



IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS POTENCIALES EN MEXICO PARA LA INTERVENCIÓN CON MAÍZ BIOFORTIFICADO CON ZINC

IDENTIFICATION OF POTENTIAL AREAS IN MEXICO FOR INTERVENTION WITH BIOFORTIFIED HIGH-ZINC MAIZE

Rocío Ramírez-Jaspeado¹, Natalia Palacios-Rojas³, José Funes², Salomón Pérez³ y M. Laura Donnet^{1*}

¹Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. km 45 Carretera México-Veracruz. 56237, El Batán, Texcoco, Edo. de México, México. ²HarvestPlus, IFRI, 1201 Eye St., 20005-3915 NW Washington, DC, USA. ³HarvestPlus, CIAT, km 17 Recta Cali-Palmira, Apartado Aéreo 6713, 763537 Cali, Colombia

*Autor para correspondencia (lauradon105@hotmail.com)

RESUMEN

La desnutrición es un problema que afecta el crecimiento, desarrollo y salud en general, especialmente de los niños menores de cinco años y mujeres embarazadas. En México, los indicadores de bajo peso y talla señalan una reducción de 8 y 13.3 %, respectivamente, entre 1988 y 2012. A pesar de las intervenciones de salud pública la prevalencia de baja talla continúa siendo un importante problema de salud pública (13.6 % en promedio), especialmente en zonas rurales y urbanas marginales. La biofortificación de cultivos como maíz (*Zea mays* L.) con zinc es una forma de contribuir a combatir la deficiencia de este micronutriente, sobre todo en estados donde se observa una importante producción y un alto consumo *per capita* del grano (cerca de 200 kg/año). El objetivo del presente trabajo fue identificar áreas con mayor potencial para la introducción de maíces biofortificados con zinc; para esto, se determinó un Índice de Priorización para Biofortificación (IPB) y las Condiciones de Intervención para Biofortificación (CIB). Los dos parámetros fueron determinados mediante la estimación de tres índices: producción, consumo y deficiencia de zinc. El IPB constituye una media geométrica de los tres índices, mientras que CIB establece los parámetros de atención para la biofortificación. Los resultados tanto del IPB como CIB indican que las áreas con prioridad elevada para biofortificación son Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo y Puebla. Las áreas establecidas con prioridad media son Nayarit y Durango, mientras que Quintana Roo fue determinada como de prioridad baja.

Palabras clave: Desnutrición, biofortificación, micronutrientes, granos básicos.

SUMMARY

Malnutrition is a problem that affects human growth, development and general health, particularly on children under 5 years of age and pregnant women. In Mexico, low weight and height statistics reveal a decrease of 8 and 13.3 %, respectively, between 1988 and 2012. Despite public health interventions, the prevalence of low height continues to be a serious public health problem (13.6 % on average), especially in rural and marginal urban areas. Biofortifying crops such as maize (*Zea mays* L.) with zinc is a way of combating zinc deficiency, particularly in states with important maize production and high *per capita* consumption of the grain (almost 200 kg per year). The objective of this study is to identify target areas with high potential for the introduction of maize biofortified with zinc. A Biofortification Priority Index (BPI) and the Conditions for Biofortification Intervention (CBI) were established for that purpose. These two parameters were determined by

estimating three indices: production, consumption and zinc deficiency. The BPI is a geometric mean of the three indices, while the CBI establishes the parameters that biofortification should focus on. The results of both the BPI and the CBI indicate that the areas with high priority for biofortification are Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo and Puebla. The areas of medium priority are Nayarit and Durango, while Quintana Roo was determined as low priority.

Index words: Malnutrition, biofortification, micronutrients, staple grains.

INTRODUCCIÓN

La desnutrición afecta especialmente el crecimiento, desarrollo y salud de los niños menores de cinco años y de las mujeres embarazadas. Efectos en el mediano y largo plazo relacionados con el desempeño escolar e intelectual, desarrollo de capacidades, rendimiento en el trabajo e ingreso laboral en los adultos, repercuten en el desarrollo socioeconómico (Chomba *et al.*, 2015; Saltzman *et al.*, 2013). La desnutrición en México ha mantenido una disminución sostenida a lo largo de casi un cuarto de siglo.

Las intervenciones de salud pública en el país han demostrado una reducción en la mortalidad infantil, la baja talla y peso de los niños y una amplia distribución de los beneficios de programas de salud, especialmente intervenciones relacionadas con ácido fólico (37.7 % de los hogares), suplementación con hierro (25.2 %) y con vitamina A (23.2 %) (Sepúlveda *et al.*, 2006; Gutiérrez *et al.*, 2012). Sin embargo, la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de 2012 advierte una inseguridad alimentaria leve (41.6 %) en los hogares mexicanos; es decir, estos hogares experimentan preocupación por el acceso a los alimentos, lo que lleva a un posible sacrificio en la calidad de la dieta familiar; adicionalmente, el 28.2 % de los hogares que experimentan inseguridad moderada y severa consumen una dieta insuficiente en cantidad, calidad y, en casos extremos, han

experimentado hambre debido a la falta de acceso a los alimentos, dinero u otros recursos (Gutiérrez *et al.*, 2012).

Actualmente, alrededor de 14 de cada 100 preescolares (1.5 millones de menores de cinco años) tienen baja talla para la edad, indicador de desnutrición crónica (Gutiérrez *et al.*, 2012). Según indicadores mexicanos, basados en ingresos corrientes, entre 2006 y 2012 hubo un aumento en el número de personas en condición de pobreza en México; esto debido a diferentes factores como inestabilidad en los precios internacionales de alimentos y crisis económicas (Gutiérrez *et al.*, 2012). Estrategias y programas para la prevención de la desnutrición son efectivos, pero tienen sus limitaciones por aspectos como la pobreza, la falta de servicios sanitarios, de acceso a agua potable y servicios de salud preventivos y curativos, estacionalidad de la diversidad dietética, etc. (Gutiérrez *et al.*, 2012).

