueden desarrollar alelos favorables al rendimiento de grano, así como alelos menos favorables para otros caracteres agronómicos (Casas Salas *et al.*, 2001).

Escasa investigación sobre mejoramiento de la productividad de *la milpa*

Si la literatura sobre mejoramiento de la productividad de productores que usan variedades de polinización libre es escasa, más lo es la literatura sobre el mejoramiento de *la milpa*. De hecho, los programas gubernamentales persiguieron eliminar o al menos desestimular los sistemas agrícolas precolombinos (Turrent Fernández *et al.*, 2010).

La versión de *la milpa* que sobrevive ha perdido parte de su biodiversidad como cultivo compuesto (menor número de especies). Un estudio conducido en Veracruz señala que mientras *la milpa* tradicional se componía en promedio de ocho especies, e.g., maíz, frijol, chile, plátano Roatán, sandía, yuca, piña y mango o limón, los productores de ahora sólo retienen al maíz y al frijol. Este cambio es consistente con la mayor producción de maíz y frijol, a costa de los métodos tradicionales de manejo del suelo, malezas y plagas con el resultado de mayores demandas de plaguicidas y fertilizante (Nadal *et al.*, 2009). En el sistema de roza-tumba-quema, los períodos de barbecho han sido reducidos desde más de 18 años hasta alrededor de siete, causando el colapso del sistema (Cuanalo de la Cerda y Uicab-Covoh, 2006; Parsons *et al.*, 2009).

Aún con estos cambios, según Nadal y García Rano, la mayor diversidad remanente de especies en cultivo todavía deviene en mejores desempeños de las especies cultivadas en los sistemas tradicionales que bajo monocultivo: los rendimientos los superan en 40 a 50% en el caso del maíz y de 20-30% en otras especies (Nadal y García Rano, 2009).

Sí hay algunos estudios sobre el mejoramiento de la productividad de *la milpa*. Uno de ellos abordó modificaciones de la milpa bajo roza-tumba-quema y su efecto sobre el rendimiento y la calidad del suelo. Se encontró que *la milpa* bajo “roza-tumba-no quema” con uso moderado de fertilizantes y herbicidas y el uso de cultivos tradicionales como coberturas, resultó ser una alternativa económicamente viable y sostenible. Aunque la producción de maíz se redujo, la relación beneficio costo global mejoró para el productor

(Cuanalo de la Cerda y Uicab-Covoh, 2006). En otras investigaciones se abordó alternativas a la fertilización y al control de malezas en Yucatán, encontrando que hay ganancias en potencia con el uso de algunas de esas alternativas (Parsons *et al.*, 2009).

Algunas organizaciones no gubernamentales han documentado éxitos en sus trabajos a nivel local. Por ejemplo, el Grupo de Estudios Ambientales ha sido exitoso en implantar el programa de Sistema Sostenible de Alimentos (SSA) en comunidades de Guerrero. Ese programa incluye diversas actividades en la cadena de producción, desde la producción ecológica (conservación del suelo, fertilización orgánica, y el control orgánico de plagas) pasando por la selección y mejoramiento de semillas, bancos de razas nativas, almacenamiento, enlatado y secado de frutas y legumbres, procesamientos, mercadeo justo, y consumo sano de alimentos. Se reportan fuertes incrementos en los rendimientos en parcelas experimentales en el período 2002-2006, como resultado del mejoramiento de la calidad del suelo (Marielle, 2008).

Van Dusen (2000) estudió *la milpa* en la Sierra Norte de Puebla, como parte de un estudio más amplio sobre la iniciativa de investigación de *la milpa* del Programa de Investigación Colaborativa sobre Cultivos de la Fundación McKnight. El autor documenta el gran desencanto de los productores hacia la producción viable de maíz, debido en parte a los altos costos de los insumos y el precio tan bajo de los productos. El estudio McKnight sin embargo, ofrece la promesa de mejores resultados con versiones de *la milpa* mejorada. Los investigadores mostraron en un período de seis años, que se puede lograr ganancias de 2 a 3% anual en el potencial de rendimiento de sus poblaciones de maíces nativos, usando una versión modificada de selección masal. Este proceso de mejoramiento genético no desquició las características morfológicas o la adaptación de los materiales (Bye, 2005). En un proyecto de largo plazo que se realiza en el estado de México que combina la modificación en la selección de la semilla y el mejoramiento genético de materiales nativos, los autores han estimado ganancias en rendimiento del orden de 35-45% en un período de 10 años (Castillo-González *et al.*, 2010).

El INIFAP y el Colegio de Postgraduados desarrollan un sistema para productores en pequeño que introduce árboles frutales en una versión de milpa modificada. El MIAF, como se conoce a la Milpa Intercalada en Árboles Frutales, tiene como objetivo la introducción de árboles que estabilizan el perfil del suelo en ladera y que añade un producto de alto valor en el mercado, a la vez que mejoran la productividad global de la milpa. El sistema está siendo desarrollado para tierras de ladera y en plano, habiendo sido mayormente cotejado en terrenos de buen temporal o de riego. Datos sin publicar de Turrent y Cortés (2012) muestran rendimientos promedio de maíz, frijol y durazno fresco respectivamente de 5.4, 0.8 y 4.0 toneladas por hectárea experimental de MIAF bajo riego, en el período 2002-2005. Los rendimientos promedio de los cultivos simples de maíz y frijol fueron respectivamente de 9.6 y 2.0 ton/ha. Los ingresos totales respectivos asociados al MIAF y a los cultivos simples de maíz o de frijol fueron \$99 000, \$48 000 y \$30 000, en pesos de 2012.

El sistema desarrolla gradualmente terrazas en laderas, reduce el escurrimiento del agua de lluvia e incrementa su infiltración en el costado aguas arriba de las hileras de árboles. Se monitoreó la erosión promedio anual de una ladera con pendiente de 14.5% y precipitación promedio anual de 1500 mm en la región Los Tuxtlas Veracruz, durante un período de 8 años. La erosión asociada con laboreo convencional sobre suelo desprotegido fue 146 ton/ha/año y el escurrimiento superficial fue 29% de la precipitación. En cambio, un tratamiento de barrera viva precursora del MIAF, también tratada con laboreo convencional, se asoció con la erosión de 2 ton/ha/año y escurrimiento superficial de 15% de la precipitación.

Juárez Ramón y colaboradores (2008) encontraron varios beneficios en un amplio muestreo de parcelas tratadas con el sistema MIAF en cuanto a la fertilidad del suelo, el uso de agroquímicos, el control de la erosión y la conservación de la biodiversidad. También se ha encontrado que el sistema MIAF se asocia con incrementos en la acumulación de carbono (desde 0.87 a 1.85 ton/ha/año). En un experimento de campo conducido en Oaxaca, se encontró la casi duplicación de los rendimientos de maíz bajo MIAF en comparación con el cultivo simple, desde 1.2 ton/ha hasta 2.2 ton/ha, además de producirse 7 toneladas de durazno fresco en la misma hectárea. El sistema MIAF imprimió gran impulso al ingreso (Cortés, *et al.*, 2005).

Evidencias del extranjero

Hay evidencias sólidas sobre la mayor productividad del maíz y de otros granos básicos como resultado de la combinación del manejo restringido de insumos externos y de los sistemas de manejo tradicional según documenta IAASTD (IAASTD, 2009a). Es de anotarse que el proyecto de Jules Pretty sobre la “intensificación sustentable de la agricultura” documenta una amplia gama de tales prácticas ((Pretty, 2001; Pretty *et al.*, 2006).

Estas experiencias incluyen proyectos de investigación participativa con productores, tales como las del Comité de Investigación Agrícola Local (CIAL) en Colombia. En su estudio de caso, documentaron incrementos del rendimiento desde 840 kg/ha hasta 1400 kg/ha por la adopción de enfoques agroecológicos. Prácticas agrícolas para la conservación de recursos seguidas en Cuba después del colapso de la Unión Soviética lograron incrementos de los rendimientos desde 150 a 280% del cultivo compuesto de yuca-frijol-maíz, yuca-tomate-maíz, y camote-maíz (Pretty, 2001). Las prácticas conocidas como tira-empuja (push-pull) para el control de plagas que fueron adoptadas por más de 30 000 productores, incrementaron los rendimientos de maíz y sorgo de grano desde menos de 1 ton/ha hasta 3.5 y 2 ton/ha respectivamente en África del Este (Khan, 2006; Khan, 2008a; Khan, 2008b).

