

## DEMANDAS DE INSUMOS DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN MÉXICO, 1975-2011

### Agricultural production input demands in Mexico, 1975-2011

A Terrones-Cordero ✉, Y Sánchez-Torres

(ATC) Licenciatura en Economía. Instituto de Ciencias Económico Administrativas. UAEH. Ciudad Universitaria, Carretera a Tulancingo, Km. 4.5, Pachuca 42185 Hidalgo, México. aterrones68@hotmail.com

(YST) Especialidad en Economía. ISEI. Colegio de Postgraduados. Estado de México, México. yolandast@colpos.mx

**Artículo recibido:** 5 de mayo de 2008, **aceptado:** 27 de marzo de 2010

**RESUMEN.** En la presente investigación se aplicó una función de costo translog para derivar un sistema de ocho demandas de insumos (trabajo, tractores, trilladoras, crédito de la banca comercial y de desarrollo, fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos), empleando la serie de tiempo 1975-2006 con el objetivo de determinar la composición y comportamiento de la producción agrícola en México. Para ello, se emplearon precios y cantidades de los insumos y el Producto Interno Bruto (PIB) agrícola a precios de 1994, como producto. En el modelo se impusieron las restricciones de simetría y homogeneidad y se estimó empleando sistema de ecuaciones aparentemente no relacionadas. Se calcularon las elasticidades de sustitución parcial Allen-Uzawa entre pares de insumos, resultando ser demandas inelásticas. Los insumos complementarios fueron: trabajo y tractores, crédito de la banca de desarrollo y fertilizantes fosfatados; mientras que el trabajo y crédito de la banca comercial, tractores y trilladoras, crédito de la banca de desarrollo y crédito de la banca comercial fueron sustitutos. El trabajo y el crédito representaron el 91 % de la estructura de costos. El crédito de la banca de desarrollo presentó relación directa con la producción, pero en la actualidad es insuficiente para impulsar el desarrollo agrícola; se necesita que las bancas comercial y de desarrollo aumenten sus créditos en un 2.32 % y 0.22 %, respectivamente, para 2009.

**Palabras clave:** Producción, sistemas de demandas, función de costo translog, insumos, elasticidades.

**ABSTRACT.** A translog cost function was applied in this study to derive a system of eight input demands (labour, tractors, threshing machines, commercial and development bank credits, and nitrogen, phosphate and potash fertilisers), employing the time series 1975-2006 in order to determine the composition and behaviour of agricultural production in Mexico. The prices and input quantities and the agricultural Gross Domestic Product (GDP) of 1994 were used as output. Restrictions of symmetry and homogeneity were placed on the model, and the estimation was carried out using a system of apparently non-related equations. The Allen-Uzawa partial substitution elasticities between pairs of inputs were calculated, resulting in non-elastic demands. The complimentary inputs included labour and tractors, development bank credit and phosphate fertilisers, while the substitute inputs included labour and commercial bank credit, tractors and threshing machines, development bank credit and commercial bank credit. Labour and credit represented 91 % of the cost structure. The development bank credit was directly related to production, although at present it is insufficient to provide an impulse for agricultural development. It is necessary that the commercial and development banks increase their credits by 2.32 % and 0.22 % respectively in 2009.

**Key words:** Production, demand systems, translog cost function, inputs, elasticities.

## INTRODUCCIÓN

Históricamente, la actividad agropecuaria ha desempeñado un papel importante en el crecimiento económico de México al proveer de alimentos,

materias primas, capital y mano de obra al sector industrial y servicios, así como la consolidación del mercado interno para los productos de estos sectores económicos. Por ello, la determinación del uso de insumos o factores de la producción es funda-

mental al incidir directamente sobre los niveles de producción del sector agropecuario.

El análisis de la estructura productiva agrícola, en algunos países, ha sido mediante la determinación de sus sistemas de demandas de insumos, realizando diferentes trabajos empíricos. Yotopoulos *et al.* (1976) emplearon una función de costo translog, derivando y estimando funciones de demandas de insumos y oferta de producto en la agricultura de Taiwán, utilizando el trabajo, la tracción animal y mecánica, los fertilizantes y tierra como insumos y el PIB agrícola como variable producto. Los autores concluyeron que: a) el trabajo representó el 40 % del costo total de producción, b) el trabajo, la tracción mecánica y animal y los fertilizantes presentaron una respuesta inelástica en cuanto a su utilización y c) el trabajo y tracción animal, trabajo y tracción mecánica, trabajo y fertilizantes, tracción animal y tracción mecánica, tracción animal y fertilizantes, tracción mecánica y fertilizantes resultaron ser pares de insumos complementarios. Sidhu & Baanante (1981) estimaron las demandas de insumos y oferta de trigo a nivel finca, en Punjab India, emplearon una función de beneficio translog, con los insumos trabajo, fertilizante químico y tracción animal, y como producto la producción de trigo. Concluyeron que: a) el aumento de capital en la finca, en forma de implementos y maquinaria, disminuía significativamente la demanda de tracción animal, b) la expansión de riego aumentaba la demanda de trabajo y fertilizantes y c) el aumento en la educación de las familias que trabajan la finca incrementaba la demanda de fertilizantes y la oferta de trabajo. López & Tung (1982) utilizaron una función de costo Leontieff generalizada en la agricultura canadiense, para generar un sistema de seis demandas de los siguientes insumos: energía, fertilizantes y pesticidas, trabajo, capital, tierra e insumos intermedios; usaron como producto el PIB agrícola. Estos autores determinaron que: a) el trabajo era el mejor sustituto de la energía, seguido por la tierra y la semilla, b) la energía presentó complementariedad con fertilizantes-pesticidas y c) la escala de producción tuvo efectos significativos en la reducción de los costos de producción. Weaver (1983), en un sistema multi-producto y multi-insumo estudió la estructura