La malnutrición es traducida en un bajo consumo de micronutrientes como el zinc, que es agravado por su mala absorción, y está asociado a retardo en el crecimiento, cambios neuro-sensoriales, riesgo de la función cognitiva, anomalías inmunes y hasta la muerte (Quihui *et al.*, 2010). La carencia de biomarcadores ampliamente aceptados para medir el estatus de zinc ha sido una de las limitantes principales para la estimación de la prevalencia de deficiencia de este micronutriente (Brown *et al.*, 2001); sin embargo, se estima que la deficiencia de zinc global es de más de 31 %, con un rango del 4 al 73 % en los países en vías de desarrollo (ibid, 2001). En América Latina un 33 % de la población está en riesgo de ingesta inadecuada de zinc mientras que para México se ha estimado en 20 % (Hotz y Brown, 2004). Entre los causales de dicha deficiencia en México están el bajo consumo de dietas ricas en zinc y la alta incidencia de giardiasis (infección intestinal parasitaria) que lleva a una deficiencia de zinc (Hunt *et al.*, 1987; Quihui *et al.*, 2010; Rosado *et al.*, 1995).

Gutiérrez *et al.* (2012) determinaron la deficiencia de zinc en función de la prevalencia de talla baja en niños entre 1 y 5 años, lo que evidencia que en estados como Chiapas, Guerrero y Oaxaca, correspondientes a la región sureste, y Puebla de la región centro, presentan una alta prevalencia de talla baja (entre 20 y 30 % en comparación con el promedio nacional de 13.6 %) (WHO, 2013).

El zinc se encuentra en gran parte de los alimentos de origen animal como el pollo, pescado, res, cerdo, entre otros; y vegetal como las legumbres y los cereales de grano entero (Latham, 2002). El contenido promedio de zinc en granos de maíz (*Zea mays* L.) es de 18 a 20 ppm (Ortiz-Monasterio *et al.*, 2007); dicho contenido depende no sólo de la genética del maíz, sino también de la disponibilidad del mineral en el suelo. Se ha encontrado suficiente

variabilidad genética para el contenido de zinc en el grano de maíz (promedio de 18 a 20 ppm, máximo 37 ppm), lo cual ha permitido desarrollar a través de mejoramiento convencional maíces biofortificados con alto contenido de zinc (Chomba *et al.*, 2015). Esfuerzos del programa HarvestPlus enfocados en regiones tropicales de Centro y Sudamérica, especialmente en Guatemala, Nicaragua y Colombia, han llevado al desarrollo y liberación de maíces tropicales blancos con alto contenido de zinc en el grano (CIMMYT, 2016).

En México alrededor del 90 % del volumen total de grano producido corresponde a maíz blanco, que involucra 45 % de la superficie total sembrada a nivel nacional. Los estados del sureste, como Veracruz, Chiapas, Guerrero y Oaxaca, concentran el 38 % de la superficie sembrada de maíz y 28 % de la producción total; Jalisco, Michoacán y Guanajuato (centro occidente) concentran el 28 % de la superficie sembrada y aportan 34 % del volumen producido. El Estado de México, Puebla e Hidalgo (centro) concentran el 21 % de la superficie y contribuyen con 18 % de la producción; la región noroeste (Sinaloa y Sonora) contribuye con 7 % de la superficie a maíz y aporta 19 % de la producción, mientras que la región noreste contribuye con 6 % de la superficie sembrada y aporta sólo 4 % de la producción (SIAP, 2017a).

Aunque el rendimiento promedio nacional es de 3.1 t ha⁻¹, la variabilidad depende de la región, condiciones agroclimáticas y de los diversos sistemas de producción, que van desde subsistencia hasta altamente tecnificados. Datos de la SAGARPA (2010) indican que el 47 % de las unidades productivas en México son menores a 2 ha, la mayor parte de estas unidades producen para autoconsumo y presentan barreras para el financiamiento y la adquisición de insumos a precios accesibles por los bajos volúmenes requeridos; sin embargo, cerca del 28 % cuentan con predios con más de 5 ha (SAGARPA, 2010), lo que permite destinar buena parte de su producción a la comercialización.

El 87 % de la producción de maíz blanco es dedicado al consumo humano, el 13 % restante es para consumo animal, mermas y semilla; el 36 % del consumo humano se presenta en zonas rurales (autoconsumo) y el otro 64 % en zonas urbanas (SIAP, 2017b). Tanto la cantidad consumida del grano como la importancia en la dieta está altamente diferenciada, en zonas urbanas el consumo promedio *per capita* de maíz por año es de alrededor de 124 kg y el 76 % es transformado en masa o harina para la elaboración de tortilla que complementa la dieta alimenticia, mientras que en las zonas rurales el consumo anual promedio *per capita* es de 269 kg y su uso es diversificado para la elaboración de diferentes platillos (López, 2014). La población mexicana elabora más de 600 productos alimenticios y platillos derivados del maíz, y

más de la mitad de ellos son producto de la nixtamalización (Fernández *et al.*, 2013; Rosales *et al.*, 2016).

Si bien la población rural promedio en México representa 23 % de la población total, en estados como Oaxaca, Chiapas, Hidalgo, Guerrero, Zacatecas, Veracruz, San Luis Potosí, Michoacán y Durango la población rural oscila entre 30 y 50 % (INEGI, 2010). En estos estados se puede presentar una mayor oportunidad de obtener mejora en la ingesta de zinc al consumir maíz biofortificado. El Objetivo de este estudio fue determinar las regiones mexicanas potenciales para la intervención con maíz con alto contenido de zinc a través del Índice de Priorización para Biofortificación propuesto por HarvestPlus en 2013 (Asare-Marfo, *et al.*, 2013) y de las Condiciones de Intervención para Biofortificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Índice de Priorización para Biofortificación identifica la priorización para biofortificación de un cultivo en un área geográfica determinada, mientras que las Condiciones de Intervención para la Biofortificación establecen las condiciones específicas para la biofortificación; ambos compuestos a partir de los índices de producción y consumo de un cultivo en particular, además de un índice de deficiencia de micronutrientes.

Las condiciones para determinar el IPB son: 1) producción y consumo de al menos parte de la producción, entre más grande es la producción en términos de área o volumen cosechado y más pequeña la proporción de la producción exportada, mayor oportunidad se tiene para la utilización de variedades biofortificadas; 2) consumo *per capita* de la producción interna del cultivo, cuanto mayor es el consumo *per capita*, los efectos de la biofortificación permiten observar una diferencia considerable en la ingesta de micronutrientes de la población del área de estudio; 3) prevalencia considerable en la deficiencia del micronutriente considerado en la población, a mayor deficiencia del micronutriente en la población del área estudiada, mayor podría ser el impacto de la biofortificación, siempre que se cumplan las condiciones 1 y 2.