Sistemas de fertilización de árboles similares al de MIAF en México se han asociado con el incremento en el rendimiento, la reducción de la inseguridad alimentaria, el enriquecimiento de los servicios ambientales y el fortalecimiento de su resiliencia (Ver Garrity, *et al.*, 2010). Un reciente meta-análisis conducido en varias regiones de África mostró que tales técnicas duplicaron los rendimientos de maíz con respecto al testigo (maíz sin fertilizar) en la mayoría de los casos, especialmente en localidades con potencial bajo a medio y en los de buen manejo (Sileshi, 2008).

¿Cuál es el camino para México?

¿Cómo puede entonces México alcanzar el objetivo de amplio consenso nacional de reducir su importación de maíz gracias a una mayor producción nacional? En base a las evidencias aquí presentadas: ¿Cuáles serían las estrategias más seguras para alcanzar ese objetivo? Habría desde luego, dos componentes de cualquier estrategia para incrementar la producción de maíz: incrementar la productividad de la tierra ya cultivada y usar las reservas suelo, agua y clima no utilizados o subutilizados. Examinaremos a continuación ambos componentes. En primer lugar consideraremos a tres programas gubernamentales en progreso. Enseguida consideraremos al segundo componente, que involucra fuertes inversiones públicas, no contempladas por el gobierno, para las que propondremos prioridades.

En vista de que la producción futura de maíz de México estará sujeta a restricciones por recursos naturales, además agravadas por el cambio climático, cualquier estrategia

habrá de ponderar los efectos de ese cambio climático. Tal requerirá el aumento en el nivel de resiliencia y la adaptación a las condiciones cambiantes de cultivo (IAASTD, 2009a; Royal Society, 2009). Afortunadamente, México tiene gran capacidad de resiliencia, dadas sus condiciones ecológicas variables y su biodiversidad, particularmente en cuanto a maíz, dada su condición de centro de origen y de biodiversificación.

Incrementar la productividad de la tierra cultivada

Hay tres programas para incrementar la producción de maíz impulsados por el gobierno: Uno de estos privilegia la introducción de maíces transgénicos, motivo de gran controversia, que se encuentra en las etapas experimental y piloto en la parte norte del país. Esta iniciativa está destinada a incrementar la productividad de las grandes unidades de producción. Un segundo programa es el llamado MasAgro (Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional), cuyo objetivo es aumentar la productividad de las pequeñas y medianas unidades de producción, mediante el uso de variedades mejoradas y la adopción de la Agricultura de Conservación. El tercero es un programa de extensionismo participativo financiado por la Secretaría de Agricultura dirigido a pequeños y medianos productores de maíz que tienen el potencial para incrementar sus rendimientos. Solamente este último programa muestra potencial para reducir los déficits de rendimiento y de incrementar la producción de maíz.

La introducción del maíz transgénico: una falsa y peligrosa promesa

En México se avanza rápidamente hacia la liberación del maíz transgénico al nivel comercial en el norte del país. El razonamiento gubernamental es que se aumentará la productividad y se progresará en la adaptación al cambio climático. No tenemos suficiente espacio aquí para una discusión amplia de la controversia sobre el maíz transgénico, sin embargo, sí mencionaremos algunas cuestiones torales.

En primer lugar, las evidencias son contundentes de que el maíz transgénico no se asocia con mayores rendimientos en la mayor parte de los casos (consultar a Gurian-Sherman 2009). Tampoco la Ingeniería Genética ha tenido mayores logros que el Mejoramiento Genético Clásico para desarrollar variedades más tolerantes a la falta de agua típica de México, la cual se agravará con el cambio climático (Gurian-Sherman, 2009).

En segundo lugar, el maíz transgénico fue diseñado para la producción de gran escala en tierras de alta calidad agrícola. Sin embargo, como se anota previamente, los déficits de rendimiento ya son reducidos en estas condiciones, y los híbridos convencionales siguen incrementando sus rendimientos. Los rendimientos de maíz bajo riego en el estado de Sinaloa promediaron 9.05 ton/ha en 2001-2005 y 10.12 ton/ha en 2006-2010 (SIAP, 2012b). Los cultivos transgénicos no mejorarían estos logros para las grandes unidades de producción, y los resultados no han sido particularmente útiles para los productores en pequeño.

En tercer lugar, los riesgos son altos para un país que como México cuenta con un gran reservorio de biodiversidad de maíz. Hay evidencias de que el maíz transgénico y su tecnología de producción, incluido el uso de herbicidas, pueden ser tóxicos a los ratones de laboratorio usados como modelo para la salud humana (Seralini *et al.*, 2009) y a humanos (Paganelli *et al.*, 2010), debido a que se ha encontrado que el glifosato trastorna al sistema endócrino. También se ha explicado los porqués de que el maíz transgénico no pueda coexistir en México con el maíz nativo, sin que haya interacción genética. Ésta causaría en el largo plazo la acumulación irreversible de ADN transgénico en las razas nativas de maíz y de sus parientes silvestres (Turrent *et al.*, 2009). Por las mismas razones, la Comisión para la

Cooperación Ambiental creada por el Tratado Trilateral de Libre Comercio recomienda tomar medidas precautorias rigurosas para proteger la biodiversidad del maíz de México (NACEC, 2004).

En cuarto lugar, la estrategia de apoyarse en el maíz transgénico como protección contra el cambio climático, por ejemplo, mediante el desarrollo de nuevas variedades transgénicas resistentes a la sequía, adolece de fallas. Las variedades no-transgénicas resistentes que existen, involucran riesgos altos para los pequeños productores y no superan en rendimiento consistentemente a sus maíces nativos, aunque aún así podrían desplazarlos, reduciendo su biodiversidad que en sí, aporta resiliencia ante el cambio climático. Como Mercer y colaboradores anotan (2012, pag. 501), “Más que semillas transgénicas, lo que se necesita desde su punto de vista, es un intenso programa de investigación sobre el cambio climático y un programa de adaptación apoyado en una perspectiva de evolución agroecológica. Este programa se centraría en el mejoramiento genético participativo dentro de un marco de mejoramiento genético evolucionario para adaptar las razas nativas al cambio climático, manteniendo a la vez, la misma biodiversidad que hace a las razas nativas resilientes a los flujos ambientales. También habría de poner énfasis en el manejo sustentable del suelo y el agua, las redes de semillas y el mantenimiento de la diversidad de los cultivos. Este programa habría de complementar las estrategias que los productores de maíz siguen”.

MasAgro: Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y el CIMMYT presentaron a MasAgro en el 2011 con el objetivo de apoyar principalmente a los pequeños productores de maíz de México a probar y usar variedades mejoradas de maíz y trigo y a promover el uso de la Agricultura de Conservación y otras tecnologías para incrementar sus rendimientos e ingresos, mientras se reducen sus costos, riesgos e impactos ambientales (Berry, 2011). Esta iniciativa, que cuenta con presupuesto de \$138 millones de dólares en un período de 10 años tiene como objetivo incrementar la producción anual de maíz bajo temporal de 5 a 10 millones de toneladas anuales hacia el año 2020, y aumentar la productividad de los pequeños productores de México en el orden de 8 a 14% mediante la capacitación en prácticas de mayor precisión y conservación, y un mejor desempeño de las semillas (SAGARPA *et al.*, 2011).

Al menos en papel, MasAgro enfoca al sector correcto de productores y se compromete a mejoras loables en el manejo de los recursos naturales, pero es improbable que lo logre. En parte, esto se debe a que su presupuesto es demasiado pequeño para crear los tipos de incrementos en la producción prometidos. De manera simple, los \$14 millones de dólares anuales durante 10 años –o aún el doble– representa una inversión de tan sólo \$ 1.50 a \$2.80 dólares por año por tonelada adicional de maíz. El tipo de inversión requerida para incrementar la producción de una pequeña unidad de producción, tendría que ser mucho mayor.