productiva en la región triguera de los Estados Unidos, con una función de costo translog estimó cinco demandas de insumos: trabajo, fertilizantes, combustible, materiales y servicios al capital; consideró los productos: trigo, centeno, cebada, avena, maíz, heno, girasol y pecuarios. Obtuvo los siguientes resultados: a) un incremento en el precio esperado del trigo ocasionaba una expansión en el uso de trabajo, fertilizantes, servicios al capital, así como un incremento en los productos, b) las demandas para fertilizantes y servicios al capital fueron inelásticas, c) la demanda para productos del petróleo resultó ser inelástica, d) el capital y el trabajo presentaron una relación de complementariedad y e) un incremento en el precio de los insumos propició una disminución en los productos y en el uso de los insumos.

Para el caso de México, Omaña-Silvestre (1999) empleó una función de costo translog estimando un sistema de demandas de insumos en la producción de maíz a nivel regional, para los insumos: fertilizantes, pesticidas, semilla, tierra, trabajo, tracción mecánica y animal, riego por gravedad y otros; como variable producto usó la producción de maíz. Encontró que: a) la tracción (mecánica y animal) y la tierra eran los insumos más significativos dentro del costo total, representando el 20.19 % y 20.03 %, respectivamente, b) un aumento en el nivel de producción requería mayor uso de fertilizantes, pero menor empleo de tierra, c) los fertilizantes eran sustitutos con tierra, trabajo, tracción, semilla, pesticidas y riego por gravedad, pero presentaban complementariedad con el crédito y d) el trabajo se sustituía con pesticidas y se complementaba con tracción, riego por gravedad y crédito.

Existen otros estudios que muestran una forma diferente de estimación de la función de costos a través de la aplicación de métodos Bayesianos (Terrell 1996; Griffiths *et al.* 2000). En el estudio particular de Griffiths *et al.* (2000) estimaron un sistema de ecuaciones cuadráticas de costos para el sector agropecuario de Australia, aplicando la aproximación Bayesiana en combinación con el uso de los métodos de simulación Markov Chain Monte Carlo (MCMC) para los insumos tierra, capital y otros insumos. Obtuvieron como resultados la estimación de los parámetros, la predicción de las participacio-

nes de los insumos, así como la estimación de los eigenvalores y las elasticidades precio y cruzadas de la demanda.

En esta investigación se utilizó una función de costo translog integrada por ocho insumos: trabajo, tractores, trilladoras, crédito de la banca comercial y de desarrollo fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos y, como producto, el PIB agrícola, a efecto de generar un sistema de demandas de insumos y dar respuesta a interrogantes como: ¿Qué importancia tienen los insumos en la actividad agrícola? ¿Qué insumos son complementarios o sustitutos en la producción? ¿Cómo se comporta la demanda de crédito ante la tendencia de precios de insumos?

Para dar respuesta a las anteriores interrogantes se plantearon los siguientes objetivos: derivar y determinar el sistema de ocho demandas en la producción agrícola de México, en el periodo 1975-2006; calcular las elasticidades propias y cruzadas de las demandas, así como las elasticidades de sustitución parcial Allen-Uzawa y; determinar las variaciones en demandas de crédito debido a cambios en la relación de precios de insumos. La hipótesis de trabajo fue que la inversión, vía crédito, es un factor decisivo en la producción agrícola ante demandas de insumos inelásticas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de datos y fuentes de información

Para el diseño de la función de costo translog se consideró una serie de tiempo de 32 años entre 1975-2006 (INEGI 1990; 2007). La variable producto se formó con datos del PIB agrícola anual (agricultura, ganadería, silvicultura y pesca). En trabajo, se usó el número de jornales empleados y la remuneración media anual por jornal. En cuanto al crédito descontado tanto por la banca comercial como la de desarrollo, se consideraron los montos habilitados por cada una de éstas y las tasas de interés aplicadas. Para los tres tipos de fertilizantes, se tomó la cantidad, en toneladas, de fertilizantes aplicadas y el precio por tonelada. En relación a la mecanización, se consideró el número de tractores y cosechadoras-trilladoras utilizadas y el precio por unidad (FAO 2007).

Los valores se convirtieron a reales, utilizando el Índice Nacional de Precios al Consumidor, base 1994. El costo de los diferentes insumos se calculó multiplicando la cantidad por su precio. Como los tractores y las trilladoras no se consumen totalmente en un año, se determinó el 10 % del valor de los insumos como gasto anual.