Índice de producción (IP)

El IP mide la magnitud de producción¹ del cultivo de maíz en cada estado. Las variables consideradas fueron: el área cosechada de maíz, como porcentaje del área

¹Según la norma técnica para la generación de estadística básica agropecuaria y pesquera "la producción es el volumen de producto que se logró levantar en determinada superficie cosechada" donde las variables área y rendimientos son determinantes para definir el volumen. http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/105402/Normatividad_Estadistica.pdf.

agrícola total cosechada; la superficie *per capita* cosechada y la proporción de exportaciones. Tanto la primera como la segunda variable miden la importancia relativa del cultivo en cuestión en el sector agrícola de un estado. Las exportaciones por estado consideran exportaciones hacia otros países o hacia otros estados. Esto se debe a que no todos los estados producen lo que consumen, lo cual hace necesario que estados con excesos de producción envíen maíz a los estados con déficits.

Índice de Consumo (IC)

El IC mide la intensidad del consumo² de maíz, ajustado por la proporción del consumo nacional del maíz que se importa. El índice se calcula a partir de dos variables: el consumo humano *per capita* por año y la proporción de las importaciones. La dependencia de importaciones de grano en un estado considera la totalidad del grano que entra, ya sea proveniente de otros países o de otros estados. Suponiendo que el consumo *per capita* es constante, los estados que registran una menor proporción de importaciones (o en su caso no importen grano) deberán recibir mayor prioridad comparados con estados con una mayor proporción de importaciones.

Índice de Deficiencia de Zinc (IDZ)

El IDZ mide el grado de deficiencia de este micronutriente tomando en cuenta el porcentaje de la Población en Riesgo de Toma Inadecuada de Zinc (% PRTIZ), el cual a su vez considera tanto el porcentaje de la población en riesgo de toma inadecuada de zinc para México con base en estudios antropométricos realizados por Hotz y Brown (2004) como la proporción de los Grupos de Población más Vulnerables (GPV) de toma inadecuada de zinc para 2014 (GPV por estado/población total por estado). Los grupos considerados son los siguientes: a) niños entre 0 y 5 años, b) mujeres embarazadas (nacimientos registrados) y c) adultos mayores (60 años y más).

En el caso de los niños y mujeres embarazadas, los grupos se definieron con base en estudios de Rosado *et al.* (1995), quienes estimaron un porcentaje de deficiencia de zinc mayor al 90 % en niños, y de Caulfield *et al.* (1998) y Darnton-Hill (2013) que consideraron que un 80 % de las mujeres embarazadas tienen problemas de deficiencia de zinc. En el caso de los adultos mayores hace falta información de las características de su entorno y de su perfil de salud y nutrición para México (Shamah-Levy, 2008); sin embargo, Mejía-Rodríguez *et al.* (2013) estimaron que en el país la prevalencia

²El consumo está relacionado con el uso de la producción; sin embargo, éste puede ser menor o mayor a la producción obtenida, por lo que, también está relacionada con las exportaciones y las importaciones de grano del cultivo.

del inadecuado consumo de zinc en mujeres adultas es aproximadamente de 90 %, y 80 % en hombres.

Para el cálculo del % PRTIZ por estado se utilizó una media geométrica similar a la utilizada en el GDI y IPB para países de bajos ingresos (Asare-Marfo *et al.*, 2013).

$$\% \text{ PRTIZ} = \sqrt{\% \text{ PRTIZ}_{(\text{Hotz y Brown}(2004))} \times \text{GPV}_{2014}}$$

Prevalencia de talla baja (altura/edad) por estado, de niños de 0 a 60 meses de edad

Tanto el % PRTIZ como la prevalencia de talla baja están correlacionadas una con la otra, lo que permite parcialmente mitigar la falta de fiabilidad y precisión al utilizar una sola variable.

Las variables usadas para la construcción de cada uno de los índices de producción, consumo y deficiencia de zinc se caracterizan por tener unidades métricas diferentes. Para la adición matemática y la agregación de variables en los índices, se deben convertir en nuevas variables sin unidades de medida; para ello, se utilizó el método de conversión utilizado por el Índice de Desarrollo Humano (HDI por sus siglas en inglés) para escalar las variables (UNDP, 1990). Todas las variables fueron escaladas a un rango de entre 0 y 1 aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Valor re}_{\text{escalado}} = \frac{\text{Valor actual} - \text{Valor mínimo}}{\text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}} \quad \text{ec. 1}$$

Los valores mínimos y máximos para cada indicador son también los valores mínimos y máximos del grupo de observaciones de los 32 estados considerados, 0 y 100 se utilizaron para variables que expresan valores porcentuales, como la participación de exportaciones o importaciones. Los valores están enlistados en el Cuadro 1. El rango de valores de todas las variables re-escaladas es entre 0 y 1, y libres de unidades de medida. Similar al HDI y al Índice de Hambre Mundial (GHI por sus siglas en inglés);

se empleó un enfoque heurístico que utiliza un conjunto arbitrario de pesos para indicadores individuales de pesaje en el cálculo de estos índices. En las siguientes ecuaciones, el superíndice r indica que la variable es re-escalada mediante la Ecuación (1).

