

## Optimización espacial y temporal de la producción y comercialización del sorgo grano en México

Samuel Rebollar Rebollar, Juvencio Hernández Martínez, Eugenio Guzmán Soria

Universidad Autónoma del Estado de México, Universidad Autónoma del Estado de México,  
Instituto Tecnológico de Celaya

*srebollarr@uaemex.mx, jhmartinez1412@gmail.com, Eugenio.guzman@itcelaya.edu.mx*

### Resumen

Para generar recomendaciones sobre el mercado y almacenamiento del sorgo en México, se validó un modelo de programación no lineal espacial e intertemporal con datos de 2013. La producción, importaciones y consumo, óptimos, fueron 6.2, 2.3 y 8.4 millones de t y un Valor Social Neto (VSN) de 52,377.4 millones de pesos, 2.3 veces el nivel

observado en ese año. El abasto fue 8.1 millones de t, representado por Noroeste, Tamaulipas y Bajío. Tales regiones, además de la Laguna y Centro 1, presentaron exceso de demanda por almacenamiento. El VSN es un elemento de política, que debería considerarse para una eficiente comercialización del grano en México.

**Palabras clave:** distribución óptima, México, programación no lineal, sorgo grano.  
**JEL:** Q11

## Spatial and temporal optimization of production and marketing of sorghum grain in Mexico

### Abstract

To generate policy recommendations on the market, and storage of grain sorghum in Mexico, a model of spatial and temporal non-linear programming in 2013 was validated. The production, imports and consumption, optimal, were 6.2, 2.3 and 8.4 million tons, equivalent to Social Net Value (SNV) of 52,377.4 million, 2.3 times the level observed in that year. The

optimal supply stood at 8.1 million t, represented by Northwest, Tamaulipas and Bajío. Such regions, besides the Laguna and Central 1 showed excess demand for storage. The effects of SNV are a political element that should be considered for efficient marketing of sorghum grain in Mexico.

**Palabras clave:** Optimal distribution, Mexico, nonlinear programming, grain sorghum.  
**JEL:** Q11

## 1. Introducción

El sorgo grano es uno de los tres granos básicos de importancia pecuaria en México, después del maíz; se cultiva en casi la totalidad del país, excepto en Tlaxcala y Distrito Federal, con predominancia del ciclo primavera-verano (PV), en su modalidad de temporal, sobre el otoño-invierno (OI). En 2013, la producción nacional fue 6.3 millones de toneladas (t), representada por Tamaulipas (29.8 %), Guanajuato (27 %), Sinaloa (10.7 %) y Michoacán (9.7 %); de ese total, 40.2 % se obtuvo en el ciclo otoño-invierno, modalidad riego, donde Tamaulipas colaboró con 61 % del total de ese ciclo. El ciclo primavera-verano aportó 59.8 % al total nacional, liderado por el estado de Guanajuato (45.2 %), con predominancia de la modalidad temporal (52.8 %). Por meses, la mayor producción se obtuvo en junio (22 % del OI) y noviembre (23 % del PV) (SIAP, 2014).

En el mismo año, el consumo nacional (CNA) aparente y per cápita de México fueron 8.6 millones de t y 0.97 kilogramos (kg); del CNA, el 26.6 % se integró con importaciones y 73.4 % producción interna. México se considera como el primer importador de este grano en el mundo (FAO, 2014), pues del total mundial comercializado, este país, retira anualmente 36.8 %, le sigue Japón (24.7 %) (FAPRI, 2014).

Así, debido a la necesidad creciente de compras externas de sorgo, por parte de México parece necesario proponer un mecanismo que permita generar alternativas adicionales eficientes sobre cómo realizarlas, tanto en su forma espacial como temporal, para evitar altos costos de adquisición y comercialización. Hasta 1990, la Comisión Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO) comercializaba el sorgo nacional e importado a un precio igual o menor al de compra; sin embargo, la desaparición de esa paraestatal (diciembre de 1999) originó la necesidad de establecer mecanismos adecuados sobre cómo deberían realizarse las importaciones, considerando a la producción nacional, ello con el fin de resolver las ineficiencias en los procesos de comercialización y en la logística de movilización del grano que existen en

el país.

La primera ineficiencia, surge de realizar importaciones en meses de altos precios internacionales, la segunda, cuando las importaciones se realizan por puerto o frontera inadecuados, de acuerdo a la ubicación de los centros de consumo en México. Lo anterior origina un aumento en costos de transporte al elevar el precio del producto final, lo que afecta el ingreso de los consumidores del grano. En 2012, 38.9 % de las importaciones se realizaron por Nuevo Laredo, 24.6 % por el puerto de Veracruz y 13.8 % por Progreso, Yucatán (USITC, 2014; SAT, 2014); puntos de entrada que no son los más cercanos a la zona de consumo. Así, importaciones espaciales inadecuadas elevan costos de comercialización dado que un canal más largo aumenta costos de transporte, en consecuencia, implica pérdida de competitividad para el productor nacional.

En la distribución nacional del grano, se utiliza el medio de transporte más caro (García y Santiago, 2004); de acuerdo con ASERCA (Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria), el modo de transporte a utilizar depende de la distancia que se vaya a recorrer (Rebollar *et al.*, 2005). A distancias menores es preferible la utilización del camión y el ferrocarril a distancias mayores. Por ejemplo, en 2011 el costo de transporte de una tonelada de sorgo por camión fue, sensiblemente, mayor al costo por ferrocarril, pese a esto, el camión se utilizó más (García y Santiago, 2004; KCSM, 2014). Los autores antes mencionados, han realizado, de forma particular, investigaciones en las que aplicaron modelos de equilibrio espacial para resolver problemas económicos, relacionados con aspectos de distribución óptima de productos agrícolas.