### La función de costo translog

La determinación y estimación de una función de costos resulta relevante para el análisis de la tecnología con lo que operan los sectores de la economía. Una empresa maximizadora de beneficios debe ser al mismo tiempo eficiente en relación a sus costos, es decir, debe operar con costos medios mínimos, así como también ofrecer la combinación óptima de productos. En el caso de una función de producción, la correspondiente función de costo translog se expresa como (Christensen *et al.* 1973; O'Donnell & Woodland 1995):

$$\ln C = \ln \alpha_0 + \alpha_y \ln y + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln w_i + \frac{1}{2} \beta_{yy} (\ln y)^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \ln w_i \ln w_j + \beta_{iy} \ln y \ln w_i \quad (1)$$

para todo  $i \neq j$  e  $i, j = 1, 2, \dots, n$

Donde  $C$  es el costo total de producción;  $y$  es el producto total;  $w_i$  es el precio del insumo  $i$ ;  $\ln$  denota el logaritmo natural; y  $\alpha_0, \alpha_y, \alpha_i, \beta_{ij}, \beta_{iy}$  y  $\beta_{yy}$  son los parámetros a estimar.

Por el lema de Shephard, la derivada parcial de la función de costo con respecto a precios de los insumos, produce las participaciones de estas con relación al costo total (Baanante & Sidhu 1980). Estas ecuaciones de participación de insumos, en la función de costo translog, se expresan como:

$$\frac{\partial \ln C}{\partial \ln w_i} = S_i = \alpha_i + \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \ln w_j + \beta_{iy} \ln y \quad (2)$$

para todo  $i, j = 1, 2, \dots, n$

Donde  $S_i$  es la participación del costo del insumo  $i$  en relación al costo total, o la función de demanda

del insumo  $i$ . Las participaciones de costos de los insumos suman la unidad, es decir  $\sum_{i=1}^n S_i = 1$ . El cumplimiento de esta condición implica que sólo se tienen  $n - 1$  participaciones linealmente independientes. De ahí que, para evitar problemas de singularidad, el sistema consiste de  $n - 1$  ecuaciones de participaciones. Los supuestos considerados fueron: i) Homogeneidad lineal en precios de los insumos. Esta se define de la siguiente manera:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \quad \sum_{i=1}^n \beta_{ij} = 0, \quad \sum_{j=1}^n \beta_{ij} = 0 \quad (3)$$

- ii) Simetría:  $\beta_{ij} = \beta_{ji}$ , donde  $i \neq j$ .  
 iii) Mercado de competencia perfecta. Es decir, los productores son tomadores de precios.  
 iv) Los errores son aditivos, con esperanza cero y varianza finita para cada una de las  $S_i$ .

Las restricciones de homogeneidad y simetría tienen importantes implicaciones econométricas, ya que no sólo contribuyen a elevar la eficiencia de la estimación, sino que permite reducir el número de parámetros a estimar sin pérdida de información (Pindyck & Rubinfeld 1981).

### El modelo empleado

En la construcción del modelo usado, se tomó en cuenta cantidades y precios de los ocho insumos y, como producto, se consideró el PIB agrícola a precios de 1994. Así, el modelo se constituyó de ocho ecuaciones de participación de insumos, donde se excluyó la participación de los fertilizantes potásicos ( $S_p$ ). Aunque cualquiera de las ocho ecuaciones pudo ser excluida, puesto que los parámetros de la ecuación eliminada fueron obtenidos de manera residual vía la restricción de homogeneidad. Desarrollando la ecuación (2), el modelo se expresa como:

$$S_i = \alpha_{im} + \beta_{im} \ln w_m + \beta_{it} \ln w_t + \beta_{id} \ln w_d + \beta_{ic} \ln w_c + \beta_{ib} \ln w_b + \beta_{in} \ln w_n + \beta_{if} \ln w_f + \beta_{iy} \ln y + e_i \quad (4)$$

Donde:  $S_i$  es la participación del insumo  $i$  dentro del costo total (variables endógenas);  $w_j$  es el precio del insumo  $j$  (variables exógenas);  $\ln$  es logaritmo natural;  $y$  es el PIB agrícola (variable exógena);  $\alpha_i$ ,  $\beta_{ij}$

son los parámetros a estimar;  $e_i$  son los errores de estimación. Para  $i, j = m$  (trabajo),  $t$  (tractores),  $d$  (trilladoras),  $c$  (crédito de la banca comercial),  $b$  (crédito de la banca de desarrollo),  $n$  (fertilizantes nitrogenados) y  $f$  (fertilizantes fosfatados); donde  $i \neq j$ .

### Cálculo de elasticidades

Una vez estimados los  $\beta_{ij}$  y las  $S_i$ , se calcularon las elasticidades de sustitución parcial Allen-Uzawa y las elasticidades propias y cruzadas de las demandas de insumos:

Elasticidad de sustitución parcial Allen-Uzawa  $\sigma_{ij}$ , mide el cambio en la demanda del  $i$ -ésimo insumo ante un cambio en el precio del  $j$ -ésimo insumo, manteniendo los precios de los otros insumos y del producto constante. Las fórmulas aplicadas fueron (Weaver 1983):

$$\sigma_{ii} = \frac{\beta_{ii}}{(S_i)^2} + 1 - \frac{1}{S_i} \quad \text{y} \quad \sigma_{ij} = 1 + \frac{\beta_{ij}}{S_i S_j} \quad (5)$$

para  $i \neq j$ , donde  $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$

Si  $\sigma_{ij} > (<) 0$ , entonces los insumos  $i$  y  $j$  son sustitutos (complementarios).