Para determinar el índice de producción se midió la proporción de la producción que es consumida de manera doméstica, para lo cual se consideró la suma del área *per capita* cosechada de maíz y la proporción de tierra asignada al cultivo de maíz con respecto al total de superficie cosechada y se multiplicó por el término (1 - proporción de exportaciones). En México, la mayoría de los estados presentan una proporción importante del área cosechada de maíz con respecto al total del área cosechada, así como la cantidad de tierra asignada al cultivo, por lo que el índice de producción en prácticamente todos los estados es mayor que 0.

$$IP = \left(\frac{1}{2}\right) \times \text{Área per cápita cosechada}^r + \left(\frac{1}{2}\right) \times \text{Proporción del área cosechada}^r \times (1 - \text{Proporción de exportaciones}^r) \quad \text{ec. 2}$$

En el índice de consumo, la variable principal es el consumo *per capita*, la cual una vez re-escalada es multiplicada por el término (1 - proporción de importaciones) para determinar la proporción del consumo local abastecido por la producción local; mientras que, si se multiplica por la participación de las importaciones arroja como resultado la proporción del consumo abastecido por importaciones. Si la participación de las importaciones es igual a 1, entonces la producción es igual a 0; por lo tanto, la cantidad consumida es completamente importada. El índice de consumo se expresó de la siguiente manera:

$$IC = \text{Consumo humano per capita}^r (1 - \text{Proporción de importaciones}^r) \quad \text{ec. 3}$$

El índice de deficiencia de zinc utilizó la siguiente fórmula:

$$IDZ = \left(\frac{1}{2}\right) \times \text{Toma inadecuada de Zinc}^r + \left(\frac{1}{2}\right) \times \text{Deficiencia de talla baja}^r \quad \text{ec. 4}$$

Cuadro 1. Valores máximo y mínimo usados para re-escalar las variables.

Índice	Variable	Mínimo	Estado	Máximo	Estado
Producción	Proporción de exportaciones (%)	0		100	
	Área <i>per capita</i> cosechada (m ²)	0.57	Baja California	1,753.75	Campeche
	Proporción de tierra asignada al cultivo maíz respecto de la superficie total cosechada (%)	0		100	
Consumo	Consumo humano <i>per capita</i> de maíz (kg/año)	123.82	Cd. México	198.94	Oaxaca
	Proporción de importaciones (%)	0		100	
Deficiencia del micronutriente zinc	Toma inadecuada de zinc (%)	0		100	
	Prevalencia de talla baja (altura/edad) 0-60 meses de edad (%)	0		100	

El Índice de Priorización para la Biofortificación (IPB) permite identificar y clasificar la priorización para la biofortificación de un cultivo en un área geográfica determinada a partir de los índices arriba mencionados. Debido a la alta correlación entre los índices de producción y de consumo, se calculó la media geométrica de ambos, lo que asegura una participación igual entre el índice de deficiencia del micronutriente zinc y la media geométrica de los índices de producción y de consumo.

$$\text{Índice de Priorización de Biofortificación (IPB)} = \sqrt{\sqrt{\text{IP} \times \text{IC} \times \text{IDZ}}} \quad \text{ec. 5}$$

La Ecuación (5) presenta IPB entre 0 y 1. Para facilidad de exposición, la Ecuación (5) se multiplica por 100 para obtener un IPB entre 0 a 100. Se utiliza la Ecuación (1) para re-escalar el IPB en un rango de 0 y 100.

El IP e IC están diseñados para evitar variables que puedan medir el tamaño en términos absolutos. La inclusión de variables específicas de tamaño podría sesgar el IPB hacia estados más grandes en detrimento de los más pequeños. El término "grande" se refiere a la mayor concentración de valores absolutos de variables como la superficie cosechada, el tamaño de la población, entre otras.

Ajustes por el área y población objetivo

Debido a la importancia de considerar el tamaño, la superficie sembrada o cosechada y población de los estados se calcularon dos IPB ajustados, el primero en función del tamaño del área cosechada y el segundo en función de la población objetivo. Si se considera A como el ajuste del tamaño de un estado en relación con todos los estados (escalada entre 0 y 1), entonces el IPB de cualquier estado puede ser ajustado por la variable A, como se muestra a continuación:

$$\text{IPB}_{\text{ajustado}} = \text{IPB} \times A \times 100 \quad \text{ec. 6}$$

El primer índice ajustado considera el área cosechada de maíz en un estado con respecto al área total cosechada del grano. El segundo índice ajustado considera a la población objetivo, dividida por la población objetivo total; que define como población objetivo (PO) a los niños rurales de 0 a 5 años y las mujeres rurales en edad reproductiva de 15 a 49 años, en cada estado y población objetivo total, que es la suma de la población objetivo de los 32 estados que conforman el país. Las cifras resultantes de la Ecuación (6) pueden ir de 0 a cualquier número positivo. Para propósitos de comparación se debe aplicar el método de re-escalamiento mostrado en la Ecuación (1) y el resultado se muestra en un rango de 0 a 1 y se multiplica por 100 para obtener un valor entre 0 y 100. El IPB ajustado puede ser directamente comparado con el IPB no ajustado.

Condiciones de Intervención para la Biofortificación (CIB)

Las CIB están en función de los requerimientos de biofortificación, para lo cual, los índices de producción, consumo y deficiencia de micronutrientes previamente calculados están sujetos a las restricciones que determinan la prioridad. Las restricciones se establecieron a partir de dos niveles en cada índice alto y bajo. El punto de referencia para determinar ambos niveles fue la mediana. Los niveles de intervención en orden de importancia fueron:

Áreas de impacto e intervención

Son los estados donde se consumen importantes volúmenes de maíz producidos en los mismos, y presentan una alta deficiencia de consumo de zinc. La condición es:

$$\text{Área de impacto e intervencion} : \text{IC} > \text{MeIC}; \text{IP} > \text{MeIP}; \text{IDZ} > \text{MeIDZ}$$

donde: MeIP es la mediana del índice de producción; MeIC es la mediana del índice de consumo; MeIDZ es la mediana del índice de deficiencia de zinc

Áreas de impacto

Son los estados con alto consumo de maíz pero bajo nivel de producción y alta deficiencia del micronutriente en la población objetivo. Los bajos niveles de producción indican los déficits de grano, el cual tiene que ser abastecido por otros estados o del exterior en forma de grano o harina de maíz. La condición es la siguiente:

$$\text{Área de impacto} : \text{IC} \geq \text{MeIC}; \text{IP} \leq \text{MeIP}; \text{IDZ} \geq \text{MeIDZ}$$

Áreas de intervención

Se refieren a estados con bajo consumo del grano pero con elevada producción y bajos niveles de deficiencia de zinc. Los bajos niveles de deficiencia del zinc y el bajo consumo del grano hacen poco prioritarios los estados en esta categoría. La condición es la siguiente:

$$\text{Área de intervención} : \text{IC} < \text{MeIC}; \text{IP} > \text{MeIP}; \text{IDZ} < \text{MeIDZ}$$