Lo anterior, permitió generar las siguientes interrogantes: ¿cuál es el comportamiento de la producción y del consumo nacional bajo una situación óptima?, ¿cómo debería ser la distribución óptima tanto de producción, importaciones y consumo que maximice

el valor social neto?, ¿cómo debe ser el abasto y comercialización de sorgo grano en México para que el valor social neto sea el óptimo?

Estas interrogantes fueron el objetivo principal de esta investigación, que consistió en determinar la forma óptima de distribución, abasto y comercialización de la producción nacional, importaciones y consumo de sorgo en México. La hipótesis principal plantea que la forma actual de la distribución de la producción nacional importaciones, en espacio y tiempo, se hace de manera ineficiente, al no aprovechar estacionalidad de precios internacionales; ello aunado a que las importaciones se realizan en meses donde la producción nacional del grano presenta su volumen más alto.

### **3. Materiales y Método**

#### **3.1. El modelo**

Para evaluar la distribución óptima tanto de la producción, consumo e importaciones del sorgo grano en México, se utilizó un modelo de programación cuadrática, cuya función objetivo maximiza el Valor Social Neto (VSN). El VSN, es igual al área bajo las curvas de demanda menos el área bajo las curvas de oferta, menos el valor de las importaciones y menos los costos de comercialización que se consideraron en el modelo (costos de transporte y almacenamiento).

Otros elementos que no se consideraron en el trabajo pero que afectan el VSN se mencionan a continuación: los costos de industrialización del producto y los costos de transacción que podrían descontarse también del área bajo la curva de demanda. Asimismo cabe indicar que desplazadores importantes de la curva de demanda como cambios en el ingreso del consumidor de sorgo, cambios en el precio del maíz amarillo (bien sustituto en el consumo) y cambios en el inventario ganadero también afectan la magnitud del VSN del mercado del sorgo en México. Por otra parte, en el caso de la oferta, existen desplazadores que la afectan, ellos son los cambios en el precio medio rural de maíz (bien competitivo del sorgo en la producción), los movimientos en el

precio de los insumos (fertilizantes y mano de obra) y cambios en las condiciones climáticas (precipitación pluvial y disponibilidad de agua para riego).

En la actualidad el precio del maíz amarillo es, probablemente, uno de los elementos más importantes que afectan el VSN y que no fue contemplado en el análisis. El aumento de las importaciones de maíz amarillo ha ocasionado una disminución en el precio del sorgo grano y un aumento en su consumo, originando un desplazamiento de la función de demanda de sorgo y una sustitución por el maíz en dietas alimenticias que se utilizan en el sector pecuario; al respecto, Rebollar *et al.* (2005) analizaron la forma en que tal sustitución afectó el VSN del mercado del sorgo.

El modelo incorporó características espaciales e intertemporales y, supone que existen  $s$  regiones productoras y  $d$  regiones consumidoras que comercian un bien homogéneo, en este caso, el sorgo grano. Las regiones se separan pero no se aíslan por costos de transporte por tonelada y, tales costos son independientes del volumen, lo que implica inexistencia de economías de escala. El modelo consideró costos de transporte y almacenamiento y, para cada región se conocieron las funciones de oferta y demanda de sorgo en cada periodo.

Entre algunos trabajos empíricos que utilizan modelos similares a los de esta investigación, destacan los de Bivings (1997) quien analizó el efecto de la liberalización del mercado del sorgo en México, utilizando un modelo de equilibrio espacial e intertemporal. Rebollar *et al.* (2004), analizaron el efecto de políticas comerciales sobre el mercado del sorgo en México. García (1999) utilizó un modelo con características similares para la determinación de la demanda óptima de almacenamiento de maíz en México. Cabe destacar que estos tres autores sí consideraron el almacenamiento.

Kawaguchi *et al.*, (1997) analizaron los flujos comerciales de leche en Japón suponiendo diferentes estructuras de mercado. Crammer *et al.*, (1993) estudiaron

impactos de la liberación comercial entre Estados Unidos, México y Canadá sobre el mercado internacional del arroz. Wilson y Johnson (1995) analizaron efectos de cambios en las políticas del mercado sobre los flujos de comercio y precios en el sector norteamericano de la cebada maltera. Fuller *et al.*, (2000) discutieron efectos que tendría la liberación comercial del arroz entre México y Estados Unidos para el año 2003.

Así, con base en Takayama y Judge (1971), Bivings (1997) y suponiendo  $s(s=1,2\dots S=20)$  regiones productoras,  $d(d=1,2\dots D=20)$  regiones consumidoras,  $m(m=1,2\dots M=11)$  puertos y fronteras de entrada y  $t(t=1,2\dots T=12)$  periodos, el modelo de programación no lineal, en su representación matemática, se expresó en los siguientes términos:

$$\begin{aligned}
 MaxVSN = & \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{d=1}^D \left[ \lambda_{dt} y_{dt} + \frac{1}{2} \omega_{dt} y_{dt}^2 \right] - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{s=1}^S \left[ \nu_{st} x_{st} + \frac{1}{2} \eta_{st} x_{st}^2 \right] \\
 & - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{m=1}^M [p_{mt} x_{mt}] - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{s=1}^S \sum_{d=1}^D [p_{sdt}^c x_{sdt}^c + p_{sdt}^f x_{sdt}^f] \\
 & - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{s=1}^S \sum_{m=1}^M [p_{mdt}^c x_{mdt}^c + p_{mdt}^f x_{mdt}^f] - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{s=1}^S [p_{st,t+1} x_{st,t+1}] \\
 & - \sum_{t=1}^T \pi^{t-1} \sum_{m=1}^M [p_{mt,t+1} x_{mt,t+1}]
 \end{aligned} \tag{1}$$