Lo que es más importante, el programa se enfoca a dos estrategias que ya han sido probadas en México con resultados modestos. La primera es la del uso extensivo de variedades mejoradas. Como se hizo notar previamente, los pequeños productores se han rehusado a adoptar semillas híbridas a pesar de los muchos incentivos el gobierno. La adopción nacional de variedades mejoradas de maíz ha permanecido en el orden de 30%, lo que sugiere que podría haberse alcanzado el límite de adopción. MasAgro promete que hay un nuevo conjunto de híbridos de maíz desarrollados mediante tecnologías más avanzadas, que serán más adecuados para los productores que los anteriores. Sin embargo, parece improbable que esas nuevas variedades mejoradas superen los obstáculos de mayores

riesgos y costos asociados a su adopción, y desplacen a los maíces nativos manejados por los pequeños productores. Tampoco sería necesariamente positivo tal desarrollo, puesto que es la vasta diversidad genética del maíz la fuente de resiliencia frente al cambio climático, como es sostenido por la gran mayoría de observadores de la producción de maíz en México. La estrategia del programa incluye que las semillas mejoradas serían distribuidas comercialmente por empresas multinacionales, lo que reduce aún más la probabilidad de adopción en el largo plazo.

La segunda estrategia que también erra es la excesiva promoción de la agricultura de conservación para los productores en pequeño. Efectivamente, la conservación de los recursos es muy urgente. Las prácticas de la “agricultura de conservación” implican el no-laboreo o laboreo mínimo, dejar residuos de cosecha en el campo, y las rotaciones largas de cultivo (Dumansky *et al.*, 2006). Estas prácticas han sido exitosas en unidades grandes y mecanizadas, en terrenos planos o en lomeríos someros, pero son problemáticas para los pequeños productores de ladera.

Las razones son evidentes. La compactación del suelo que se asocia con el no-laboreo crea un ambiente en el que los maíces nativos fallan debido a su baja resistencia al acame y su débil sistema radicular. Además, el manejo del suelo sin laboreo, demanda equipamiento con mayor potencia para penetrar el suelo durante la siembra, que no está al alcance del pequeño productor. El suelo compactado que alcanza buena infiltración del agua cuando ha sido colonizado por lombriz de tierra, pero puede sufrir escurrimiento mayor del agua de lluvia y mayor erosión en laderas empinadas y de largo desarrollo. Estas condiciones se encuentran en las áreas serranas de México. Además, como las pequeñas unidades de producción se dedican mayormente a producir para la subsistencia, serían malos candidatos para las rotaciones largas. El retorno al cultivo compuesto del sistema *milpa* podría ser mejor para estas unidades que la agricultura de conservación (Ortega García y Fernández Rivera, 2007; Giller *et al.*, 2009).

De hecho, ya se condujo un programa de agricultura de conservación en México. El FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura del Banco de México) ejecutó un proyecto muy agresivo y bien financiado “proyecto de labranza de conservación para maíz” en los años 1980, que los pequeños agricultores no adoptaron de manera permanente (Novelo Guízar, 2000; Ortega García y Fernández Rivera, 2007).

Paradójicamente, los esfuerzos de MasAgro en promover la agricultura de conservación serían muy bienvenidos y necesitados en las unidades grandes de producción, en las que sus prácticas no son bien aplicadas y los recursos se conservan de manera deficiente. Loable como son las estrategias de la agricultura de conservación, es improbable que alcancen el éxito esperado por SAGARPA y CIMMYT en las pequeñas unidades de producción de México.

Inversión en lo que funciona: el extensionismo participativo

La promoción del gobierno de México tanto del programa MasAgro como del de maíz transgénico ha desviado la atención de la estrategia y programa que sí han demostrado resultados consistentes en programas piloto recientes, que también ha sido financiado por el gobierno de México. El Proyecto Estratégico para Altos Rendimientos de Maíz (PROEMAR) se ha basado en extensionismo participativo para pequeñas y medianas unidades de producción, en tierras desde mediana hasta alta calidad bajo temporal, a partir del 2008. Estos programas piloto involucran el análisis del suelo y la aplicación precisa de fertilizante.

Tales programas no son nuevos en México, y han demostrado buenos resultados. En la segunda mitad de los años 1960, el CIMMYT y el Colegio de Postgraduados colaboraron en un esfuerzo para incrementar el rendimiento e ingreso neto de pequeños productores del Estado de Puebla. Se usó un modelo participativo para capacitar extensionistas y proporcionar servicios (tecnología, crédito y seguro agrícola) que logró duplicar el rendimiento del maíz de 43,300 pequeños productores de temporal. También se incrementó el ingreso familiar en 24%. En su momento, este programa fue considerado como modelo para México y para otros países (Felstehausen y Díaz Cisneros, 1985).

Los programas de extensionismo del tipo Plan Puebla fueron desestimulados en los años 1980, a pesar de su éxito evidente (CIMMYT, 1974). Estrategias internacionales para el desarrollo agrícola más recientes de nuevo conceden énfasis al extensionismo público para incrementar la productividad y para mejorar el uso de los recursos (IFAD, 2011; FAO *et al.*, 2012). En muchos casos se resalta la importancia de la inversión pública en capacitación e investigación, y el involucramiento de productores y otros actores en el diseño e instrumentación de programas de extensión (World Bank, 2005; World Bank, 2012). Los países con mejores resultados, son aquellos que más invierten en Investigación y Desarrollo ligadas a programas de extensionismo vigorosos y bien financiados (Fuglie, 2012).

El programa PROEMAR de México es parte de un programa mayor para maíz y frijol (PROMAF) ejecutado principalmente en el sur del país. Mediante el incremento en la densidad de población, un mejor uso de semillas y el uso de biofertilizantes ofrecidos por PROMAF, los productores incrementaron la producción de maíz en 3.3 millones de toneladas y la de frijol en 80 miles de toneladas en el período 2007-2009. Los rendimientos promedio de maíz aumentaron 35%, desde 3.35 ton/ha hasta 4.54 ton/ha según fuentes de SAGARPA (2010).

PROEMAR se enfoca al maíz, habiendo demostrado incrementos sobresalientes cuando se instrumenta en conjunto con organizaciones de productores fuertes con administración transparente. La Asociación Nacional de Empresas Comercializadoras (ANEC) ha sido un asociado de PROEMAR, enfocándose hacia los pequeños y medianos productores que siembran tanto maíces híbridos como nativos en tierras de temporal de diversas regiones de México. Durante tres años, el proyecto proporcionó asistencia técnica y capacitó a productores-extensionistas especializados para instrumentar mejoras de bajo costo en el manejo tales como análisis de suelo, tratamiento de la semilla, incremento en la densidad de población y arreglo topológico, calibración de sembradoras, análisis foliar y fertilización balanceada. La introducción de nuevas semillas mejoradas no fue parte significativa del programa en esta fase piloto. ANEC trabajó con 1500-2000 productores al año en 13,000 a 15,000 hectáreas (ANEC, 2011).

Los resultados fueron sobresalientes, demostrando que los déficits de rendimiento pueden ser superados con rapidez usando tecnologías y conocimientos disponibles, mediante programas financiados por el sector público. El programa contribuyó a mejorar el uso de los recursos, en la capacitación de productores en el uso del análisis del suelo y a aplicaciones más precisas (y a veces con ahorro de fertilizantes).

En total, con el programa se logró incrementar los rendimientos en 55% en el 2009, año en el que las condiciones climáticas fueron desfavorables. Los rendimientos alcanzados en el programa en 2010, promediaron un impresionante valor de 8.32 ton/ha. Es de notarse que los rendimientos fueron incrementados significativamente aún en regiones edafoclimáticamente menos favorables, con unidades pequeñas y mayor frecuencia de maíces nativos. Por ejemplo, en las regiones de Costa Chica y Costa Grande del Estado de Guerrero

los productores que usaron técnicas más tradicionales incrementaron sus rendimientos en 70% en 2009-2010 desde 3.17 ton/ha hasta 5.35 ton/ha.