Fuentes de información

Los datos de producción, volumen y superficie cosechada de maíz se obtuvieron del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2017a). El consumo humano del grano fue obtenido de SIAP (2017b), INEGI (2010) y CONAPO (2015) para el mismo periodo. Las importaciones y exportaciones provenientes del exterior se

obtuvieron de la página de comercio exterior de Secretaría de Economía (2017) y Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI, 2017). Las importaciones y exportaciones de maíz entre estados se obtuvieron estimando la demanda del grano. La diferencia entre la producción obtenida menos el consumo total estimado de maíz blanco permitió establecer los estados que requieren importar/exportar grano, una vez consideradas las exportaciones e importaciones del exterior. La toma inadecuada de zinc se estimó con datos de Hotz y Brown (2004), INEGI (2016) y CONAPO (2015) y la prevalencia de talla baja con información de WHO (2014) y de Gutiérrez *et al.* (2012). La determinación de las variables se muestra en el Cuadro 2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El IPB muestra que tres regiones agroclimáticas³ concentran la mayor parte de los estados con nivel de prioridad elevada, la región sureste (Chiapas, Oaxaca y Guerrero), la región centro (Puebla e Hidalgo) y la región centro-occidente (Zacatecas) (Cuadro 3, Figura 1). Como se mencionó anteriormente, en dichos estados la población rural es alta

³De acuerdo con la clasificación de INEGI, las regiones del país se integran como Centro: Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala; Centro Occidente: Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Querétaro de Arteaga, San Luis Potosí (SLP) y Zacatecas; Noreste: Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Tamaulipas; Noroeste: Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa, y Sureste: Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán.

y sobresale la gran cantidad de minifundios; en promedio las unidades de producción de estos estados oscila entre 1.6 y 2.2 ha⁻¹, con excepción de Zacatecas (3.8 ha⁻¹), por lo que parte importante de la producción es de autoconsumo (García-Salazar y Ramírez-Jaspeado, 2013).

IPB ajustado por el área y la población

Se presentan las dos versiones ajustadas del índice, las cuales fueron calculadas mediante la Ecuación (6). Si se compara el IPB ajustado por el área con el IPB no ajustado (Cuadro 3) Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Puebla se ubican en posiciones similares; sin embargo, Hidalgo y Zacatecas reducen su índice en más de 60 %; dicha disminución se debe a que la superficie cosechada de maíz en Zacatecas es aproximadamente dos veces más pequeña que en los otros estados mencionados, mientras que Hidalgo tiene una superficie cosechada cinco veces menor. Más del 80 % de los estados presentan un índice con valor menor al IPB no ajustado.

Si se compara el IPB ajustado por la población con el IPB no ajustado, (Cuadro 3), se observa que los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Puebla e Hidalgo se mantienen en las primeras posiciones. Veracruz se colocó en el tercer lugar, al pasar de prioridad alta a elevada, esto se debe a que Veracruz tiene una población objetivo 43 veces más grande que otros estados como Colima. Se observa que los estados presentan, casi en su totalidad, índices con

Cuadro 2. Variables usadas en el cálculo.

Índices	Nombre de la variable	Términos relacionados con la variable
Producción	Proporción de la superficie cosechada (%)	Área cosechada de maíz (ha)/Área agrícola total cosechada (ha).
	Área <i>per capita</i> cosechada (m ²)	Área total cosechada de maíz (ha)/Población total (hab).
	Proporción de exportaciones (%)	Si la producción es más grande de 0: % exportaciones = Exportaciones/(Producción + Importaciones); de otra forma % de las importaciones es 0.
Consumo	Consumo <i>per capita</i> (kg/año)	Consumo humano <i>per capita</i>
	Proporción de importaciones (%)	Si la producción es más grande de 0: % importaciones = Importaciones/(Producción + Importaciones - exportaciones); de otra forma % importaciones es 0.
Deficiencia del micronutriente zinc	Toma inadecuada de zinc (%)	Porcentaje de la población en riesgo de inadecuada toma de zinc
	Prevalencia de talla baja <altura/edad> (%)	Prevalencia de talla baja (-2 desviaciones estándar por debajo de la normal en niños de entre 0 y 60 meses).
Ajuste por población	Proporción de la población objetivo (%)	Población rural (mujeres en edad reproductiva y niños de 0 a 59 meses) (hab.)/Población rural total (hab.).
Ajuste por área	Área dedicada a la producción de maíz (%)	Área total cosechada de maíz (ha)/área total cosechada de maíz en el país (ha).

Cuadro 3. IPB e IPB ajustado por área y población por estado.

Estado	IPB no ajustado	IPB ajustado	
		Área	Población objetivo
Chiapas	100	100	100
Oaxaca	94.62	87.88	73.27
Guerrero	87	64.41	47.8
Puebla	69.75	61.92	45.31
Hidalgo	66.64	27.58	33.78
Zacatecas	64.48	17.01	15.2
Veracruz	61.73	58.18	70.26
Michoacán	61.21	46.08	32.9
Tlaxcala	53.48	9.5	5.16
Campeche	53.21	13.3	4.39
Durango	50.73	13.18	9.95
Sinaloa	49.31	32.79	13.68
Guanajuato	47.41	28.8	32.48
Nayarit	43.93	2.95	5.55
Querétaro	41.58	7.44	9.4
San Luis Potosí	41.07	10.46	14.55
Tabasco	41.04	5.72	16.09
Estado de México	38.43	32.32	31.57
Jalisco	37.85	30.99	14.45
Yucatán	36.38	6.5	4.45
Aguascalientes	26.15	1.37	2.49
Morelos	22.7	0.87	2.59
Colima	22.49	0.42	0.6
Tamaulipas	21.09	2.74	3.02
Quintana Roo	18.94	2	1.16
Chihuahua	18.07	2.31	3.47
Sonora	14.12	0.57	1.86
Coahuila	13.08	0.56	1.35
Baja California Sur	12.2	0.1	0.39
Ciudad de México	2.96	0.02	0.05

IPB: Índice de Priorización para Biofortificación

valores menores al IPB no ajustado.