donde:  $\pi^{t-1} = (1/1+i_t)^{t-1}$  = factor de descuento con  $i_t$  igual a la tasa de inflación en el mes  $t$ ;  $\lambda_{dt}$  = intercepto de la función de demanda en la región  $d$  en el mes  $t$ ;  $y_{dt}$  = cantidad consumida de sorgo en la región  $j$  en el mes  $t$ ;  $\omega_{dt}$  = pendiente de la función de demanda de sorgo en la región  $j$  en el mes  $t$ ;  $\nu_{st}$  = intercepto de la función de oferta en la región  $s$  en el mes  $t$ ;  $x_{st}$  = cantidad producida de sorgo en la región  $s$  en el mes  $t$ ;  $\eta_{st}$  = pendiente de la función de oferta de sorgo en la región  $s$  en el mes  $t$ ;  $p_{mt}$  = precio internacional del sorgo importado a través del puerto  $m$  en el mes  $t$ ;  $x_{mt}$  = cantidad importada de sorgo por el puerto  $m$  en el mes  $t$ ;  $p_{sdt}^c$  = costo de transporte de sorgo de

la región  $s$  a la región  $d$  por camión en el mes  $t$ ,  $x_{sdt}^c$  = cantidad de sorgo enviada de la región  $s$  a la región  $d$  por camión en el mes  $t$ ,  $p_{sdt}^f$  = costo de transporte de sorgo de la región  $s$  a la región  $d$  por ferrocarril en el mes  $t$ ,  $x_{sdt}^f$  = cantidad de sorgo enviada de la región  $s$  a la región  $d$  por ferrocarril en el mes  $t$ ,  $p_{mdt}^c$  = costo de transporte de sorgo del puerto o frontera  $m$  a la región  $d$  por camión en el mes  $t$ ,  $x_{mdt}^c$  = cantidad de sorgo enviada del puerto o frontera  $m$  a la región  $d$  por camión en el mes  $t$ ,  $p_{mdt}^f$  = costo de transporte de sorgo del puerto o frontera  $m$  a la región  $d$  por ferrocarril en el mes  $t$ ,  $x_{mdt}^f$  = cantidad de sorgo enviada del puerto o frontera  $m$  a la región  $d$  por ferrocarril en el mes  $t$ ,  $p_{st,t+1}$  = costo unitario de almacenamiento de sorgo en la región  $s$  del mes  $t$  al mes  $t+1$ ;  $x_{st,t+1}$  = cantidad de sorgo almacenado en la región  $s$  del mes  $t$  al mes  $t+1$ ;  $p_{mt,t+1}$  = costo unitario de almacenamiento en el puerto  $m$  del mes  $t$  al mes  $t+1$ ;  $x_{mt,t+1}$  = cantidad de sorgo almacenada en el puerto  $m$  del mes  $t$  al mes  $t+1$ ;

La función objetivo se sujetó a las siguientes restricciones:

$$x_{st} + x_{st-1,t} - x_{st,t+1} \geq \sum_{d=1}^D [x_{sdt}^c + x_{sdt}^f] \quad (2)$$

$$x_{mt} + x_{mt-1,t} - x_{mt,t+1} \geq \sum_{d=1}^D [x_{mdt}^c + x_{mdt}^f] \quad (3)$$

$$\sum_{s=1}^S [x_{sdt}^c + x_{sdt}^f] + \sum_{m=1}^M [x_{mdt}^c + x_{mdt}^f] \geq y_{dt} \quad (4)$$

$$x_t = \sum_{m=1}^M x_{mt} \quad (5)$$

$$x_{s12,13} = x_{s0,1} \quad (6)$$

y

$$y_{dt}, x_{st}, x_{mt}, x_{sdt}^c, x_{sdt}^f, \dots, x_{st,t+1}, x_{mt,t+1} \geq 0 \quad (7)$$

La función objetivo maximiza el VSN (ecuación 1), el cual es igual a la suma del área bajo las curvas de demanda, menos la suma de las áreas bajo las curvas de oferta, menos el valor de importaciones, menos costos de transporte y menos costos de almacenamiento.

La segunda restricción (ecuación 2) establece que la producción de sorgo en cada una de las regiones productoras  $s$  en el periodo  $t$ , más el nivel de inventarios almacenados en  $s$  del periodo  $t-1$  a  $t$ , menos el nivel de inventarios almacenados en  $s$  del periodo  $t$  al periodo  $t+1$ , deberá ser igual o mayor al total de envíos de sorgo por camión y ferrocarril de esta región productora a todas las regiones demandantes o consumidoras  $d$  en el periodo  $t$ .

La tercera restricción (ecuación 3) establece que el total de importaciones por el puerto  $m$  en el periodo  $t$ , más inventarios almacenados en  $m$  en el periodo  $t-1$ , menos los inventarios que se almacenarán en  $m$  del periodo  $t$  al periodo  $t+1$  de sorgo, deberán ser mayores o iguales al total de envíos de sorgo por camión y por ferrocarril de centros de entrada de las importaciones a diferentes regiones demandantes  $d$  en el periodo  $t$ .

La ecuación 4 establece que el total de envíos de sorgo por camión y por ferrocarril de zonas productoras  $s$  y de puertos y fronteras de entrada de importaciones  $m$  a todas las regiones consumidoras  $d$ , deberá ser mayor o igual a la cantidad total demandada en el periodo  $t$ .

La ecuación 5 establece que las importaciones totales del periodo  $t$  deberán ser iguales a la sumatoria de importaciones realizadas por los diferentes puertos y fronteras  $m$  en el periodo  $t$ .