Elasticidad propia ( $n_{ii}$ ) y cruzada de la demanda ( $n_{ij}$ ), mide la respuesta de la demanda del  $i$ -ésimo insumo ante cambio del precio del  $j$ -ésimo insumo, manteniendo los precios de los otros insumos y producto constante. Estas se calcularon como (Chung 1994; Pope & Just 1998):

$$n_{ii} = \sigma_{ii} S_i \quad n_{ij} = \sigma_{ij} S_j \quad (6)$$

para  $i \neq j$

Si  $|n_{ii}| > (<) 0$ , entonces el insumo  $i$  es elástico (inelástico).

Si  $n_{ij} < (>) 0$ , entonces los insumos  $i$  y  $j$  son complementarios (sustitutos).

### Simulación del modelo

En la determinación del comportamiento de las demandas, debido a la tendencia en la relación de precios y cantidades, se proyectaron los precios

**Tabla 1.** Parámetros restringidos estimados de la función de costo translog para la producción agrícola, 1975-2006.  
**Table 1.** Restricted parameters estimated from the translog cost function for agricultural production, 1975-2006.

$S_i^{\S}$	Variables independientes <sup>†</sup>									$R^2$
	$W_m$	$W_t$	$W_d$	$W_c$	$W_b$	$W_n$	$W_f$	$W_p$	$Y_i^{\perp}$	
$S_t$	-0.0242	0.027	0.0013	-0.0003	-0.0044	0.0011	-0.001	0.0005	-0.0266	0.8
		-14.78	-4.12	(-0.21)	(-3.73)	-0.9	(-1.65)		(-3.45)	
$S_d$	-0.0009	0.0013	0.0015	-0.001	-0.0002	-0.0004	-0.0002	-0.0002	-0.0022	0.7
			-10.08	(-3.38)	(-0.77)	(-1.67)	(-1.05)		(-1.53)	
$S_c$	-0.0988	-0.0003	-0.001	0.1133	-0.0125	-0.0016	0.0007	0.0001	-0.0821	0.93
				-22.54	(-3.54)	(-0.65)	-0.74		(-2.64)	
$S_b$	-0.0432	-0.0044	-0.0002	-0.0125	0.0671	-0.0043	-0.0015	-0.0009	0.0172	0.87
					-15.81	(-1.98)	(-1.65)		(-0.38)	
$S_n$	-0.0374	0.0011	-0.0004	-0.0016	-0.0043	0.0434	-0.0006	-0.0002	0.0681	0.84
						-17.29	(-0.62)		-4.05	
$S_f$	-0.0061	-0.001	-0.0002	0.0007	-0.0015	-0.0006	0.0091	-0.0003	-0.0096	0.78
							-10.5		-2.77	
$S_p$	-0.0019	0.0005	-0.0002	0.0001	-0.0009	-0.0002	-0.0003	0.003	-0.0042	

Los subíndices  $m, t, d, c, b, n, f$  y  $p$  se refieren a los insumos trabajo, tractores, trilladoras, crédito de la banca comercial, crédito de la banca de desarrollo, fertilizantes nitrogenado, fertilizantes fosfatado y fertilizantes potásico, respectivamente, que fueron considerados.

<sup>†</sup> Son los precios de los insumos considerados.

<sup>⊥</sup> Es el coeficiente producto.

<sup>§</sup> Son las funciones de las demandas de insumos consideradas.

de los insumos ( $w_i$ ) y del PIB agrícola hasta el 2011. Esto consistió en proyectar los logaritmos naturales de los precios de los ocho insumos y del PIB agrícola, con base en la serie histórica 1975-2006, para cuatro años más (2007-2011). Una vez obtenidas las proyecciones, se procedió al cálculo de la demanda para cada uno de los insumos, con base en la siguiente fórmula:

$$S_i = \alpha_i + \sum_{j=1}^8 \beta_{ij} \ln w_j + \beta_{iy} \ln y \quad (7)$$

con  $i, j = m, t, d, c, b, n, f, p$ .

Donde:  $\alpha_i, \beta_{ij}, \beta_{iy}$  son los parámetros restringidos por homogeneidad y simetría estimados por el modelo, se tomaron en cuenta los mismos debido a que estos representan el promedio de los 32 años;  $\ln w_j$  es el logaritmo natural de la proyección del precio del insumo  $j$ ;  $\ln y$  es el logaritmo natural del PIB agrícola con base en la proyección;  $S_i$  es la participación del costo del insumo  $i$  en el costo total. El sistema de ecuaciones de participación de insumos fue estimado por el método Zellner (1971) de ecuaciones aparentemente no relacionadas.

## RESULTADOS

### Significancia estadística

Los coeficientes de determinación de las siete ecuaciones de las demandas de insumos se muestran en la Tabla 1. Como se puede observar, todas las ecuaciones presentaron  $R^2$  superiores al 69%. Para la prueba t, se tomaron los niveles de significancia del 5% y 10% con 26 grados de libertad, los valores críticos fueron  $t_{0,05} = 1.960$  y  $t_{0,10} = 1.645$ , respectivamente.

Considerando las razones t (cifras entre paréntesis), de los 28 coeficientes  $\beta_{ij}$  estimados, 18 resultaron significativos estadísticamente con un nivel de confianza del 95% y tres más al 90%.