Áreas establecidas por las Condiciones de Intervención para la Biofortificación

De los 32 estados en el país, 14 son considerados como áreas de intervención de algún tipo (44 %). Siete de los nueve estados determinados como áreas de impacto e intervención se concentran en la región sureste (Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Veracruz) y centro (Hidalgo, Puebla y

Tlaxcala). Estos estados concentran aproximadamente el 30 % de la producción y del consumo, tienen el 26 % de la población nacional y su población rural representa en promedio el 40 %. Los estados considerados como áreas de impacto están en las regiones centro-occidente y noreste. Su producción representa el 3.7 % y su consumo 4.4 % y concentran el 3.7 % de la población total, su población rural es de aproximadamente 34 %. Los estados considerados como áreas de intervención son Quintana Roo y Ciudad de México ubicados en la región sureste y centro,



Figura 1. Distribución espacial del nivel de priorización de los estados según los resultados del IPB no ajustado.

respectivamente. El Estado de México se caracteriza por aportar el 8.5 % de producción nacional, con niveles de consumo superiores al 11 % de maíz blanco, esto debido a que concentra el 13.5 % de población nacional; de esta última, sólo el 13 % es rural (Cuadro 4).

Determinación de las áreas potenciales de biofortificación mediante el IPB y CIB

El impacto en la mejora nutricional se podría concretar mediante estrategias enfocadas a diferentes grupos; por un lado, poblaciones con mayor nivel de deficiencia de zinc con alto consumo del grano y, por otro, poblaciones con menor nivel de deficiencia de zinc y menor consumo del grano.

La primera estaría dirigida a productores de autoconsumo, que en la mayoría de los casos utilizan maíz criollo para el consumo humano; la estrategia involucra incentivar la adopción de semilla mejorada (la tasa de utilización es baja para productores de este tipo) mediante la promoción y colocación principalmente a través de programas federales y estatales. Desde inicio de los 1990’s se incentivaron

los maíces mejorados con alta calidad proteica (QPM) a través de instituciones como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, programas del gobierno como el Programa Nacional de Semilla (PRONASE) y el Programa Kilo por Kilo (intercambio de semilla criolla por mejorada) (Palacios-Rojas *et al.*, 2017). A pesar de que los resultados no fueron los esperados, derivado en gran parte de la falta de asesoría técnica, información a los productores, así como el aseguramiento de su utilización en zonas aptas para su uso (Espinosa *et al.*, 2006), las experiencias han servido para evaluar y plantear retos y oportunidades para ofrecer a los productores paquetes integrales como insumos, acompañamiento técnico y asesoría especializada, que generan al productor confianza en el uso de semilla de este tipo.

Estados como Chiapas, Guerrero, Puebla e Hidalgo, que según el IPB se verían beneficiados por la intervención de maíz alto en zinc presentan un uso reservado de maíz híbrido con tendencia positiva, lo que ha permitido que en 2014 se entregaran cerca de 1000 t de variedades e híbridos en Guerrero para 25,000 productores a través de la Secretaría de Desarrollo Rural (SEDER) (SAGARPA, 2015a); en el caso

Cuadro 4. Estados priorizados según las CIB por región.

Región	Áreas de impacto e intervención	Áreas impacto	Áreas de intervención
Sureste	Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Veracruz		Quintana Roo
Centro	Hidalgo, Puebla, Tlaxcala		Estado de México
Centro-Occidente	Michoacán	Nayarit, Zacatecas	
Noreste		Durango	
Noroeste	Sinaloa		

de Hidalgo el gobierno federal entregó paquetes de incentivos al agro que incluyen semilla híbrida (SAGARPA, 2015b). En Chiapas a través de la Secretaría del Campo se entregaron más de 7000 sacos de semilla de este tipo a pequeños productores en 2017 (ICSEC, 2017). Con base en estos esfuerzos, el uso de semilla híbrida ha ido en aumento y presenta un potencial para utilizar híbridos biofortificados con zinc (Silva-Hinojosa, 2017, Com. Pers.)⁴.

Adicionalmente, se requieren campañas intensas para concientizar a la población rural de los beneficios nutricionales de estos materiales, ya que los agricultores no perciben beneficios en su alimentación. Un primer paso sería llevar a cabo evaluaciones de los diferentes materiales criollos que se utilizan actualmente en cada región, así como evaluaciones de materiales mejorados ya existentes que muestren los contenidos de micronutrientes como el zinc y, a partir de ello, dar a conocer los beneficios que se pueden obtener con grano biofortificado.

Con la finalidad de una mejora nutricional integral, la utilización de criollos con mayor contenido de zinc puede ser una alternativa donde los híbridos difícilmente se adaptarían a las áreas marginales, o bien, donde la aceptación de maíces mejorados es prácticamente inexistente, como es el caso de Oaxaca, debido al predominio de prácticas agrícolas tradicionales y alta adaptabilidad de las variedades nativas a los diversos agroecosistemas regionales (Bautista, 1999), por lo que 90 % del territorio agrícola del estado es cultivado con variedades criollas (Rendón-Aguilar *et al.*, 2015).

Una segunda estrategia estaría dirigida hacia los productores de maíz comercial, los cuales utilizan principalmente semilla híbrida, por lo que es recomendable trabajar con empresas semilleras para la incorporación del maíz alto en zinc dentro de su portafolio de productos comerciales; la sustitución de germoplasma mejorado por uno biofortificado estaría condicionada, además de la mejora nutricional, por las características de rendimiento y calidad que demanda la industria de masa-tortilla o la industria de la harina nixtamalizada (Miranda *et al.*, 2013).

En la actualidad, tanto híbridos como variedades de polinización abierta tropicales experimentales con alto contenido en zinc están disponibles para evaluarse más extensivamente en algunos de los estados de mayor prioridad aquí identificados como Chiapas y Guerrero. Adicionalmente, son necesarios mayores esfuerzos en mejoramiento genético para desarrollar maíces con alto contenido de zinc adaptados a los valles altos para una

⁴Silva Hinojosa, Arturo. Líder del programa Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (MasAgro), Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, 11 enero de 2017.

intervención en estados como Hidalgo, Puebla y Zacatecas, y maíces adaptados al sub-tropical para una intervención en Nayarit y Durango.