La penúltima restricción (ecuación 6) establece que los inventarios almacenados de sorgo en la región productora  $s$  del mes 12 al mes 13, deberán ser iguales a los



inventarios almacenados en s del mes 0 al mes 1. Finalmente, la última restricción establece las condiciones de no negatividad del modelo.

Para evaluar la distribución óptima de la producción nacional, consumo e importaciones, primero se validó el modelo base de programación con datos observados en el periodo que va de mayo de 2012 a abril de 2013 (definido como año 2012/2013) y se realizó el contraste respectivo para determinar la diferencia entre el valor observado en ese año y el bienestar de la sociedad (medido a través del VSN).

Para realizar el análisis espacial el país se dividió en 20 regiones productoras y 20 regiones consumidoras, que fueron: 1) Península Norte (PNO): Baja California y Baja California Sur; 2) Sonora; 3) Chihuahua (CH); 4) Noroeste (NO): Sinaloa y Nayarit; 5) La Laguna (LG): Coahuila y Durango; 6) Centro Norte 1 (CN1): Nuevo León y San Luis Potosí; 7) Centro Norte 2 (CN2): Zacatecas y Aguascalientes; 8) Occidente (OC): Jalisco y Colima; 9) El Bajío (BA): Michoacán, Guanajuato y Querétaro; 10) Centro 1 (C1): Estado de México, Morelos y Distrito Federal; 11) Centro 2 (C2): Puebla, Tlaxcala e Hidalgo; 12) Sur (SU): Guerrero, Oaxaca y Chiapas; 13) Golfo (GO): Veracruz y Tabasco; 14) Península: Campeche, Yucatán y Quintana Roo; 15) Tamaulipas Norte: Nuevo Laredo, Guerrero, Mier, Miguel Alemán, Camargo, Gustavo Díaz Ordaz y Reynosa; 16) Tamaulipas Centro-Norte: Río Bravo, Valle Hermoso, Matamoros, San Fernando, Méndez, Cruillas y Burgos; 17) Tamaulipas Centro: Soto la Marina, Abasolo, Jiménez, Casas, Padilla, Güemez y Llera; 18) Tamaulipas Centro-Oeste: San Carlos, Villagrán, Mainero, Hidalgo, Ciudad Victoria, Jaumave, Miquihuana y San Nicolás; 19) Tamaulipas Suroeste: Xicontécatl, Gómez Farías, Ocampo, Bustamante, Palmillas y Nuevo Morelos y; 20) Tamaulipas Sureste: Antigua Morelos, El Mante, González, Aldama, Altamira, Tampico y Ciudad Madero. Se consideraron 11 puertos y fronteras de internación de importaciones de sorgo: Ciudad Juárez, Guaymas, Mexicali, Nogales, Nuevo Laredo, Piedras Negras, Reynosa, Veracruz, Progreso, Matamoros y Tuxpan. El

análisis temporal se realizó contemplando 12 meses del año en el ciclo de consumo 2013.

La solución al modelo, se obtuvo a través del procedimiento MINOS, diseñado para problemas de optimización con funciones no lineales, escrito en el lenguaje de programación GAMS (Brooke y Dendrick, 1992).

### **3.2. Datos**

Con base en Kawaguchi *et al.*, (1997), las funciones de oferta y demanda se estimaron al utilizar las elasticidades precio de cada una de ellas, precios al productor y consumidor, cantidades producidas y demandadas. Para estimar las funciones anteriores, se utilizaron elasticidades precio de la oferta y demanda reportadas por Bivings (1997), Sullivan *et al.* (1989) y las del FAPRI (2014).

La producción de sorgo por región y mes, se obtuvo de los avances de siembras y cosechas del SIAP (2014). Como precio al productor, se utilizó el precio medio rural por región y por mes proporcionado por el SIAP para el mismo periodo. El consumo regional mensual, se obtuvo con base en la metodología de García (1999) e información obtenida del SIAP (2012-2013). Para el precio al consumidor, se consideró la información sobre precios de indiferencia reportados por ASERCA (2012 y 2013) por mes.

El precio internacional del sorgo, consideró el Precio Libre a Bordo, FOB por sus siglas en inglés, y se obtuvo de la Comisión Internacional de Comercio de Estados Unidos (USITC, 2014; FAPRI, 2014; SNIIM, 2014). La tasa de cambio, el seguro y flete marítimo, los gastos portuarios o de cruce y los costos de almacenamiento se obtuvieron de ASERCA (2014). La información sobre costos de transporte por camión y ferrocarril, se generó al multiplicar la tarifa promedio (\$/t/km) por la distancia en kilómetros, de regiones productoras y puntos de entrada de las importaciones a regiones consumidoras, más un 25 % extra por concepto de retorno de la unidad vacía.

El costo de transporte por camión, se obtuvo de la Cámara Nacional de Auto transporte de Carga (CANACAR, 2014). El costo de transporte por ferrocarril se obtuvo de Kansas City Southern de México (2014), Ferromex (2014) y Ferrosur (2014).

#### **4. Resultados y discusión**

El modelo se validó con base a las variables de producción, consumo e importaciones por puerto y frontera. No se presenta una réplica sobre flujos comerciales interregionales y niveles de almacenamiento, dada la inexistencia de información acerca de estos indicadores.

La validación del modelo del sorgo en 2013 (Cuadro 1), indicó, que bajo condiciones óptimas, el modelo subestimó a la producción nacional en 4.2 %, esto es, la diferencia entre el nivel observado (6.4 millones de t) y el nivel dado por el modelo (6.2 millones de t) fue 271.9 miles t.