### Escala de producción agrícola

Esta fue analizada por medio del coeficiente producto del modelo estimado (Tabla 1). En el caso de la función de demanda de mano de obra, la producción agrícola aumentó 1% al aumentar la fuerza de trabajo en 0.039%, a niveles dados de precios de los insumos, mostrando la baja productividad del trabajo igual que los fertilizantes nitrogenados, al

**Tabla 2.** Elasticidades precio propias y cruzadas de insumos estimadas, 1975-2006.

**Table 2.** Estimated cross and personal price elasticities of inputs, 1975-2006.

Insumos <sup>⊥</sup>	Variables independientes <sup>†</sup>							
	$W_m$	$W_t$	$W_d$	$W_c$	$W_b$	$W_n$	$W_f$	$W_p$
$S_m$	-0.0632	-0.0171	-0.0003	0.0639	0.0375	-0.0194	-0.0018	0.0004
$S_t$	-0.3506	0.0315	0.0509	0.2331	-0.0493	0.0909	-0.0295	0.0229
$S_d$	-0.0985	0.9718	0.0014	-0.4438	-0.0096	-0.2561	-0.1237	-0.1353
$S_c$	0.1447	0.0258	-0.0026	-0.2909	0.0647	0.0418	0.0125	0.0041
$S_b$	0.178	-0.0114	-0.0001	0.1356	-0.3057	0.0118	-0.0038	-0.0044
$S_n$	-0.221	0.0505	-0.0075	0.2097	0.02823	-0.0564	-0.0027	-0.0009
$S_f$	-0.1042	-0.0845	-0.0186	0.3228	-0.047	-0.0142	-0.026	-0.0284
$S_p$	0.0519	0.1624	-0.0502	0.2619	-0.1331	-0.0113	-0.0701	0.0068

Los subíndices  $m, t, d, c, b, n, f$  y  $p$  se refieren a los insumos trabajo, tractores, trilladoras, crédito de la banca comercial, crédito de la banca de desarrollo, fertilizantes nitrogenado, fertilizantes fosfatado y fertilizantes potásico, respectivamente, que fueron considerados.

† Son los precios de los insumos considerados.

⊥ Son las funciones de las demandas de los insumos consideradas.

requerir un aumento del 0.068 % para lograr un aumento en la producción del 1 %. Por otro lado, un aumento del 0.017 % en el otorgamiento de recursos por parte de la banca de desarrollo originó un incremento del 1 % en el nivel del producto, resultando cierto el supuesto de que la inversión vía crédito favorece la producción.

### Elasticidades propias y cruzadas de las demandas de insumos y sus implicaciones

La Tabla 2 presenta las elasticidades propias, y cruzadas de las demandas de insumos. De las 64 elasticidades calculadas, ocho fueron propias y 56 cruzadas. Los valores de las ocho propias resultaron ser menores a la unidad, en términos absolutos, indicando que los ocho insumos son inelásticos.

En el caso particular del trabajo, se obtuvo una elasticidad propia de -0.063 lo que implicó poca respuesta de la demanda de este insumo ante variaciones en su precio. Las elasticidades propias calculadas para tractores (0.031), trilladoras (0.001) y fertilizantes potásicos (0.0068) resultaron ser inelásticas, con una relación directa entre precio y cantidad demandada, atribuible a su importación necesaria, teniendo que comprarlos aunque el precio aumente. En relación a las elasticidades propias de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados fueron elásticos; aunque mayormente sensibles los primeros (-0.0564), esto como resultado de la agricultura tra-

dicional existente en México.

De los ocho insumos considerados en este estudio, el crédito de la banca de desarrollo fue el menos inelástico (-0.305), es decir, su demanda presentó mayor sensibilidad a las variaciones en su precio.

Las elasticidades cruzadas (Tabla 2) indicaron el grado de complementariedad o sustitución de los diferentes pares de insumos, las obtenidas para los insumos considerados son muy pequeñas (menores a la unidad); sin embargo, este tipo de relaciones se profundizan al obtener las elasticidades de sustitución parcial Allen-Uzawa.

### Relaciones de complementariedad o sustitución entre pares de insumos.

Las elasticidades de sustitución parcial Allen-Uzawa calculadas para todos los pares de insumos (Tabla 3) presentaron el mismo signo que las elasticidades cruzadas anteriores, la diferencia radicó en que las primeras registraron valores más grandes.

El modelo arrojó una relación de complementariedad del trabajo con tractores, cosechadoras-trilladoras, fertilizantes nitrogenados y fertilizantes fosfatados, en cambio, se sustituyeron con fertilizantes potásicos, crédito de la banca de desarrollo y crédito de la banca comercial. La relación de complementariedad entre la mano de obra y lo que se puede determinar cómo mecanización (tractores y trilladoras) en México, indicó que aún existe gran