Aunque el IPB y el CIB representan una aproximación válida para la intervención con cultivos biofortificados (Asare-Marfo *et al.*, 2013), es importante reconocer que la falta de desagregación de algunos datos como el consumo (determinado a nivel nacional), limitan la interpretación de éstos. Adicionalmente, los estudios de deficiencia de zinc son reducidos y se centran a poblaciones muy específicas. Junto con el IPB, es igualmente relevante considerar factores como calidad del agua, condiciones sanitarias y prevalencia de enfermedades infecciosas. Factores dinámicos como el cambio climático, el nivel de ingreso y el crecimiento poblacional pueden afectar el consumo y la producción de cultivos básicos, así como la dieta en zonas de transición rural-urbano.

CONCLUSIONES

Los resultados del índice de priorización para biofortificación de maíz con zinc en México indican que los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo, Puebla y Zacatecas podrían verse beneficiados con la biofortificación. Las áreas de intervención e impacto refuerzan los resultados obtenidos por el IPB, con excepción de Zacatecas. Los esfuerzos deben dirigirse a evaluar maíces adaptados a la región tropical, así como trabajo continuo en mejoramiento genético para desarrollar germoplasma apto para las zonas subtropicales y de valles altos, donde aún no se cuenta con maíces biofortificados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Félix San Vicente y Luis Narro, mejoradores de maíz, por la lectura y comentarios al artículo, así mismo a Marilia Nutti, por su apoyo para la elaboración del IPB. Este estudio fue financiado por HarvestPlus y el consorcio para la investigación en maíz, CRP-MAIZE.

BIBLIOGRAFÍA

- Asare-Marfo D., E. Birol, C. González, M. Moursi, S. Pérez, J. Schwarz and M. Zeller (2013) Prioritizing countries for biofortification interventions using country-level data. HarvestPlus Working Paper 11. International Food Policy Research Institute. Washington, D.C. 48 p.
- Bautista M. E. (1999) El maíz en Oaxaca: la cosecha de contradicciones. *Estudios Agrarios* 11:161-176.
- Brown K. H., S. E. Wuehler and J. M. Peerson (2001) The importance of zinc in human nutrition and estimation of the global prevalence of zinc deficiency. *Food and Nutrition Bulletin* 22:113-125.
- Caulfield L. E., N. Zavaleta, A. H. Shankar and M. Meriardi (1998) Potential contribution of maternal zinc supplementation during pregnancy to maternal and child survival. *The American Journal of Clinical Nutrition* 68:499S-508S.
- Chomba E., C. M. Westcott, J. E. Westcott, E. M. Mpabalwani, N. F. Krebs, Z.