Por región, el modelo subestimó, en más de 10 %, la producción del grano de Chihuahua (14.2 %), Sonora (15.5 %) y Península Norte (PNO) (27.9 %) y, en menor porcentaje las regiones Noroeste (NO), Laguna (LG) y península (PE). En el resto de las regiones hubo sobreestimación y destacó la región sur (SU) con -16.9 %. Sin embargo, tales porcentajes no son significativos al considerar que el efecto sobre la producción total fue, relativamente, bajo (-4.2 %).

Para el consumo, los resultados del modelo validado, fueron mayores a 10 % con relación a los observados en el 2013. El valor social neto (VSN) fue 52,377 millones de pesos, cantidad que representó 2.3 veces el valor de la producción nacional de sorgo observada en ese año (22,812 millones de pesos), es decir, 43.6 % el VSN óptimo del año en estudio.

**Cuadro 1. Validación del modelo del sorgo en México, 2013.**

Optimización espacial y temporal de la producción y comercialización del sorgo grano en México

Región	Niveles observados, 2013	Modelo base (Validación)	Cambio	Cambio %
<b>Producción (t)</b>				
PNO	39,434	50,425	10,991	27.9
SO	47,797	55,204	7,407	15.5
CH	80,145	91,546	11,401	14.2
NE	696,731	737,427	40,696	5.8
LG	31,823	33,985	2,162	6.8
CN1	150,046	144,625	-5,421	-3.6
CN2	5,081	4,533	-548	-10.8
OC	436,728	430,672	-6,056	-1.4
BA	2,224,687	2,100,349	-124,338	-5.6
C1	129,470	110,028	-19,442	-15
C2	43,615	38,174	-5,441	-12.5
SU	148,247	123,218	-25,029	-16.9
GO	85,387	82,548	-2,839	-3.3
PE	9,169	9,658	489	5.3
TNO	575,360	523,865	-51,495	-9
TCN	966,605	887,578	-79,027	-8.2
TC	92,058	87,346	-4,712	-5.1
TCO	80,550	78,374	-2,176	-2.7
TSO	34,522	31,544	-2,978	-8.6
TSE	552,346	536,801	-15,545	-2.8
Nacional	6,429,800	6,157,900	-271,900	-4.2
<b>Consumo (t)</b>				
PNO	130,040	169,222	39,182	30.1
SO	333,081	431,172	98,091	29.4
CH	153,300	199,662	46,362	30.2
NE	407,002	539,547	132,545	32.6
LG	550,882	725,361	174,479	31.7
CN1	311,291	411,208	99,917	32.1
CN2	360,165	473,009	112,844	31.3
OC	1,217,793	1,597,730	379,937	31.2
BA	626,194	826,883	200,689	32
C1	203,187	267,427	64,240	31.6
C2	609,065	799,166	190,101	31.2
SU	451,478	594,794	143,316	31.7
GO	693,251	910,403	217,152	31.3
PE	268,249	346,097	77,848	29
TNO	28,275	37,479	9,204	32.6
TCN	46,664	61,761	15,097	32.4
TC	5,288	6,997	1,709	32.3
TCO	4,746	6,280	1,534	32.3
TSO	2,620	3,468	848	32.4
TSE	27,129	35,937	8,808	32.5
Nacional	6,429,700	8,443,603	2,013,903	31.3
<b>Importaciones (t)</b>				
Golfo	1,030,200	1,807,707	777,507	75.5
Frontera	1,236,300	481,693	-754,607	-61
Pacífico	22,900	0		
Nacional	2,289,400	2,289,400	0	0
Valor Social Neto (millones de pesos)			52,377	

Fuente: elaboración propia con información de resultados del modelo base

Con relación al abasto y distribución óptima de sorgo en México, el Cuadro 2, permite observar la forma en que cada una de las regiones consumidoras debe abastecer, en su caso, debió haber abastecido, su consumo total, ya sea con producción de la misma

región y/o producción procedente de otras regiones del país e importaciones por puerto y/o frontera.

Así, el modelo base indicó que para poder obtener el valor social neto óptimo (VSN), la región Península Norte (PNO), integrada por Baja California y Baja California Sur, abastece en 29.5 % su consumo total con producción local y, la diferencia con importaciones que se internan por Mexicali, sin realizar envíos a ninguna otra región del país. Sonora, debió abastecerse en 8.7 % de su consumo con producción local, recepciones de la región noroeste (NO) (36.8 %) e importaciones que se internan por Nogales. Asimismo, deberá realizar envíos del grano a Sonora por 4,000 t.

Chihuahua (CH), no requiere realizar envíos de sorgo a otras regiones, pues la producción local se consume en la misma región, requiere recepciones en 42.5 % de tres regiones tamaulipecas e importaciones (40 %) que entran por Ciudad Juárez. Por su parte, el consumo total de la región del Bajío (Querétaro, Guanajuato y Michoacán) (BA), abastece su consumo total en 16 % con producción de la misma región, 84 % con recepciones del sureste de Tamaulipas y no requiere importaciones. Sin embargo, como una estrategia de maximización del VSN, parte de su producción debe enviarla hacia la Laguna (LG) (Coahuila y Durango), CN1 (Zacatecas y Aguascalientes) y CN2 (San Luis Potosí y Nuevo León).

La región norte de Tamaulipas (TNO), quien es superavitaria en producción del grano, abastece su consumo en 67.3 % con producción local y en 32.7 % con importaciones que se internan por Matamoros. Sus excedentes se envían hacia regiones de CH, LG, CN1, CN2, C1, C2, TC, TCO y TSE. De forma similar, la maximización del valor social neto (VSN), indica que el consumo total (66.9 miles t) de la región centro norte de Tamaulipas (TCN), deberá abastecerse en 100 % con producción de la misma región y enviar el excedente hacia regiones como CH, LG,

Optimización espacial y temporal de la producción y comercialización del sorgo grano en México

CN1, OC (Jalisco y Colima), C1 (Estado de México, Distrito Federal y Morelos), C2 (Puebla, Tlaxcala e Hidalgo), TCN, TC y TSO.