**Tabla 3.** Determinación de elasticidades de sustitución parciales Allen-Uzawa (restricción de simetría impuesta).

**Table 3.** Determination of the Allen-Uzawa partial substitution elasticities (imposed symmetry restriction).

Insumos <sup>⊥</sup>	Variables independientes <sup>†</sup>							
	$W_m$	$W_t$	$W_d$	$W_c$	$W_b$	$W_n$	$W_f$	$W_p$
$S_m$	-0.1147	-0.6365	-0.1788	0.2627	0.3232	-0.4011	-0.1892	0.0943
$S_t$	-0.6365	1.1746	36.1364	0.9585	-0.4252	1.8763	-3.1426	6.0375
$S_d$	-0.1788	36.1364	0.9688	-1.8248	-0.083	-5.2872	-13.1837	-35.6219
$S_c$	0.2627	0.9585	-1.8248	-1.1958	0.5574	0.8622	1.3273	1.0768
$S_b$	0.3232	-0.4252	-0.083	0.5574	-2.6351	0.2434	-0.4051	-1.1478
$S_n$	-0.4011	1.8763	-5.2872	0.8622	0.2434	-1.1638	-0.293	-0.2328
$S_f$	-0.1892	-3.1426	-13.1837	1.3273	-0.4051	-0.293	-2.771	-7.4661
$S_p$	0.0943	6.0375	-35.6219	1.0768	-1.1478	-0.2328	-7.4661	1.7847

Los subíndices  $m, t, d, c, b, n, f$  y  $p$  se refieren a los insumos trabajo, tractores, trilladoras, crédito de la banca comercial, crédito de la banca de desarrollo, fertilizantes nitrogenado, fertilizantes fosfatado y fertilizantes potásico, respectivamente, que fueron considerados.

<sup>†</sup> Son los precios de los insumos considerados.

<sup>⊥</sup> Son las funciones de las demandas de los insumos consideradas.

cantidad de la población que se dedica a las actividades agrícolas laborando en fincas muy pequeñas que no permiten el uso intensivo de maquinaria agrícola. Por otro lado, el trabajo presentó mayor grado de sustitución con el crédito otorgado por la banca de desarrollo y comercial (0.323 y 0.262, respectivamente), es decir, una mayor disposición de recursos crediticios provocaría que el productor estuviera en la posibilidad de adquirir maquinaria y equipo para modernizar sus prácticas agrícolas, y con ello aumentar la productividad en el campo.

Los tractores presentaron sustitución con las trilladoras, fertilizantes nitrogenados, fertilizantes potásicos, y crédito de la banca comercial. La sustitución entre tractores y trilladoras indicó que los productores que emplean maquinaria se ven en la necesidad de utilizar más tractores para realizar prácticas de cultivo y sacrifican trilladoras en la cosecha mecánica, actividad realizada predominantemente de manera manual; esto explica el alto porcentaje que representa el costo del trabajo en la producción. La sustitución de tractores con fertilizantes nitrogenados y potásicos indicó que estos insumos son relativamente caros dentro de la estructura de costos, por lo que los productores tienen que elegir entre mecanización o uso de fertilizantes.

Los tractores mostraron complementariedad con el crédito de la banca de desarrollo y los fer-

tilizantes fosfatados. En el caso de los tractores y fertilizantes fosfatados, se observó que este tipo de fertilizantes es usado en unidades de producción con un grado de modernización mayor, donde el sistema de producción requiere tanto de tecnificación (uso de tractores) como de la aplicación de fertilizantes.

El crédito de la banca de desarrollo fue complementario con tractores, trilladoras, fertilizantes fosfatados y potásicos, es decir, el otorgamiento de recursos crediticios a productores promueve la adquisición y uso de insumos (maquinaria y fertilizantes) en la producción agrícola. La sustitución entre las dos instituciones crediticias reflejó la diferenciación de criterios en cuanto a la asignación de recursos, cuya política la determina el Gobierno Federal, ya que el resultado obtenido establece que la competencia se da en la selección del sujeto de crédito por parte de dichas instituciones, otorgando preferentemente crédito la banca comercial a productores con capacidad de mayor pago.

### Participación de costos de insumos en la producción agrícola

La participación de costos de los insumos en el costo total, o demandas de insumos de la producción, fue importante porque reflejó la determinación que tiene cada uno de ellos en la actividad agrícola. La Tabla 4 presenta dichas participaciones estima-

**Tabla 4.** Demandas de insumos basadas en la proyección del modelo, 2006-2011.

**Table 4.** Input demands based on the projection of the model, 2006-2011.

$S_i^s$	Años						
	1975-2006	2006	2007	2008	2009	2010	2011
$S_m$	0.5508477	0.60057	0.4011693	0.3920836	0.3830242	0.3739622	0.36487712
$S_t$	0.0268947	0.025089	0.03135718	0.0316298	0.0319005	0.03216798	0.03244073
$S_d$	0.0014092	0.0007961	0.00270634	0.0027852	0.0028638	0.00294237	0.00302121
$S_c$	0.2432337	0.31753	0.39939617	0.4088661	0.4183274	0.42778743	0.43725726
$S_b$	0.1160014	0.01162	0.12044398	0.1207173	0.1209797	0.12124917	0.12152263
$S_n$	0.0484313	0.03436	0.03655196	0.0358331	0.035111	0.03438828	0.03366947
$S_f$	0.0093843	0.004626	0.00354734	0.0031939	0.0028392	0.00248525	0.00213094
$S_p$	0.0037977	0.0054089	0.00482773	0.004891	0.0049543	0.00501732	0.00508064

Los subíndices  $m, t, d, c, b, n, f$  y  $p$  se refieren a los insumos trabajo, tractores, trilladoras, crédito de la banca comercial, crédito de la banca de desarrollo, fertilizantes nitrogenado, fertilizantes fosfatado y fertilizantes potásico, respectivamente, que fueron considerados.