El cambio requirió un incremento de 17% en los costos de producción de los productores de Guerrero que fue posible con crédito suministrado por ANEC. Sin embargo las ganancias en ingreso excedieron a los costos en 65%. En total, la relación beneficio/costo en el proyecto PROEMAR-ANEC fue 5.6:1, con ganancias de ingreso de los productores de \$9.3 millones y una inversión de sólo \$1.7 millones (ANEC, 2010; ANEC, 2011). Los resultados preliminares de 2011 prometían ser aún mejores.

La evaluación independiente del Instituto Inter-Americano para la Cooperación Agrícola confirmó los resultados, atribuyendo el éxito al trabajo de ANEC-PROEMAR a la participación de los productores en el desarrollo del programa y también a las buenas relaciones entre las organizaciones de productores y los técnicos del programa. Los investigadores culparon al financiamiento público inadecuado para resolver algunas dificultades técnicas en el programa y a los problemas edafo-climáticos como la sequía y la degradación de los suelos, como factores que limitaron aún mejores resultados (Solórzano y Caamal, 2010). Otra evaluación felicitó al proyecto por los logros del modelo participativo (Rudiño, 2011).

La evaluación interna de ANEC del proyecto sugiere que si la inversión del gobierno de México para apoyar en gran escala al programa ANEC-PROEMAR, el país alcanzaría su autosuficiencia en maíz relativamente rápido. Este proyecto muestra, de acuerdo con ANEC, que es posible incrementar significativamente la producción de maíz en unidades de producción pequeñas y medianas de temporal, en pocos ciclos, usando maíces nativos y con acceso limitado a tecnología avanzada, de manera que se mejore la conservación de los recursos, y sin la introducción de maíces transgénicos y ni siquiera nuevos híbridos (ANEC, 2010).

Activación de nuevos recursos para la producción de maíz

México dispone de significativas reservas de tierra de labor y agua dulce, así como de clima favorable, pero habrá que realizar fuertes inversiones de plazo largo en infraestructura para el aprovechamiento de aquellos. Claramente, la investigación pertinente refuerza el valor a largo plazo de tales inversiones, particularmente en riego, electrificación y comunicaciones (Fan, 2008; Mogues y Benin, 2012). Con el cambio climático, la inversión en los sistemas para aprovechar el agua es crítica (OECD, 2010; OECD, 2012). El estudio encargado por México para el G-20 pone énfasis, hay una urgente necesidad de inversión en “infraestructura para construir, modernizar y mejorar los sistemas existentes de riego y de distribución del agua en la mayoría de los países en desarrollo, así como en algunos países de la OECD” (FAO, et al., 2012, pág. 64).

México cuenta con 32 millones de hectáreas de tierras con calidad agrícola de media a alta que puede ser alcanzada con riego o bien dispone de temporal adecuado para el cultivo (SARH, 1988). Sólo se cultiva 24 millones de hectáreas de tierras de esa calidad agrícola –6.3 millones de hectáreas con riego y 17.1 millones de hectáreas de temporal– también se cultiva 8.4 millones de hectáreas de tierras de calidad marginal (Turrent Fernández, 2012).

No se cultiva cerca de 9 millones de hectáreas de tierras de calidad agrícola. Estas tierras, en su mayoría están subutilizadas en el sistema de “ganadería extensiva” en el Sureste del país que es también la región en las últimas dos décadas ha experimentado el menor desarrollo económico en el país. Hay también en esta región 2 millones de hectáreas

de tierras de labor que sólo se cultivan en el ciclo Primavera-Verano y permanecen en barbecho en el ciclo Otoño-Invierno que es más seco, si bien, libre de heladas.

El recurso anual de agua dulce de México es 1528 km³ (Arreguín Cortés, *et al.*, 2004). Ciento cuarenta y siete km³ de ese recurso es retenido en el sistema nacional de presas, 394 fluyen subutilizadas al mar y el resto se evapotranspira o infiltra al subsuelo. El 50% del agua de escurrimiento se concentra en el Sur-Sureste, que cubre el 20% del territorio nacional (Ibid, pág. 251). Según cálculos de los autores de este documento, esta cantidad de agua alcanzaría para regar casi 5 millones de hectáreas.⁶

Según se anota previamente, en 1998-2001, se investigó en el INIFAP sobre el cultivo de maíz bajo riego en el ciclo Otoño-Invierno en áreas representativas del Sur-Sureste. Esta investigación se concentró en la tecnología pública, pero incluyó algunos híbridos no-transgénicos de maíz de las empresas de capital privado. Los resultados en los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche, Quintana Roo, Guerrero, Oaxaca y Chiapas mostraron que los rendimientos experimentales de maíz bajo riego completo en el ciclo Otoño-Invierno, promediaron 10 ton/ha (Turrent Fernández *et al.*, 1998; Turrent Fernández *et al.*, 2001; Turrent Fernández *et al.*, 2004a; Turrent Fernández *et al.*, 2004b).

Se requeriría un proceso gradual de plazo largo para desarrollar la infraestructura requerida en la región Sur-Sureste de México. Es necesario electrificar su campo para el bombeo de las áreas alcanzables con riego. Un buen lugar para comenzar es la región compartida por los estados de Campeche y Tabasco en la que un proyecto de la antigua SARH proponía regar un millón de hectáreas con escurrimientos del sistema de ríos del Grijalva Usumacinta, en la que podría cultivarse el patrón de cultivos de riego: arroz (ciclo Primavera-Verano), más maíz en el (Otoño invierno). Las inversiones para este proyecto en combinación con las previamente anotadas para el sector de pequeños productores, colmarían los déficits actuales de maíz y de arroz.

Las inversiones en infraestructura para riego también habrían de abarcar el ámbito de la eficiencia del riego. El cambio climático reducirá la disponibilidad de agua en la región semiárida del norte del país donde se ubica la mayor infraestructura para riego del país. A la vez, aumentará la demanda de agua de los cultivos. Ambas manifestaciones del cambio climático podrá causar el abandono de parte de la infraestructura de riego si no se mejora su eficiencia, que promedia 37% (Arreguín Cortés *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2011)

Conclusiones

El costo anual por importar alrededor de 10 millones de toneladas anuales de maíz, actual déficit de producción de México, es US\$2.5 mil millones anuales. El ejercicio aquí realizado demuestra que México tiene la capacidad para recuperar se autosuficiencia en maíz con relativa rapidez, sin recurrir al controvertido cultivo de maíz transgénico. Los estudios de Turrent son la guía más completa para alcanzar el potencial productivo de maíz de México, sugiriendo que en un período de 10 a 15 años México podría alcanzar su potencial productivo actual de 33 millones de toneladas anuales, y que la inversión en infraestructura hidroagrícola en el Sur-Sureste, podrá añadir 24 millones de toneladas anuales. Este potencial es más que suficiente para colmar la creciente demanda nacional de maíz, que se estima será de 39 millones de toneladas anuales hacia 2025 (FAPRI, 2011). Investigaciones adicionales confirman la viabilidad de estas estimaciones.

⁶ El cálculo excluye a los acuíferos y presupone 1) el uso del 60% del agua escurrida, 2) una eficiencia de riego del orden de 60%, y 3) 1.5 m como lámina total de riego.

De acuerdo con el consenso internacional, la inversión pública habría de dirigirse hacia donde los déficits de rendimiento son mayores, que en México corresponden a los pequeños y medianos productores. Es en estas condiciones en las que la inversión privada es escasa, y en donde prevalecen las fallas de mercado. Este ejercicio muestra que las mejoras más prometedoras derivan de la estrategia del extensionismo participativo en tierras de temporal, empleando tecnologías ya existentes. Estos programas no son dependientes de la introducción de nuevas semillas mejoradas, y se ha demostrado que mejoran el uso y la conservación de los recursos.

Mientras que el enfoque de MasAgro hacia el pequeño productor y hacia la conservación de los recursos es loable, es improbable que alcance sus objetivos por el pequeño presupuesto programado, por su excesiva dependencia en la introducción de semillas mejoradas, y por su promoción de las prácticas de conservación que son poco adecuadas para el pequeño productor en tierras marginales. Las prácticas de conservación y de no laboreo habrían de ser animadas en la agricultura de mayor escala de México, en la que esas prácticas han demostrado producir resultados excelentes.

