Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.6 Núm.4 16 de mayo - 29 de junio, 2015 p. 841-854

Medición del esfuerzo tecnológico necesario para aumentar el rendimiento de productos agropecuarios en México*

Measurement of technological effort necessary to increase the yield of agricultural products in Mexico

José de Jesús Brambila Paz[1§], Miguel Ángel Martínez Damían[1], María Magdalena Rojas Rojas[1] y Verónica Pérez Cerecedo[1]

[1]Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 36.5. C. P. 56230. Montecillo, Estado de México, México. Tel: 5959520200, ext. 1838. (angel01@colpos.mx; mrojasr@colpos.mx; verónica_cerecedo@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: jbrambilaa@colpos.mx.

Resumen

La demanda por alimentos aumentará a nivel mundial básicamente porque la población seguirá creciendo hasta alcanzar 9 mil millones de personas en 2050 y los precios de los alimentos tienden a bajar en el largo plazo. Además, la producción de alimentos estará sujeta a nuevas restricciones: la frontera agrícola y los hatos ganaderos se deben reducir así como su impacto ecológico y el uso de agua debe ser eficiente. El objetivo fue comparar la tendencia dinámica de los rendimientos de productos agropecuarios seleccionados para México con el rendimiento que sería necesario en el 2025 para satisfacer la demanda de alimentos sin aumentar la frontera agrícola ni el hato ganadero, manteniendo constante la relación importación/consumo y exportación/producción. La tendencia dinámica de los rendimientos se estimó con ecuaciones en diferencia de segundo orden, lineales, no homogéneas y con equilibrio móvil. El rendimiento y la producción necesaria para el 2025 se estimó mediante una ecuación exponencial de demanda expresada en tasas de crecimiento continuas ajustándola con las proporciones de importación/consumo y exportación/producción. De los productos seleccionados resultó que el frijol (*Phaseolus vulgaris*), trigo (*Triticum* spp.) y limón (*Citrus limon*) deben aumentar su rendimiento 30% por arriba de la tendencia; leche y huevo debe aumentar 15 a 30%; el aguacate (*Persea americana*) de 2 a 12% y sólo la papa (*Solanum tuberosum*) presentó tendencia de su rendimiento

* Recibido: octubre de 2014
Aceptado: marzo de 2015

Abstract

The demand for food will increase globally basically because the population will continue to grow to 9 billion people by 2050 and, food prices tend to fall in the long run. In addition, food production will be subject to new restrictions: the agricultural frontier and livestock herds must reduce its ecological impact and water use must be efficient. The objective was to compare the dynamic trend yields selected to Mexico with the yield that would be needed in 2025 to meet the demand for food without increasing the agricultural frontier or the herd while keeping import/export ratio consumption and agricultural products/production. The dynamic trend in yields was estimated with the second difference equations, linear, inhomogeneous and, moving equilibrium. The required yield and production for 2025 is estimated by exponential demand equation expressed in continuous growth rates adjusting the proportions of imports/consumption and exports/production. Of the selected products proved that bean (*Phaseolus vulgaris*), wheat (*Triticum* spp.) and lemon (*Citrus limon*) should increase their yield 30% above trend; milk and eggs should increase 15-30%; avocado (*Persea americana*) of 2-12% and only the potato (*Solanum tuberosum*) presented tendency of most the required yield. This allows identify which genetic products is a priority to efforts to increase yield above the trend.

mayor al necesario. Esto permite identificar en qué productos es prioritario hacer esfuerzos genéticos para aumentar su rendimiento por arriba de la tendencia.

Palabras clave: *Citrus limon*, *Persea americana*, *Phaseolus vulgaris*, *Solanum tuberosum*, *Triticum* spp., rendimiento necesario.

Introducción

La demanda por productos agropecuarios seguirá aumentando durante el siglo XXI porque: 1) la población mundial crecerá hasta alcanzar 9 mil millones de personas para el 2050, dependiendo de la tasa de fertilidad y después se puede estabilizar (Sachs, 2013); 2) el ingreso por persona aumentará debido a que la población será mayoritariamente urbana (Pinstrup-Anderson and Watson, 2011); y 3) los precios de los productos agropecuarios en el largo plazo tienden a disminuir. La tecnología ayudará a transitar a una producción individualizada pero con costos de producción masivos (customization) y a una diferenciación desde la semilla (biofortification) para mejorar los alimentos (funcionales, nutracéuticos), los biocombustibles, bioenergía, biomateriales y biomedicinas como los farmalimentos, alimentos que previenen enfermedades (Brambila, 2006).