† Son las funciones de las demandas de los insumos consideradas.

das por la función de costo translog aplicada al modelo, para el periodo 1975-2006. Los resultados mostraron la gran relevancia que tiene el trabajo dentro de la estructura de costos, registrando un valor promedio de 55.08 %, seguido del crédito de la banca comercial (24.32 %) y de desarrollo (11.60 %). En total, estos tres insumos representaron el 91 % del costo que implica producir en el sector agrícola.

### Predicción de las demandas de insumos

Analizando las participaciones o demandas de insumos en la producción agrícola para el 2006, se observó que la más importante de ellas resultó ser el trabajo (60.06 %), seguido por el crédito de la banca comercial (31.75 %), los fertilizantes nitrogenados (3.44 %) y tractores (2.51 %). Lo que confirma una vez más, la tipología de la producción agrícola en el país de baja tecnificación y dependiente de recursos crediticios.

En relación a la proyección en el periodo 2007-2011, se observó como los insumos trabajo y fertilizantes nitrogenados y fosfatados muestran una tendencia decreciente en cuanto a su participación en la producción, mientras que el resto de los insumos presentaron una tendencia creciente. Así, para el año 2009, las demandas de trilladoras, crédito de la banca comercial, fertilizantes potásicos, tractores y crédito de la banca de desarrollo crecieron 2.82 %, 2.31 %, 1.29 %, 0.86 % y 0.22 %, respectivamente, en relación a 2008. En cambio, los fertilizantes fosfa-

tados, el trabajo y fertilizantes nitrogenados disminuyeron 11.11 %, 2.31 % y 2.02 %, respectivamente (Tabla 4). Lo anterior es lógico en el sentido de que a mayores recursos financieros y mejor tecnología, menor uso de insumos tradicionales como el trabajo.

De acuerdo a la estructura de la demanda de insumos, para el 2008 se requiere que la banca comercial aumente su crédito en 2.37 % (\$ 1 704 685 756.18 pesos reales). Por su parte, la banca de desarrollo debe aumentar su crédito en 0.23 % (\$ 52 046 097.26 pesos reales). En conjunto, el sistema bancario mexicano (banca comercial y de desarrollo) deberá incrementar los recursos vía crédito a los productores agrícolas por un monto de \$ 1 756 731 853.44 pesos reales para el 2008, con la finalidad de continuar impulsando el campo y ante la tendencia de una mayor participación de la banca comercial.

De manera similar, para el año 2009, la banca comercial debe aumentar su crédito en 2.32 % (\$ 1 708 270 631.20) y la banca de desarrollo en un 0.22 % (\$ 49 897 724.88), teniendo así, que el sistema bancario mexicano debe incrementar recursos vía crédito a los productores agrícolas por un monto de \$ 1 758 168 356.08 pesos reales para el 2009.

En contraparte, el trabajo, en 2009, registró una disminución de 2.31 %, lo que significó 91 563 trabajadores menos en el sector, para un total de 3 872 212 empleados agrícolas en México.

Es importante señalar que las proyecciones



ocurrirán siempre y cuando cada uno de los insumos se mueva en la dirección y proporción que establece el modelo, en caso contrario la discrepancia entre lo proyectado y lo real puede ser muy grande.

En el caso particular del crédito para que se tenga una mayor disponibilidad de recursos crediticios, por parte de la banca comercial y de desarrollo, se requiere del reembolso en el plazo pactado con dichas instituciones, incluyendo la tasa de interés, es decir, cada peso de crédito asignado al sector agrícola deberá ser devuelto para poder ser reasignado e incrementado al siguiente año, buscando con ello capitalizar al campo mexicano.

## DISCUSIÓN

Dentro de los aspectos que se pueden destacar de la estimación del sistema de demandas de los ocho insumos considerados (trabajo, tractores, trilladoras, crédito de la banca comercial y de desarrollo, fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos) de la función de costo translog para la producción agrícola en México, se tiene que todos los insumos son inelásticos. Las elasticidades propias son similares a las obtenidas por López (1980) en la agricultura canadiense dentro de un rango de -0.280 a -0.464 al igual que las de Griffiths *et al.* (2000) entre -0.053 a -0.647 para la agricultura australiana.

Los insumos menos sensibles a las variaciones en sus precios resultaron ser el trabajo, los fertilizantes nitrogenados y los fosfatados. La elasticidad propia del trabajo (-0.063), fue menor a las obtenidas por Binswanger (1974) de -0.911 y López (1980) de -0.517, para la agricultura de Estados Unidos y Canadá, respectivamente. La poca respuesta que presentó la demanda de trabajo ante variaciones en su precio, en la producción agrícola de México, muestra el exceso de trabajo que se dedica a esta actividad, con niveles de sueldos bajos; situación contraria a la que existe en la agricultura norteamericana, donde la respuesta de la demanda es casi proporcional a la variación en su precio.

La elasticidad propia de los fertilizantes fosfatados (-0.026), fue menos sensible a la registrada por López (1980) para la agricultura canadiense en el año 1977 (0.391). Ello, porque su demanda, al

igual que los fertilizantes nitrogenados, forma parte de una agricultura tradicional en México y en consecuencia, la baja respuesta ante variaciones en sus precios.