Se ha hecho poca investigación en México sobre el cómo mejorar la productividad de las razas nativas de maíz. El presente ejercicio documenta el potencial de la inversión en tal tipo de investigación y en servicios de extensión participativa. La evidencia también sugiere la importancia de adaptar la biodiversidad nativa al cambio climático, que se espera agudizará la demanda del recurso agua de México.

Se requiere urgentemente invertir en mejorar la baja eficiencia de riego, particularmente en el norte del país, donde el recurso agua ya es escaso y que lo será más, por efecto del cambio climático. La inversión en infraestructura hidroagrícola en el Sur-Sureste, para incrementar la productividad del maíz y para el mejor manejo de los recursos, es altamente redituable en la región que más urgentemente lo requiere para su desarrollo económico y para mejorar el bienestar social. Éste sería un proyecto mayor para el desarrollo del país, que requeriría de un fuerte y decidido liderazgo político.

En vista de la evidencia aquí analizada, la iniciativa de embarcar al país en un mega-experimento de maíz transgénico es innecesaria y torpe. El potencial de rendimiento del maíz transgénico es limitado, particularmente para el pequeño productor, mientras que sus riesgos son altos e innecesarios para México, como fue ampliamente documentado en el informe de la Comisión para la Cooperación Ambiental del TLCAN (NACEC, 2004).

El presente estudio se ha enfocado en la evidencia de que México puede recuperar su autosuficiencia en maíz y reducir su dependencia de la importación y el pago de altos costos. No es su intención tratar las condiciones necesarias más generales para alcanzar la producción potencial de maíz en México. El mantenimiento de precios estables y remunerativos para el productor es condición necesaria, que ha sido descuidado durante los años hasta 2005, mientras recientemente los precios internacionales han experimentado grandes incrementos. Tal estudio involucraría la consideración clave de las políticas para la balanza de pagos y para la creación de reservas de grano de maíz, entre otras. También será necesario abordar los niveles excesivos de concentración de valor a todo lo largo de la cadena productiva, que distorsionan el mercado agrícola que lastima tanto a los productores como a los consumidores.

La transición actual en México hacia un nuevo gobierno ofrece la oportunidad para enfrentar la dependencia de maíz del país. Los altos precios internacionales son gran incentivo para abordarla. Los ahorros son significativos y grandes, y el mercado también

incentiva al productor a adoptar tecnologías para aumentar su productividad. Se necesita ambición política y esta ha de traducirse en inversión pública.

Referencias

- Altieri, Miguel A. (1999). "Applying Agroecology to Enhance the Productivity of Peasant Farming Systems in Latin America." Environment, Development and Sustainability **1**(3-4): 197.
- ANEC (2010). Proyecto de Producción de Maíz de Alto Rendimiento (PROEMAR), Ciclo Primavera-Verano 2009: Informe de Resultados. Distrito Federal, México, Asociación Nacional de Empresas Comercializadoras de Productores del Campo (ANEC).
- ANEC (2011). Programa de Desarrollo Productivo Sustentable con Destino. México, D.F., Asociación Nacional de Empresas Comercializadoras.
- Antonio Miguel, Manuel, Jose Luis Arellano Vazquez, Gabino Garcia de los Santos, Salvador Miranda Colin, J. Apolinar Mejia Contreras and Felix V. Gonzalez Cossio (2004). "Maize Landraces of Chalqueno Race Blue Kernel: Agronomic Traits and Seed Quality." Revista Fitotecnia Mexicana **27**(1): 9-15.
- Arellano Hernandez, Antonio and Carlos Arriaga Jordan (2001). "Why Improved Maize (Zea Mays) Varieties are Utopias in the Highlands of Central Mexico." Convergencia **8**(25): 255-276.
- Arrueguín Cortés, F.I. , P.F. Martínez Austria and V. Trueba López (2004). El Agua en México, una visión institucional. El Agua en México, Vista desde la Academia. E. L. Jiménez and I. Marín. México, D.F., Academia Mexicana de Ciencias: 251-270.
- Beets, Willem C. (1982). Multiple cropping and tropical farming systems. Aldershot, Hants.; Boulder, Colo., Gower ; Westview Press.
- Bellon, Mauricio R., Michelle Adato, Javier Becerril and Dubravka Mindek (2005). The Impact of Improved Maize Germplasm on Poverty Alleviation: The Case of Tuxpeno-Derived Material in Mexico. Food Consumption and Nutrition Division Paper No. 162. Washington D.C., IFPRI, CIMMYT.
- Bellon, Mauricio R., Michelle Adato, Javier Becerril and Dubravka Mindek (2006). "Poor Farmers' Perceived Benefits from Different Types of Maize Germplasm: The Case of Creolization in Lowland Tropical Mexico." World Development **34**(1): 113-129.
- Bellon, Mauricio R. and Jean Risopoulos (2001). "Small-Scale Farmers Expand the Benefits of Improved Maize Germplasm: A Case Study from Chiapas, Mexico." World Development **29**(5): 799-811.
- Benbrook, C.M. (2002). When does it pay to plant Bt corn? Farm-level Economic Impacts of Bt Corn, 1996-2001. What's in it for farmers? Minneapolis, Minnesota, Institute for Agriculture and Trade Policy.
- Berry, Kelly. (2011, 04/07/2011). "Mexico and CIMMYT announce MasAgro as a visionary program to re-energize smallholder agriculture." CIMMYT, from <http://blog.cimmyt.org/index.php/2011/04/mexico-and-cimmyt-announce-masagro-as-a-visionary-program-to-re-energize-smallholder-agriculture/>.
- Bye, Robert and Calvin Qualset, Co-Principal Investigators (2005). The Milpa Project Summary, The McKnight Foundation.
- Casas Salas, Juan Francisco, José de Jesús Sánchez González, José Luis Ramírez Díaz, José Ron Parra and Salvador Montes Hernández (2001). "Yield and their Components in Maize-Teosinte Backcrosses." Revista Fitotecnia Mexicana **24**(1): 17-26.
- Castillo-González, F., P. Ramírez-Vallejo, R. Ortega-Paczka, M.M. Goodman and C.O. Qualset (2010). Maize genetic diversity in Mexico: Role of participatory landrace improvement in a comprehensive conservation strategy. Symposium: Participatory Plant Breeding for Food Security and Conservation of Agrobiodiversity. Long Beach, Calif., Crop Science Society of America.