Según la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD, 2011), la producción agropecuaria tendrá que aumentar de acuerdo a varias restricciones; 1) la frontera agrícola se debe reducir para permitir la reforestación, el regreso de los pastizales naturales y la selva, la recuperación del suelo y la biodiversidad; disminuir el daño ecológico al producir, reduciendo la quema y el uso de químicos; minimizar la huella ecológica y además aprovechar todos los subproductos, esto es, no debe haber desperdicios (De Jong *et al*., 2010); y 3) reducir el uso del agua.

El reto tecnológico para aumentar la producción agropecuaria con las restricciones mencionadas es grande, pero el esfuerzo requerido no se ha cuantificado para el caso de México. Primero se debe estimar el aumento requerido del rendimiento por hectárea o la productividad por animal para satisfacer la demanda de productos agrícolas y ganaderos en el 2025 en México, sin aumentar la frontera agrícola ni el hato ganadero. Dicho aumento conlleva las restricciones de disminuir la huella ecológica y el uso de agua. En adelante cuando se mencione rendimiento, se refiere al

Keywords: *Citrus limon*, *Persea americana*, *Phaseolus vulgaris*, *Solanum tuberosum*, *Triticum* spp., yield required.

Introduction

The demand for agricultural products will continue to increase during the century because: 1) the world's population will grow to 9 billion people by 2050, depending on the fertility rate and then be stabilized (Sachs, 2013); 2) entry per person will increase because the population is predominantly urban (Pinstrup-Anderson and Watson, 2011); and 3) the prices of agricultural products in the long run tend to decrease. The technology will help to move production to an individual but mass production costs (customization) and differentiation from seed (biofortification) to improve food (functional, nutraceuticals), biofuels, bioenergy, biomaterials and biomedicines as pharma-food, food preventing diseases (Brambila, 2006).

According to the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD, 2011), agricultural production will have to increase according to various restrictions; 1) the agricultural frontier must be reduced to allow reforestation, the return of natural grassland and forest, soil remediation and biodiversity; reduce environmental damage to produce burning and reducing the use of chemicals; minimize the ecological footprint and also connected to all products, i.e. there should be no waste (De Jong *et al*., 2010); and 3) reduce water use.

Technological challenge to increase agricultural production of these restrictions is great, but the effort required has not been quantified for the case of Mexico. First we should estimate the required increase in yield per hectare or per animal productivity to meet the demand for agricultural products and livestock in 2025 in Mexico, without increasing the agricultural frontier or the herd. Such restrictions increase has footprint and reduce water usage. On the following, when yield is mentioned, it refers to the yield per hectare or per animal productivity. According Bruinsma (2009), the Food and Agriculture Organization (FAO) estimated the effort required in yield per hectare, water use and land use to feed the entire world population in 2050 but if Mexico is not detailed.

The OECD and FAO have prospects of agricultural production for 2022 based on the econometric model called Aglink-cosimo, making useful projections of rendimiento por hectárea o a la productividad por animal. Según Bruinsma (2009), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) estimó el esfuerzo necesario en rendimiento por hectárea, en el uso de agua y el uso de tierra para alimentar a toda la población mundial en el 2050, pero no se detalla el caso de México.

La OECD y la FAO presentan perspectivas de la producción agrícola para el 2022 en base al modelo econométrico llamado Aglink-cosimo, haciendo proyecciones útiles de las tendencias de los principales productos agropecuarios (Cuadro 1) pero no se puede medir el esfuerzo tecnológico que debe hacer México para satisfacer el consumo nacional sujeto a restricciones de superficie y hato ganadero.

trends of major agricultural products (Table 1) but cannot measure the technological effort to do Mexico to meet domestic consumption restrictions surface and herd.

The objectives of this study are: 1) project, with difference equations of second order, linear, inhomogeneous and moving equilibrium, the dynamic behaviour and the trend in yields of agricultural products in 2025, in Mexico; 2) project the necessary yield for 2025, given the estimated national consumption, imports, exports and domestic production; and 3) estimate the technological effort required for converging trend yield (objective 1) with the required yield (objective 2) 2025.

Cuadro 1. Tasas de crecimiento de la producción y del consumo del trigo, azúcar y carne de ave en México y en el mundo para el 2022.

Table 1. Growth rates of production and consumption of wheat, sugar and poultry in Mexico and the world for 2022.