La región GO (Veracruz y Tabasco), debe abastecer su consumo total (1,782.8 miles t) en 99.9 % con importaciones que se internan por el puerto de Veracruz (VE) y el resto con producción de la misma región; a su vez, debe enviar, parte de su producción hacia la región de la Península (Campeche, Yucatán y Quintana Roo). Finalmente, algunas regiones no aparecen debido a que fueron rutas que no se activaron por el modelo.

**Cuadro 2. Matriz de abasto y comercialización del mercado del sorgo en México, 2013.**

Región	PNO	SO	CH	NO	LG	CN1	CN2	OC	BA	C1
Producción nacional										
PNO	49,885	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SO	0	54,664	0	0	0	0	0	0	0	0
CH	0	0	40,498	0	0	0	0	0	0	0
NO	0	230,685	0	507,043	0	0	0	0	0	0
LG	0	0	0	0	33,446	0	0	0	0	0
CN1	0	0	0	0	0	72,280	26,557	0	0	0
CN2	0	0	0	0	0	0	3,993	0	0	0
OC	0	0	0	0	0	0	0	30,293	0	0
BA	0	0	0	0	232,370	68,388	197,309	0	54,896	0
C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	47,472
TNO	0	0	16,586	0	140,653	69,495	127,428	0	0	22,155
TCN	0	0	50,801	0	177,998	103,489	0	241,299	0	44,341
TC	0	0	0	0	0	0	57,053	0	0	0
TCO	0	0	0	0	0	0	78,374	0	0	0
TSO	0	0	0	0	26,943	0	0	0	0	0
TSE	0	0	0	0	0	58,271	63,025	0	288,080	44,807
Importaciones										
CJ	0	0	50,719	0	0	0	0	0	0	0
ME	119,337	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NG	0	340,933	0	65,010	0	0	0	0	0	0
NL	0	0	0	126,839	0	131,541	0	0	0	0
VE	0	0	0	0	0	64,462	0	0	0	0
Total	169,222	626,282	158,604	698,892	611,410	567,926	553,739	271,592	342,976	158,775

La producción doméstica e importaciones del grano que el país realiza, deben almacenarse con el fin de cumplir, tanto con un programa de inventarios y de reserva para asegurar el abasto y distribución, hacia el territorio nacional, durante todo el año (Bivings, 1997; García y Santiago, 2004; Rebollar *et al.*, 2006).

**Continuación...Cuadro 2**

Región	C2	SU	GO	PE	TNO	TCN	TC	TCO	TSO	TSE
Producción Nacional										
C1	17,788	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	20,421	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SU	52,317	0	0	14,234	0	0	0	0	0	0
GO	0	0	1,993	62,564	0	0	0	0	0	0
PE	0	0	0	9,658	0	0	0	0	0	0
TNO	111,059	0	0	0	18,960	0	1,692	2,086	0	12,093
TCN	22,581	0	0	0	0	66,908	4,077	1,549	0	0
TSO	12	0	0	0	0	0	588	0	2,317	0
TSE	21,369	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Importaciones										
VE	1,046,536	98,671	1,780,838	394,306	0	0	0	0	0	35,502
PG	0	0	0	86,254	0	0	0	0	0	0
MA	0	0	0	0	9,215	0	0	0	0	0
Total	1,292,083	98,671	1,782,831	567,016	28,175	66,908	6,357	3,635	2,317	47,595

Fuente: elaboración propia, con base en información de flujos comerciales óptimos por camión y ferrocarril, de zonas productoras y puntos de internación, a zonas consumidoras, obtenida del modelo base.

La información del Cuadro 3, se considera como oferta de almacenamiento, en general, de sorgo grano en México (FIRCO, 2014; ASERCA, 2014b), aunque también se considera para asegurar el abasto del resto de los granos nacionales (FIRCO, 2014), misma que se utilizó para excesos de demanda en regiones productoras de sorgo en el 2013.

**Cuadro 3. Capacidad instalada de almacenamiento de granos, por región, en México. 2013**  
 Cifras en toneladas.

Región	Volumen (t)	Región	Volumen (t)
PNO	1,313,480	C2	823,396
SO	4,139,341	SU	775,491
CH	2,149,814	GO	523,140
NO	7,152,377	PE	467,810
LG	888,260	TNO	1,213,314
CN1	312,950	TCN	1,941,302
CN2	662,460	TC	242,663
OC	3,952,074	TCO	194,130
BA	5,260,930	TSO	145,598
C1	477,190	TSE	1,164,781
Total		33,800,500	

Fuente: FIRCO, 2014; ASERCA, 2014.

El buen manejo del grano, constituye uno de los aspectos fundamentales en el contexto general de la conservación y movilización del producto agrícola (FIRCO, 2014). La racionalización de tiempos y lugares del almacenamiento del grano y, en consecuencia de movilizaciones necesarias para garantizar el abasto continuo a centros de consumo, configura la fórmula adecuada para abatir costos de operación de los básicos alimenticios. Además de la producción y capacidad del almacenamiento, deben tomarse en cuenta otros factores como polos de la cadena producción-consumo que configuran oferta y demanda de granos y oleaginosas, ya que de dichos componentes depende la localización y condiciones del almacenamiento y transporte requerido.