- Certantes-Santana, Tarcicio, Marco Antonio Oropeza-Rosas and Delfino Reyes-López (2002). "Selection for Yield and Heterosis of Inbred Lines from Irradiated Maize." *Agrociencia* **36**(4): 421-431.
- CIMMYT (1974). *The Puebla Project: Seven years of experience, 1967-1973*. Mexico D.F., Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).
- Clawson, David (1985). "Harvest Security and Intraspecific Diversity in Traditional Tropical Agriculture." *Economic Botany* **39**(1): 56-67.
- Committee on the Causes and Management of Coastal Eutrophication (2000). *Clean Coastal Waters: Understanding and Reducing the Effects of Nutrient Pollution*. N. R. Council. Washington, D.C., National Academy Press.
- Conde, C., R. Ferrer and S. Orozco (2006). "Climate change and climate variability impacts on rainfed agricultural activities and possible adaptation measures. A Mexican case study." *Atmosfera* **19**(3): 181-194.
- Cortes-Flores, José Isabel, Antonio Turrent Fernández, Procoro Díaz Vargas, Ernesto Hernández Romero, Ricardo Mendoza R. and Ernesto Aceves R. (2005). *Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con arboles frutales (MIAF) en Laderas. Proyecto Manejo Sustentable de Laderas*. Mexico, Colegio de Postgraduados.
- Coutino Estrada, Bulmaro, Alfonso Ramírez Fonseca, Esteban Betanzos Mendoza, Néstor Espinosa Paz, Aurelio López Luna, Robertony Camas López, Manuel Grajales Solís and Noel Gómez Montiel (2006). "INIFAP H-560: A Corn Hybrid for Tropical Regions of High Productivity." *Revista Fitotecnia Mexicana* **29**(3): 271-272.
- Cuanalo-de la Cerda, Heriberto and Rafael Alejandro Uicab-Covoh (2006). "Resultados de la investigación participativa en la Milpa Sin Quema." *TERRA Latinoamericana* **24**(3): 401-408.
- Damián Huato, Miguel Ángel, Jesús Francisco López Olguín, Benito Ramírez Valverde, Filemón Parra Inzunza, Juan Alberto Paredes Sánchez, Abel Gil Muñoz and Artemio Cruz Leon (2007). "Productivity and Possession of the Land: The Case of the Producers of Maize of the State of Tlaxcala, Mexico." *Cuadernos Desarrollo Rural* **4**(59): 149-177.
- de Jesús Pérez de la Cerda, Felipe, Leobigildo Córdova Téllez, Amalio Santacruz Varela, Fernando Castillo González, Elizabeth Cárdenas Soriano and Adriana Delgado Alvarado (2007). "Relationship between Initial Vigor, Yield, and its Components in Chalqueno Maize Populations." *Agricultura Técnica en México* **33**(1): 5-16.
- Dumansky J., R. Peieretti, J. Benetics, D. McGarry and C. Pieri (2006). The paradigm of conservation agriculture. *Proc. World Assoc. Soil and Water Conserv. Guangdong, China, World Association of Soil and Water Conservation*: 58-64.
- Espinosa, Alejandro, Margarita Tadeo, Antonio Turrent, Noel Gómez, Mauro Sierra, Artemio Palafox, Filiberto Caballero, Roberto Valdivia and F.A. Rodríguez (2009). "El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz." *Ciencias* **92-93**: 118-125.
- Espinosa Calderón, Alejandro, Margarita Tadeo Robledo and Alfredo Tapia Naranjo (1999). "Non Conventional Improved Maize Varieties as an Alternative for Medium Productivity Agrosystems of the High Valleys." *Agricultura Técnica en México* **25**(2): 83-87.
- Fan, S., Ed. (2008). *Public expenditures, growth, and poverty: Lessons from developing countries*. Baltimore, MD, John Hopkins University Press.
- FAO (2011). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) - Managing systems at risk*. Rome, Food and Agriculture Organization.
- FAO, OECD, Bioersivity, CGIAR Consortium, IFAD, IFPRI, IICA, UNCTAD, HLTf, WFP, World Bank and WTO (2012). *Sustainable Agricultural Productivity Growth and Bridging the Gap for Small Family Farms: Interagency Report to the Mexican G20 Presidency*.

- Rome, Food and Agriculture Organization (FAO), Organization for Economic Co-operation and Development (OECD).
- FAPRI (2011). 2011 World Agricultural Outlook Database, Food and Agricultural Policy Research Institute, Iowa State University.
- Felstehausen, Herman and Heliodoro Díaz-Cisneros (1985). "The Strategy of Rural Development: The Puebla Initiative." *Human Organization* **44**(4): 285-292.
- Fox, Jonathan and Libby Haight (2010). Mexican Agricultural Policy: Multiple Goals and Conflicting Interests. *Subsidizing Inequality: Mexican Corn Policy Since NAFTA*. J. Fox and L. Haight. Mexico, Woodrow Wilson International Center for Scholars; Centro de Investigación y Docencia Económicas; University of California, Santa Cruz.
- Francis, Charles A. and Margaret E. Smith (1985). "Variety development for multiple cropping systems." *Critical Reviews in Plant Sciences* **3**(2): 133 - 168.
- Francisco Nicolás, N., A. Turrent Fernández, J.L. Oropeza Mota, M.R. Martínez Menes and J.I. Cortés Flores (2006). "Pérdida de suelo y relación erosión-productividad en cuatro sistemas de manejo del suelo." *TERRA Latinoamericana* **2**(24): 253-260.
- Fuglie, K.O. (2012). Productivity Growth and Technology Capital in the Global Agricultural Economy. *Productivity Growth in Agriculture: An International Perspective*. K. O. Fuglie, S. L. Wang and V. E. Ball. Oxfordshire, UK, CAB International.
- Garrity, D.P., F.K. Akinnifesi, O.C. Ajayi, S.G. Weldesemayat, J.G. Mowo, A. Kalinganire, M. Larwanou and J. Bayala (2010). "Evergreen Agriculture: a robust approach to sustainable food security in Africa." *Food Security* **2**(3): 197-214.
- Gaytan-Bautista, Rodolfo, Luis Reyes-Muro, María Isabel Martínez-Gómez, Netzahualcóyotl Mayek-Pérez, José Saúl Padilla-Ramírez and Maximino Luna-Flores (2005). "Seed and Forage Yield Depression of Maize Hybrids in Advanced Generations." *Agricultura Técnica en México* **31**(2): 165-175.
- Giller, K.E., E. Witter, M. Corbeels and P. Tittonell (2009). "Conservation Agriculture and smallholder farming in Africa: The heretics' view." *Field Crops Research* **114**(1): 23-34.
- Gliessman, Stephen R., Eric Engles and Robin Krieger (1998). *Agroecology : ecological processes in sustainable agriculture*. Chelsea, MI, Ann Arbor Press.
- González-Chávez, H. and A. Macías-Macías (2007). Vulnerabilidad alimentaria y política agroalimentaria en México. *Desacatos*: 47-78.
- González Huerta, Andrés, Luis Miguel Vázquez García, Jaime Sahagún Castellanos, Juan Enrique Rodríguez Pérez and Delfina de Jesús Pérez López (2007). "Grain Yield of Maize Genotypes Under Rainfed Conditions and Their Relation to Ear Rot." *Agricultura Técnica en México* **33**(1): 33-42.
- Guillen-Pérez, Luis Alipio, Concepción Sánchez-Quintanar, Serafín Mercado-Domenech and Hermilio Navarro-Garza (2002). "Causal Attribution Analysis for the Use of Local and Improved Maize Seed." *Agrociencia* **36**: 377-387.
- Gurian-Sherman, Doug (2012). High and Dry: Why Genetic Engineering Is Not Solving Agriculture's Drought Problem in a Thirsty World. Cambridge, MA, Union of Concerned Scientists.
- Gurian-Sherman, Doug (2009). Failure to Yield: Evaluating the Performance of Genetically Engineered Crops. . Cambridge, MA, Union of Concerned Scientists.
- Hertel, Thomas W., Marshall B. Burke and David B. Lobell (2010). "The poverty implications of climate-induced crop yield changes by 2030." *Global Environmental Change* **20**(4): 577-585.
- IAASTD (2009a). *International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development: Global Report*. Washington, DC, Island Press.
- IAASTD (2009b). *Latin America and the Caribbean (LAC) report*. Washington, DC, Island Press.