En cuanto a la elasticidad propia del crédito de la banca de desarrollo fue la más sensible, resultado similar a la obtenida por Omaña-Silvestre (1999) de -0.405, lo que implica que para el caso de México, una pequeña variación en la tasa de interés provoca una mayor o menor afluencia considerable de recursos crediticios al campo.

En relación a las elasticidades de sustitución parcial Allen-Uzawa, la complementariedad entre trabajo y mecanización (tractores y trilladoras) coincidieron con el resultado obtenido por Omaña (1999) de -2.798, a diferencia de López (1980) quien encontró un alto grado de sustitución entre este par de insumos (1.7799) atribuible a la disminución que registró la agricultura canadiense en mano de obra y al aumento en el tamaño de fincas, propiciando con ello un incremento en el uso de maquinaria.

La relación de complementariedad del trabajo con los tractores, trilladoras, fertilizantes fosfatados y nitrogenados, así como la sustitución con los fertilizantes potásicos y el crédito de la banca de desarrollo y comercial, además de otras relaciones entre pares de insumos permiten caracterizar, a gran parte de la agricultura mexicana, como altamente fragmentada, extensiva, tradicional, de baja productividad y dependiente de la asignación de recursos crediticios al sector agrícola también señalado por Calva (1997).

La proyección de las demandas de insumos proporciona la participación que debería tener cada uno de estas en los diferentes años, de ahí que los resultados dependerán en gran medida del comportamiento que vayan teniendo cada una de ellas y podrá corroborarse al ser comparadas las proyecciones con los datos reales. Lo que se puede inferir, de la simulación del modelo, es que la asignación de recursos crediticios a la producción agrícola, a través del tiempo, determinará en forma directa el grado de tecnificación del campo. Salinas-Callejas (1995) concluyó que un aumento en la disponibilidad de crédito contribuye a un mayor uso de maquinaria en el campo mexicano. De igual manera, permite infe-

rir sobre la relación funcional de complementariedad entre el crédito y el uso de fertilizantes nitrogena-

dos y fosfatados, como fue obtenida por Omaña-Silvestre (1999).

## LITERATURA CITADA

- Baanante CA, Sidhu SS (1980) Impact substitution and agricultural research. *Indian Journal of Agricultural Economic* 35: 20-33.
- Binswanger H (1974) The measurement of technical change biases with many factors of production. *The American Economic Review* 64: 964-976.
- Calva JL (1997) *El campo mexicano: Ajuste neoliberal y alternativas*. Juan Pablos Editor. México. 230 pp.
- Christensen LR, Jorgenson DW, Lau LJ (1973) Transcendental logarithmic production frontiers. *The Review of Economics and Statistics* 55: 28-45.
- Chung JW (1994) *Utility and production functions, theory and applications*. Backwell Publisher. Oxford and U.K. Cambridge USA. 325 pp.
- FAO (2007) *FAO Statistical Databases & Data-sets*. <http://www.faostat.org>. (Consulta: 20/08/2007).
- Griffiths WE, O'Donnell CJ, Tan CA (2000) Imposing Regularity Conditions on System of Cost and Factor Share Equations. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 44: 107-127.
- INEGI (1990). *Sistema de Cuentas Nacionales de México, Cuentas de Bienes y Servicios*. Tomo I. 460 pp. <http://www.inegi.gob.mx>. (Consulta: 17/09/2007).
- INEGI (2007). *Sistema de Cuentas Nacionales de México, Cuentas de Bienes y Servicios*. Tomo I. 465 pp. <http://www.inegi.gob.mx>. (Consulta: 28/09/2007).
- López RE (1980) The structure of production and the derived demand for inputs in Canadian agriculture. *American Journal of Agricultural Economics* 62: 38-45.
- López RE, Tung FL (1982) Energy and non-energy input substitution possibilities and output scale effects in Canadian agriculture. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 30: 115-132.
- O'Donnell CJ, Woodland AD (1995) Estimation of Australian wool and lamb production technologies under uncertainty: an error-components approach. *American Journal of Agricultural Economics* 77: 552-565.
- Omaña-Silvestre JM (1999) *La producción de maíz en México, un análisis de su estructura interna de producción*. C. P. ISEI. Tesis. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 132 pp.
- Pindyck R, Rubinfeld D (1981) *Econometric Model and Economic Forecasts*. Mc Graw Hill, USA. 280 pp.
- Pope RD, Just RE (1998) Cost function estimation under risk aversion. *American Journal of Agricultural Economics* 80: 288-295.
- Salinas-Callejas E (1995) El financiamiento del sector agropecuario en México, 1988-1994. *Comercio Exterior* 45: 34-41.
- Shidu SS, Baanante CA (1981) Estimating farm-level input demand and wheat supply in the Indian Punjab using a translog profit function. *American Journal of Agricultural Economics* 62: 237-246.
- Terrell D (1996) Incorporating monotonicity and concavity conditions in flexible functional forms. *Journal of Applied Econometrics* 2: 179-194.
- Weaver RD (1983) Multiple input, multiple output production choices and technology in the U.S. wheat region. *American Journal of Agricultural Economics* 65: 45-56.

Yotopoulos PA, Lau LJ, Lin WL (1976) Microeconomic output supply and factor demand function in the agriculture of the province of Taiwan. *American Journal of Agricultural Economics* 58: 333-340.

Zellner A (1971) *An Introduction to Bayesian Inference in Econometrics*. Wiley Classics Library. New York. 425 pp.