La capacidad instalada mensual y anual en todas las regiones de México, excepto en todo Tamaulipas, es suficiente para almacenar 100 % del sorgo grano que un programa de inventarios requiere. La situación es crítica en todas las regiones de Tamaulipas, además de la región de la Laguna durante enero a abril, la región CN1 en marzo y abril, el BA en diciembre, enero y febrero y, el C1 de enero a marzo (Cuadro 4), regiones donde la demanda por almacenamiento óptima, supera la capacidad instalada actual.

En general, Tamaulipas no tiene infraestructura suficiente para almacenar el grano que un programa requiere. El resto de las regiones del país, tiene capacidad de almacenamiento necesaria para almacenar sorgo grano durante todo el año. Al respecto, Rebollar et al. (2004) y Rebollar et al. (2006), concluyeron que la región centro norte de Tamaulipas y el resto del país, no presentaron problemas para almacenar el sorgo grano durante todo el año y para ese periodo, resultados que contrastan con los encontrados en este trabajo, producto de que la situación nacional de infraestructura en almacenamiento, ha sido cambiante a los largo del tiempo. Estos resultados, hacen evidente los problemas de insuficiencia de capacidad instalada para el almacenaje, movilización y control de calidad de granos, en zonas productoras y consumidoras, lo que impacta, desfavorablemente, en la seguridad alimentaria nacional y limita la eficiencia de la comercialización.



**Cuadro 4. Capacidad instalada menos demanda por almacenamiento, 2013. Cifras en toneladas.**

Región	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Anual
PNO	91.8	106.5	109.5	109.4	109.5	109.1	109.5	101.6	98.5	93.7	93.7	93.7	1,226.50
SO	327.3	344.9	344.9	344.9	344.9	344.9	344.9	344.9	344.9	344.9	305.8	327.3	4,065.00
CH	161.5	179	179.2	179.2	179.2	179.2	179.2	132	148.2	148.2	145.7	161.5	1,971.80
NO	459.1	413.6	446.8	438.7	495.8	552.7	595.7	592.4	596	596	559.5	583.9	6,330.50
LG	56.4	0	0	0	0	0	0	0	-16.2	-16.3	-23.2	-17.6	-16.9
CN1	-7.3	26.1	26.1	22.1	26.1	26.1	26.1	19.4	26.1	0.6	-3.4	-3.4	184.5
CN2	37.6	42.1	55.2	42.1	42.1	42.1	42	41.7	38.1	37.6	37.6	37.6	495.9
OC	308	329.3	329.3	329.3	329.3	329.3	329.3	232.9	141.8	67.6	44.3	175.6	2,946.20
BA	414.9	438.4	438.4	438.4	438.4	438.4	438.4	-50.6	-	-54.7	27.1	255.2	3,066.20
C1	22.2	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	39.8	-36.8	-34.9	-22.2	0	206.6
C2	51	63.1	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6	68.6	30.8	30.6	30.6	686.5
SU	30.7	54.9	50.7	64.3	64.6	64.6	64.6	63.9	56.3	20.9	5.2	3.9	544.7
GO	-3.7	-1.1	26.3	34.9	19.7	17.7	17.2	10.7	6.8	3	2.6	2.6	136.7
PE	14.9	7.6	16	16	15.3	15.3	15.3	15.3	15.3	15.1	15.1	15.1	176.4
TNO	-	-	-	-320.8	-193.3	-109.6	-105.7	-195.2	-	-266.6	-	-273	-
TCN	280.5	496.8	397.5	-683.4	-494.3	-279.6	-203.6	-350.8	238.2	-461.3	271.3	-	3,148.50
TC	467.7	970.6	902.3	-74.5	-74.8	-55.9	-26	-40.9	419.9	-52.8	463.1	461.2	6,157.90
TCO	-55.2	-	-	-74.5	-74.8	-55.9	-26	-40.9	-48.2	-52.8	-53.6	-53.9	-752.4
TSO	-51.9	-61.6	-66.2	-67.7	-45.8	-25.5	-25.9	-39.2	-45.8	-49.8	-50.5	-50.8	-580.8
TSE	-26.8	-44.6	-46.2	-46	-45.9	-45	-17.9	-23	-25.4	-26.8	-26.8	-26.6	-401
TSE	-	-	-304	-224.6	-141.2	-89.3	-91.6	-183.1	-	-255.5	-	-	-
Nacional	269.9	457.7	-	-	-	-	-	-	227.7	260.2	262.5	262.5	2,767.20
Nacional	812.5	-92.8	303.7	710.7	1,178.00	1,623.10	1,800.10	780.4	326.2	139.8	93.1	538.1	8,212.90

El signo (+) indica exceso de capacidad instalada y el signo (-) indica exceso de demanda por almacenamiento.

Fuente: elaboración propia.

## 5. Conclusiones

A nivel nacional y para el año de análisis, la maximización del valor social neto, proveniente del modelo óptimo, permite evidenciar la existencia de una redistribución ineficiente, tanto de la producción nacional, importaciones y consumo del sorgo grano, pues de continuar en la situación actual, el país estaría dejando de percibir recursos por no llevar a cabo tal política. Por el lado del abasto, son pocas las regiones en México que son excedentarias en producción, por lo que la recomendación de abasto y comercialización hacia aquellas que son deficitarias, se hace manifiesta en los resultados. En adición, se evidencia la insuficiencia de infraestructura de almacenamiento del grano en la región productora más importante de México, del ciclo OI, que es Tamaulipas, elementos que deben de considerarse en una política de

incentivos para la disminución de estas carencias, que promuevan la eficiencia en la comercialización del sorgo grano, de esa entidad hacia otras regiones del país.

**Agradecimientos:** los resultados de este manuscrito, son producto del proyecto de investigación, con financiamiento: Modelo de optimización espacial y temporal de la comercialización del sorgo grano (*Sorghum vulgare pers.*) en México, 2013. UAEM 3702/2014/CID.