- IFAD (2011). Review of Post-Harvest Systems in IFAD Projects and Programmes. Rome, Italy, Policy and Technical Advisory Division, International Fund for Agricultural Development (IFAD).
- Jones, Peter G. and Philip K. Thornton (2003). "The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055." Global Environmental Change **13**(1): 51-59.
- Juárez Ramón, Dionicio, Carlos Fragoso G., Antonio Turrent Fernández, Juventino Ocampo M., Engelberto Sandoval C., Ignacio Ocampo F., Ronald Ferrera C. and Ernesto Hernández Romero (2008). "Mejoramiento del suelo en la milpa intercalada con arboles frutales (MIAF)." LEISA Revista de Agroecología: 30-31.
- Khan, Z.R., Charles A.O. Midega, David M. Amudavi, Ahmed Hassanali, John A. Pickett (2008a). "On-farm evaluation of the 'push-pull' technology for the control of stem borers and striga weed on maize in western Kenya." Field Crops Research **106**(3): 224-233.
- Khan, Z.R., Hassanali A, Pickett JA. (2006). Managing polycropping to enhance soil system productivity: a case study from Africa. Biological Approaches to Sustainable Soil Systems. B. A. Uphoff N, Palm C, Fernandes E, Pretty J, Herren H, Sanchez P, Husson O, Sanginga N, Laing M, Thies J. Boca Raton, Florida, CRC Press, Taylor and Francis: 575–586.
- Khan, Z.R., Midega CAO, Njuguna EM, Amudavi DM, Wanyama JM, Pickett JA. (2008b). "Economic performance of 'push-pull' technology for stem borer and striga weed control in smallholder farming systems." Crop Protection **27**: 1084–1097.
- Lobell, David B., W. Schlenker and J. Costa-Robert (2011). "Climate trends and global crop production since 1980." Science (New York, N.Y.)(May).
- Magaña, V., C. Conde, O. Sánchez and C. Gay (1997). "Assessment of current and future regional climate scenarios for Mexico." Climate Research **9**(1-2): 107-114.
- Manning, Richard (2002). "Agriculture versus Biodiversity: will market solutions suffice?" Conservation Magazine **3**(2): 18-26.
- Marielle, Catherine (2008). SAS: Una Experiencia Campesina Hacia sistemas Alimentarios Sustentables. D.F. Ciudad de México, México., Grupo de Estudios Ambientales, AC.
- Martínez Gómez, María Isabel, Rodolfo Gaytán-Bautista, Luis Reyes Muro, Maximino Luna-Flores, José Saúl Padilla-Ramírez and Netzahualcoyotl Mayek-Perez (2004). "Grain and Forage Yield of Irrigated Maize Hybrids in Aguascalientes and Zacatecas, México." Agricultura Técnica en México **30**(1): 53-61.
- Mercer, Kristin L. , Hugo R. Perales and Joel D. Wainwright (2012). "Climate change and the transgenic adaptation strategy: Smallholder livelihoods, climate justice, and maize landraces in Mexico." Global Environmental Change **22**(2): 495–504.
- Mogues, T. and S. Benin, Eds. (2012). Public Expenditures for Agricultural and Rural Development in Africa. Routledge Studies in Development Economics. New York, NY, Routledge.
- Morris, Michael L.; López-Pereira, Miguel A. (1999). Impacts of maize breeding research in Latin America, 1966-1997. México, D.F., México, International Maize and Wheat Improvement Center.
- Müller, C. , W. Cramer, W.L. Hare and H. Lotze-Campen (2011). "Climate change risks for African agriculture." Proceedings of the National Academy of Sciences **108**(11): 4313-4315.
- NACEC (2004). Article 13 Report: Maize and Biodiversity: The Effects of Transgenic Maize in Mexico. Montreal, NACEC.
- Nadal, Alejandro and Hugo Garcia Rano (2009). Trade, Poverty and the Environment: A Case Study in the Sierra de Santa Marta Biosphere Reserve. Washington, D.C., World Wildlife Federation (WWF).

- Nelson, G.C. , M. W. Rosegrant, A. Palazzo, I. Gray, C. Ingersoll, R. Robertson and Si. Tokgoz (2010). *Food Security, Farming, and Climate Change to 2050: Scenarios, Results, Policy Options*. Washington, D.C., International Food Policy Research Institute.
- Nelson, G.C. , M.W. Rosegrant, J. Koo, R. Robertson, T. Sulser, T. Zhu and C. Ringler (2009). *Climate Change: Impact on Agriculture and Costs of Adaptation*. Washington, D.C., International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Novel Guízar, M. (2000). *La labranza de conservación en México y apoyos del FIRA para su adopción*. Morelia, Mich, Banco de México-FIRA.
- OECD (2010). *Sustainable Management of Water Resources in Agriculture*. Paris, France, Organization for Economic Co-operation and Development (OECD).
- OECD (2012). *OECD Environmental Outlook to 2050*. France, Organization for Economic Co-operation and Development.
- Ortega García, N. and M. Fernández Rive (2007). "Labranza de Conservación en la Zona de Valle de Santiago-Jaral del Progreso, Guanajuato." *Revista de Geografía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo* **038**: 33-40.
- Paganelli, Alejandra, Victoria Gnazzo, Helena Acosta, Silvia L. Lopez and Andres E. Carrasco (2010). "Glyphosate-Based Herbicides Produce Teratogenic Effects on Vertebrates by Impairing Retinoic Acid Signaling." *Chemical Research in Toxicology* **23**: 1586–1595.
- Parry, M.L. , O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds. (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Parsons, David, Luis Ramirez-Aviles, Jerome H. Cherney, Quirine M. Ketterings, Robert W. Blake and Charles F. Nicholson (2009). "Managing maize production in shifting cultivation milpa systems in Yucatan, through weed control and manure application." *Agriculture, Ecosystems & Environment* **133**: 123-134.
- Perales, Hugo, S.B. Brush and C.O. Qualset (2003a). "Dynamic Management of Maize Landraces in Central Mexico." *Economic Botany* **57**(1): 21-34.
- Perales, Hugo, S.B. Brush and C.O. Qualset (2003b). "Landraces of Maize in Central Mexico: An Altitudinal Transect." *Economic Botany* **57**(1): 7-20.
- Pimentel, David and Marcia Pimentel (1979). *Food, energy, and society*. New York, Wiley.
- Pingali, Prabhu L. , Ed. (2000). *Meeting World Maize Needs: Technological Opportunities and Priorities for the Public Sector CIMMYT 1999/2000 World Maize Facts and Trends*. Mexico City, Mexico, CIMMYT.
- Pretty, J. N., A. D. Noble, D. Bossio, J. Dixon, R. E. Hine, F. W. Penning De Vries and J. I. Morison (2006). "Resource-conserving agriculture increases yields in developing countries." *Environmental science & technology* **40**(4): 1114-9.
- Pretty, Jules; Hine, Rachel (2001). *Reducing Food Poverty with Sustainable Agriculture*. Essex, The Potential of Sustainable Agriculture to Feed the World) Research Project, University of Essex.
- Robles Berlanga, Hector (2010). *The long-term view: Comparing the Result of Mexico's 1991 and 2007 Agricultural Censuses. Subsidizing Inequality: Mexican Corn Policy Since NAFTA*. J. Fox and L. Haight. Mexico, Woodrow Wilson International Center for Scholars; Centro de Investigacion y Docencia Economicas; University of California, Santa Cruz.
- Royal Society (2009). *Reaping the benefits: Science and the sustainable intensification of global agriculture*. London, UK, The Royal Society.
- Rudiño, Lourdes Edith (2011). *Iniciativas para elevar el rendimiento del maíz de temporal: metodología exitosa generada por campesinos. Mexican Rural Development*

- Research Reports. Washington, DC, Woodrow Wilson Center for International Scholars.
- SAGARPA (2010). PROMAF 2010 (Resultados 2007-2009). SAGARPA. Distrito Federal, México.
- SAGARPA, CIMMYT and Gobierno Federal. (2011, 06/23/2011). "¿Qué es MasAgro?" Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional, MasAgro Retrieved 06/23, 2011, from <http://masagro.cimmyt.org/index.php/ique-es-masagro>.
- Sanders, W. T. (1957). *Tierra y Agua: A study of the ecological factors in the development of Meso-American Civilizations*. Cambridge, MA, Harvard University. **Ph.D. Thesis**.
- SARH (1988). *Agua y Sociedad: una historia de las obras hidráulicas en México*. S. d. I. Hidráulica, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH): 297.
- Séralini, Gilles-Eric, Joël Spiroux de Vendômois, Dominique Cellier, Charles Sultan, Marcello Buiatti, Lou Gallagher, Michael Antoniou and Krishna J. Dronamraju (2009). "How Subchronic and Chronic Health Effects can be Neglected for GMOs, Pesticides or Chemicals." International Journal of Biological Sciences **5**(5): 438-443.
- SIAP (2012a). *Cierre de la producción agrícola por cultivo*, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- SIAP (2012b). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON)*, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).
- Sierra Macías, Mauro, Octavio Cano Reyes, Artemio Palafox Caballero, Oscar Hugo Tosquy-Valle, Alejandro Espinosa Calderón and Flavio A. Rodríguez Montalvo (2005). "Progress in Maize (*Zea mays* L.) Breeding for the Humid Tropics of Mexico." Agricultura Técnica en México **31**(1): 21-32.
- Sileshi G, Akinnifesi FK, Ajayi OC and F. Place (2008). "Meta-analysis of maize yield response to woody and herbaceous legumes in sub-saharan Africa." Plant and Soil **307**: 1-19.
- Solorzano, Leticia Deschamps and Gabriela Escamilla Caamal (2010). *Sistema Mexicano de Innovación Agroalimentaria*. México, IICA.
- Suarez Carrera, Víctor (2012). *Campaña Presidencial del Lic. Andrés Manuel López Obrador 2012 Encuentros de Análisis para la Elaboración de Propuestas: Propuesta de programa de gobierno para el sector Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) 2012-2018*. México.
- Thrupp, Lori Ann (1998). Cultivating diversity : agrobiodiversity and food security. Washington, DC, World Resources Institute.
- Tinoco-Rueda, J.A., J.D. Gómez-Díaz and A.I. Monterroso-Rivas (2011). "Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco, México." Terra Latinoamericana **29**(2): 161-168.
- Tinoco Alfaro, Carlos Alberto, Alfonso Ramírez Fonseca, Everardo Villarreal Farías and Ariel Ruiz Corral (2008). "Stand Arrangement of Maize Hybrids, Leaf Area Index and Seed Yield." Agricultura Técnica en México **34**(3): 271-278.
- Toledo, Victor M. (2001). *Indigenous Peoples and Biodiversity* Encyclopedia of Biodiversity. New York, Elsevier: 451-463.
- Tosquy-Valle, Oscar Hugo, Artemio Palafox Caballero, Mauro Sierra Macías, Andrés Zambada Martínez, Rodolfo Martínez Morales and Gonzalo Granados Reinaut (2005). "Agronomic Performance of Corn Hybrids in Two Municipalities of Veracruz, México." Agronomía Mesoamericana **16**(1): 7-12.
- Trenbath, B. R. (1976). *Plant interactions in mixed crop communities*, American Society of Agronomy.