- W Patinkin, N. Palacios and K. M. Hambidge (2015) Zinc absorption from biofortified maize meets the requirements of young rural Zambian children. *The Journal of Nutrition* 145:514-519, doi: 10.3945/jn.114.204933
- CIMMYT, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (2016) De la A a la Z: El CIMMYT genera maíz y trigo nutritivo desde hace 50 años. Artículos Especiales. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. México, D. F. <https://www.cimmyt.org/es/de-la-a-a-la-z-el-cimmyt-genera-maiz-y-trigo-nutritivo-desde-hace-50-anos/> (Junio 2016).
- CONAPO, Consejo Nacional de Población (2015) Datos de proyecciones. Estimaciones y proyecciones de la población por entidad federativa. Consejo Nacional de Población. Secretaría de Gobernación. México, D. F. http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos (Abril 2016).
- Darnton-Hill I. (2013) Administración de suplementos de zinc durante el embarazo. Fundamento biológico, conductual y contextual. Biblioteca electrónica de documentación científica sobre medidas nutricionales (eLENA). Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza. http://www.who.int/elena/bbc/zinc_pregnancy/es/ (Junio 2017).
- Espinosa C. A., N. Gómez M., M. Sierra M., E. Betanzos M. y F. Caballero H. (2006) ¿Por qué es importante mejorar la calidad proteínica del maíz? *Revista Ciencia* 57:22.
- Fernández S. R., L. A. Morales C. y A. Gálvez M. (2013) Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36:275-283.
- Funes J., C. González, S. Pérez, E. Birol, M. Moursi and M. Zeller (2015) A spatial perspective to introducing biofortified staple food crops in Colombia. In: 150th AEEA Seminar. European Association of Agricultural Economists. Edinburgh, Scotland. <http://ageconsearch.umn.edu/record/212674> (Junio 2017).
- García-Salazar J. A. y R. Ramírez-Jaspeado (2013) El tamaño de las unidades de producción de maíz (*Zea mays* L.): un desafío para elevar la tasa de utilización de semilla mejorada. *Agrociencia* 47:837-849.
- Gutiérrez J. P., J. Rivera-Dommarco, T. Shamah-Levy, S. Villalpando-Hernández, A. Franco, L. Cuevas-Nasu, M. Romero-Martínez y M. Hernández-Ávila (2012) Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012. Resultados Nacionales. Instituto Nacional de Salud pública. Cuernavaca, Morelos, México. 200 p.
- Hotz C. and K. H. Brown (2004) International Zinc Nutrition Consultative Group (IZiNCG) Technical Document No. 1. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. *Food and Nutrition Bulletin* 25:S94-S203.
- Hunt I. F., N. J. Murphy, P. M. Martner-Hewes, B. Faraji, M. E. Swendseid, R. D. Reynolds, A. Sanchez and A. Mejia (1987) Zinc, vitamin B-6, and other nutrients in pregnant women attending prenatal clinics in Mexico. *The American Journal of Clinical Nutrition* 46:563-569, doi: 10.1093/ajcn/46.4.563
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010) Censo de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes, México. <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/ccpv/2010/> (Enero 2016).
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016) Natalidad. Conjunto de datos: nacimientos. Información de 1985 a 2016. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes. http://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/continuas/natalidad/nacimientos.asp?s=est&c=23699&proy=nat_nac (Junio 2016).
- ICSEC, Instituto de Comunicación Social del Estado de Chiapas (2017) Entrega SECAM semillas mejoradas a productores de maíz de Venustiano Carranza. Instituto de Comunicación Social del Estado de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. <http://www.icosochiapas.gob.mx/2017/06/19/entrega-secam-semillas-mejoradas-a-productores-de-maiz-de-venustiano-carranza/> (Junio 2017).
- Latham M. C. (2002) Nutrición Humana en el Mundo en Desarrollo. Colección FAO: Alimentación y Nutrición N° 29. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 525 p.
- López D. (2014) El consumo de productos y subproductos de maíz en México. *Revista Enlace* 17:21-23.
- Mejía-Rodríguez F., T. Shamah-Levy, S. Villalpando, A. García-Guerra and H. I. Méndez-Gómez H. (2013) Iron, zinc, copper and magnesium deficiencies in Mexican adults from the National Health and Nutrition Survey 2006. *Salud Pública de México* 55:275-284.
- Miranda A., G. Vázquez-Carrillo, S. García-Lara, F. San Vicente, J. L. Torres, S. Ortiz-Islas, Y. Salinas-Moreno and N. Palacios-Rojas (2013) Influence of genotype and environmental adaptation into the maize grain quality traits for nixtamalization. *CyTA - Journal of Food* 11:54-61.
- Ortiz-Monasterio J. I., N. Palacios-Rojas, E. Meng, K. Pixley, R. Trethowan and R. J. Peña (2007) Enhancing the mineral and vitamin content of wheat and maize through plant breeding. *Journal of Cereal Science* 46:293-307.
- Palacios-Rojas N., S. Twumasi-Afriyie, D. Friesen, A. Teklewold, D. Wegary, H. de Groote, A. Rosales, L. Narro-León, A. Chassaingne, R. Padilla, E. A. Vargas-Escobar, K. López, C. Bowen y B. M. Prasanna (2017) Lineamientos para el control de calidad de semilla y grano de maíz de alta calidad proteica (QPM): experiencia en el desarrollo y promoción de QPM en Latinoamérica. Boletín Técnico. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Ciudad de México, México. 46 p.
- Quihui L., G. G. Morales, R. O. Méndez, J. G. Leyva, J. Esparza and M. E. Valencia (2010) Could giardiasis be a risk factor for low zinc status in schoolchildren from northwestern Mexico? A cross-sectional study with longitudinal follow-up. *BMC Public Health* 10:85, doi: 10.1186/1471-2458-10-85
- Rendón-Aguilar B., V. Aguilar-Rojas, M. C. Aragón-Martínez, J. F. Ávila-Castañeda, L. A. Bernal-Ramírez, D. Bravo-Avilé, G. Carrillo-Galván, A. Cornejo-Romero, E. Delgadillo-Durán, G. Hernández-Cárdenas, M. Hernández-Hernández, A. López-Arriaga, J. M. Sánchez-García, E. Vides-Borrell y R. Ortega-Packzca (2015) Diversidad de maíz en la sierra sur de Oaxaca, México: conocimiento y manejo tradicional. *Polibotánica* 39:151-174.
- Rosado J. L., H. Bourges y B. Saint-Martin (1995) Deficiencia de vitaminas y minerales en México. Una revisión crítica del estado de la información: I. Deficiencia de minerales. *Salud Pública de México* 37:130-139.
- Rosales A., E. Agama-Acevedo, L. A. Bello-Pérez, R. Gutiérrez-Dorado and N. Palacios-Rojas (2016) Effect of traditional and extrusion nixtamalization on carotenoid retention in tortillas made from provitamin A biofortified maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 64:8289-8295, doi: 10.1021/acs.jafc.6b02951
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2010) Retos y Oportunidades del Sistema Agroalimentario de México en los Próximos 20 años. SAGARPA. México, D. F. 282 p.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2015a) Informe de Evaluación de Impacto. Proyecto Estratégico de Producción de Maíz 2014. Secretaría de Desarrollo Rural Guerrero, SAGARPA. México, D.F. 30 p.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2015b) La SAGARPA entrega semilla y fertilizante a campesinos de la región Tula-Tepeji. Boletín de Prensa 022. 02 de marzo de 2015. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación Delegación Hidalgo. Tula, Hidalgo. 2 p.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2017) Sistema de Información Comercial del sector Agroalimentario SIC-Agro por producto y entidad federativa. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México. <https://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/comercio/Paginas/Comercio-Exterior.aspx> (Enero 2017).
- Saltzman A., E. Birol, H. E. Bouis, E. Boy, F. F. De Moura, Y. Islam and W. H. Pfeiffer (2013) Biofortification: progress toward a more nourishing future. *Global Food Security* 2:9-17.
- Sepúlveda J., F. Bustreo, R. Tapia, J. Rivera, R. Lozano, G. Oláiz, V. Paritida, L. García-García and J. L. Valdespino (2006) Improvement of child survival in Mexico: the diagonal approach. *The Lancet* 368:2017-2027.
- Shamah-Levy T., L. Cuevas-Nasu, V. Mundo-Rosas, C. Morales-Ruán, L. Cervantes-Turrubiates y S. Villalpando-Hernández (2008) Estado de salud y nutrición de los adultos mayores en México: resultados de una encuesta probabilística nacional. *Salud Pública de México*

50:383-389.

- SIAMI, Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (2017)** SIAMI4. Sistema de Información Arancelaria Vía Internet. Sistema de Información Arancelaria Vía Internet, Secretaría de Economía. Ciudad de México. <http://www.economia-snci.gob.mx/> (Febrero 2017).
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2017a)** Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA. Ciudad de México. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp (Marzo 2017).
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2017b)** Balanzas disponibilidad- consumo de productos agropecuarios seleccionados. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/siap/documentos/balanzas-disponibilidad-consumo-de-productos-agropecuarios-seleccionados-104471> (Marzo 2017).
- UNDP, United Nations Development Programme (1990)** Human Development Report 1990. Oxford University Press. New York, NY, USA. 189 p.
- WHO, World Health Organization (2013)** Global database on child growth and malnutrition. World Health Organization of the United Nations. Geneva, Switzerland. http://www.who.int/nutgrowthdb/database/countries/who_standards/mex_dat.pdf?ua=1 (Mayo 2016).
- WHO, World Health Organization (2014)** Global database on child growth and malnutrition. 2013 joint child malnutrition estimates. Levels and trends. World Health Organization. Geneva, Switzerland. <http://www.who.int/nutgrowthdb/estimates2013/en/> (Mayo 2016).