## 6. Referencias

- ASERCA (Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria). (2014a). Boletín de precios de indiferencia, años 2012 y 2013. México, D. F.
- ASERCA (Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria). (2014b). Centros de Acopio. En: <http://www.aserca.gob.mx/comercializacion/acopio/Paginas/default.aspx>. Consulta el 19 de agosto de 2014.
- ASERCA (Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria). (1997). *Claridades Agropecuarias*, Vol 46, pp 3-36.
- Bivings, E. (1997). The seasonal and spatial dimensions of sorghum market liberalization in Mexico. *American Journal of Agricultural Economics*, 79, pp. 383-393. doi: 10.2307/1244137.
- Brooke, A. and Dendrick, D. (1992). GAMS. A User's Guide. The International Bank for Reconstruction and Development/the World Bank.
- CANACAR (Cámara Nacional de Auto transporte de Carga). (2014). Referencia de costos Mínimos para el auto transporte de carga en general. México, D. F.
- CNA (Consejo Nacional Agropecuario). (2008). Estadísticas Básicas del Sector Agropecuario. México, D. F.
- Crammer, G., Wailes, E., and Shui, S. (1993). Impacts of liberalization trade in the world rice market, *American Journal of Agricultural Economics*, 75, pp. 219-226. doi: 10.2307/1242970.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2014). Base de datos estadísticos de producción y comercio. En: <http://faostat.fao.org/site/535/DesktopDefault.aspx?PageID=535#ancor>. Consulta el 30 de octubre de 2014.
- Fuller, S., Fellin, L. and Salin, V. (2000). Effect of liberalized U.S. – Mexico rice trade: a spatial multiproduct equilibrium analysis. Department of Agricultural Economics, Texas A & M University. College Station, Texas.
- FAPRI (Food and Agricultural Policy Research Institute). (2014). Grains. En: [www.fapri.iastate.edu/outlook/2014/tables/2-grains.pdf](http://www.fapri.iastate.edu/outlook/2014/tables/2-grains.pdf). Consulta el 13 de Agosto de 2014.
- FERROMEX (Ferrocarriles mexicanos). (2014). Tarifa de servicios diversos. Cobros y cuotas vigentes 2014. En: <http://www.ferromex.com.mx/>. Consulta el 10 de octubre de 2014.
- FERROSUR (Ferrocarril del sur). (2014). Ajustes a tarifas de carga 2014. En: <http://www.ferrosur.com.mx/gxpsites/hgxpp001.aspx>. Consulta el 20 de octubre de 2014.
- FIRCO (Fideicomiso de Riesgo Compartido). (2014). Almacenaje, movilización y control. En: <http://www.firco.gob.mx/saladeprensa/boletines/paginas/2010-B018.aspx>. Consulta el 25 de agosto de 2014.
- García, J. A. y Santiago, M de J. (2004). Importaciones de maíz en México: un análisis espacial y temporal. *Investigación Económica*, 43(250), pp. 131-160.
- García, J. A. (1999). Distribución espacial e intertemporal de la producción de maíz en México. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México.
- Kawaguchi, T., Susuki, N., and Kaiser M. (1997). A Spatial equilibrium model for imperfectly competitive milk markets. *American Journal of Agricultural Economics*, 79, pp. 851-859. doi: 10.4236/me.2011.22014

- KCSM (Kansas City Southern de México). (2014). Factores de cobro para el servicio de carga regular. En: [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGTfM/Tarifas\\_Ferrovias/Carga/01\\_KCSM/KCSM1-12-FEB-2014.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGTfM/Tarifas_Ferrovias/Carga/01_KCSM/KCSM1-12-FEB-2014.pdf). Consulta el 19 de agosto 2014.
- Rebollar, S., García, J. A., Martínez, M. A., Salas, J. M. (2004). Evaluación de la política comercial sobre el mercado del sorgo en México, 2000. *Agrociencia*, 38(2), pp. 249-260.
- Rebollar, S., García, J. A., Rodríguez, G. (2005). Efecto de la política cambiaria sobre el mercado del sorgo en México. *Comercio Exterior*, 55(5), pp. 394-401.
- Rebollar, S., García, J. A., Rodríguez, G. (2006). Análisis espacial e intertemporal sobre el almacenamiento del sorgo en México. *Ciencia Ergo Sum*, 12(3), pp. 245-254.
- Takayama, T. and Judge, G. (1971). *Spatial and Temporal Price and Allocation Models*. North-Holland, Publishing Company. Amsterdam, Holland. North-Holland Publishing Company Amsterdam.
- SAT (Sistema de Administración Tributaria). (2014). Datos de comercio exterior de granos. En: [www.sat.gob.mx](http://www.sat.gob.mx). Consulta el 20 de agosto de 2014.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2014). Estacionalidad de la producción. En: <http://www.siap.gob.mx/estacionalidad-de-la-produccion/>. Consulta el 30 de octubre de 2014.
- SNIIM (Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados). (2014). En: <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>. Consulta el 10 de octubre de 2014.
- Sullivan, J., Wainio, J. and Roningen, V. (1989). *A Database for Trade Liberalization Studies*. Unites States Department of Agriculture. Washington, D.C. Economic Research Service. Agriculture and Trade Analysis Division.
- USITC (United States International Trade Commission). (2014). Department of Commerce and the International Trade Commission. En: [Usitc.gov/scripts/REPORT.asp](http://Usitc.gov/scripts/REPORT.asp). Consulta el 8 de febrero de 2014.

Wilson, W. and Johnson, D. (1995). North American malting barley trade: impacts of differences in quality and marketing costs. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 43(3), pp. 335-353. doi: 10.1111/j.1744-7976.1995.tb00127.x.