- Turrent Fernández, A (2008). Producción bajo temporal. El Cultivo de Maíz en México. Temas selectos. . R. Rodríguez Montessoro and C. de León. Mexico City, Colegio de Postgraduados y Mundi-OPrensa México. **Vol 1**: 107-113.
- Turrent Fernández A, R. Camas Gómez, A. López Luna, M. Cantú Almaguer, J. Ramírez Silva, J. Medina Méndez and Artemio Palafox Caballero (2004a). "Producción de maíz bajo riego en el sur-sureste de México: II. Desempeño financiero y primera aproximación tecnológica." Agric. Tec. Mex. **30(2)**: 205-221.
- Turrent Fernández A, R. Camas Gómez, A. López Luna, M. Cantú Almaguer, J. Ramírez Silva, J. Medina Méndez and Artemio Palafox Caballero (2004b). "Producción de maíz bajo riego en el sur-sureste de México: I. Análisis agronómico. ." Agric. Tec. Mex **30(2)**: 153-167.
- Turrent Fernández, A. (2012). Estrategias Científicas y Tecnológicas para reforzar la Productividad Agrícola de México ante el Cambio Climático. Memorias Ciencia y Humanismo. México, D.F., Academia Mexicana de Ciencias: 427-437.
- Turrent Fernández, A., N.O. Gómez Montiel, M. Sierra Macías and R. Aveldaño Salazar (1998). "Rendimiento de cuatro fórmulas tecnológicas." Revista fitotecnia mexicana **21(2)**: 159-170.
- Turrent Fernández, A., N.O. Gómez Montiel, M. Sierra Macías, R. Aveldaño Salazar and Rodolfo Moreno Dahme (2001). "Potencial productivo actual (Zea mays L.) bajo riego en el ciclo Otoño-Invierno en el sureste de México: II. Desempeño económico de cuatro fórmulas tecnológicas." Revista Fitotecnia Mexicana **24(1)**: 27-38.
- Turrent Fernandez, Antonio (2012). Uso de transgénicos : ¿Riesgo u oportunidad? Primer Simposio Nacional Por México: Hablemos de maíz, Guadalajara, Jalisco, CYCASA.
- Turrent Fernández, Antonio (1986). Estimación del Potencial Productivo Actual de Maíz y Frijol en La Republica Mexicana. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.
- Turrent Fernández, Antonio (2011). Maíces Nativos & Seguridad Alimentaria. La Jornada del Campo. **41**.
- Turrent Fernández, Antonio (2009). Potencial productivo de maíz en México. La Jornada del Campo. Mexico City.
- Turrent Fernández, Antonio, Rodrigo Aveldano Salazar and Rodolfo Moreno Dahme (1996). "Análisis de las posibilidades técnicas de la autosuficiencia sostenible de maíz en México." Terra **14(3)**: 445-468.
- Turrent Fernández, Antonio, Robertony Camas Gómez, Aurelio López Luna, Miguel Cantú Almaguer, Jorge Ramírez Silva, Juan Medina Méndez and Artemio Palafox Caballero (2004a). "Additional Maize Production Potential of Mexico's Southeastern Region: I. Agronomic Analysis of Recent Experimental Evidence." Agricultura Técnica en México.
- Turrent Fernández, Antonio, Robertony Camas Gómez, Aurelio López Luna, Miguel Cantú Almaguer, Jorge Ramírez Silva, Juan Medina Méndez and Artemio Palafox Caballero (2004b). "Additional Maize Production Potential of Mexico's Southeastern Region: II. First Technological Approximation." Agricultura Técnica en México.
- Turrent Fernández, Antonio, José Isabel Cortés Flores, Alejandro Espinosa Calderón, Hugo Mejía Andrade and José Antonio Serratos Hernández (2010). "¿Es ventajosa para México la tecnología de maíz transgénico?" Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas **1(4)**: 631-646.
- Turrent Fernández, Antonio, Noel Gómez Montiel, Mauro Sierra Macias, Rodrigo Aveldano Salazar and Rodolfo Moreno Dahme (1998). "Current Potencial Production of Irrigated Maize (Zea mays L.) in Southeastern Mexico in the Fall-Winter Season: II. Economic Performance of Four Technological Formulas." Fitotecnia Mexicana.

- Turrent Fernández, Antonio, Antonio Serratos Hernández, Hugo Mejía Andrade and Alejandro Espinosa-Calderón (2009). "Propuesta de Cotejo de Impacto de la Acumulación de Transgenes en el maíz (*Zea mays* L.) Nativo Mexicano." Agrociencia **43**: 257-265.
- Turrent Fernández, Antonio and José Antonio Serratos Hernández (2004). Chapter 1: Context and Background on Maize and its Wild Relatives in Mexico. Background Volume for CEC Article 13 Report, "Maize and Biodiversity: The Effects of Transgenic Maize in Mexico". Oaxaca.
- Van Dusen, M. Eric (2000). In Situ Conservation of Crop Genetic Resources in the Mexican Milpa System. Agricultural and Resource Economics. Davis, CA, University of California - Davis. PhD, Agricultural and Resource Economics.
- Vandermeer, John H. (1989). The ecology of intercropping. Cambridge [England]; New York, Cambridge University Press.
- Wassmann, R., Gerald C. Nelson, S.B. Peng, K. Sumfleth, S.V.K. Jagadish, Y. Hosen and M.W. Rosegrant (2010). Rice and global climate change. Rice in the Global Economy: Strategic Research and Policy Issues for Food Security. S. Pandey, D. Byerlee, D. Dawe et al. Los Banos, Philippines, International Rice Research Institute (IRRI): 411-433.
- Wise, Timothy A. (2010). Agricultural Dumping Under NAFTA: Estimating the Costs of US Agricultural Policies to Mexican Producers. Washington, Woodrow Wilson International Center for Scholars.
- Wise, Timothy A. (2012). The Cost to Mexico of U.S. Corn Ethanol Expansion. GDAE Working Paper No. 12-01. Medford, Mass, Global Development and Environment Institute, Tufts University.
- World Bank (2005). Agriculture Investment Sourcebook. Washington, D.C., World Bank.
- World Bank (2012). Agricultural Innovation Systems: An Investment Sourcebook. Washington, D.C., World Bank.
- Zepeda, Eduardo, Timothy A. Wise and Kevin P. Gallagher (2009). Rethinking Trade Policy for Development: Lessons from Mexico Under NAFTA. Policy Outlook. Washington, Carnegie Endowment for International Peace: 23.