Producto	Tasa de crecimiento de la producción		Tasa de crecimiento del consumo		Tasa de crecimiento del consumo per cápita en México (%)
	mundial (%)	México (%)	mundial (%)	México (%)	
Trigo	16.15	19.46	15.51	-7.35	-20.25
Azúcar	21.84	18.48	21.43	16.85	4.7
Carne de ave	25.24	27.82	24.27	22.67	10

Fuente: OCDE-FAO (2013).

Los objetivos del presente estudio son: 1) proyectar, con ecuaciones en diferencia de segundo orden, lineales, no homogéneas y con equilibrio móvil, el comportamiento dinámico y la tendencia de los rendimientos de los productos agropecuarios para el año 2025, en México; 2) proyectar el rendimiento necesario para el 2025, dada la estimación del consumo nacional, la importación, la exportación y la producción nacional; y 3) estimar el esfuerzo tecnológico requerido para hacer converger la tendencia del rendimiento (objetivo 1) con el rendimiento necesario (objetivo 2) para el año 2025.

La hipótesis central del estudio es que la tendencia del rendimiento (objetivo 1) es menor al rendimiento necesario (objetivo 2) para el año 2025. Por tanto, dado el supuesto de que no aumenta la frontera agrícola ni el hato ganadero, se requiere elevar el esfuerzo tecnológico, lo cual se cuantificará. La hipótesis secundaria fue que la función dinámica total del rendimiento de los productos agropecuarios estudiados, tienden a converger a un equilibrio que es móvil en el tiempo.

The central hypothesis of the study is that the trend of yield (objective 1) is less than the required yield (objective 2) for the year 2025. Therefore, given the assumption that does not increase the agricultural frontier and the herd, it is required to raise technological effort, which will be quantified. The secondary hypothesis was that the function overall dynamic yield of the studied agricultural products tend to converge to an equilibrium which is movable in time.

Materials and methods

In order to estimate the function of yield over time, difference equations are used in second order, linear, inhomogeneous and moving equilibrium (Chiang and Wainwright, 2006).

The yield function is:

$$R_{t+2} + a_1 R_{t+1} + a_2 R_t = c + a_3 t \qquad 1)$$

Materiales y métodos

Para estimar la función del rendimiento en el tiempo, se usan ecuaciones en diferencia de segundo orden, lineales, no homogéneas y de equilibrio móvil (Chiang y Wainwright, 2006).

La función del rendimiento es:

$$R_{t+2} + a_1 R_{t+1} + a_2 R_t = c + a_3 t \quad 1)$$

Donde: R_t= rendimiento (por hectárea o animal), a_1, a_2, a_3, c son constantes y t es un índice de tiempo. Una solución particular integral de la ecuación 1, es $R(t)= Kt$, por lo que $R_{t+1}= K(t+1)$ y $R_{t+2}= K(t+2)$, sustituyendo: $K(t+2) + a_1 K(t+1) + a_2 Kt = c + a_3 t$. Despejando $K= \left(\frac{c + a_3 t}{(1 + a_1 + a_2) t + 2 + a_1}\right)$.
Así, la solución particular integral conocida como equilibrio móvil es:

$$R_p = kt = \left(\frac{c + a_3 t}{(1 + a_1 + a_2) t + 2 + a_1}\right) t \quad 2)$$

Una función complementaria de la ecuación 1 es cuando $R(t)=Ab^t$ por lo que $R_{t+1}=Ab^{t+1}$, $R_{t+2}=Ab^{t+2}$, que resulta en:

$$Ab^{t+2} + a_1 Ab^{t+1} + a_2 Ab^t = 0 \quad 3)$$

Cancelando Ab^t, resulta:

$$b^2 + a_1 b + a_2 = 0 \quad 4)$$

Es la ecuación característica de la función total de rendimiento en el tiempo, cuyas soluciones son las raíces características (Braun, 1990). Como la ecuación 4 es de segundo orden, entonces se tiene como resultado dos raíces b_1 y b_2. Así la función complementaria es:

$$R_c = A_1 b_1^t + A_2 b_2^t \quad 5)$$

La función total del rendimiento en el tiempo es la suma de la función complementaria (R_c) más la solución particular integral o equilibrio móvil (R_p).

$$R(t)= A_1 b_1^t + A_2 b_2^t + \left(\frac{c + a_3 t}{(1 + a_1 + a_2) t + 2 + a_1}\right) t = R_c + R_p \quad 6)$$

Where: R_t= yield (by hectare or animal), a_1, a_2, a_3, c are constant and t is an index of time. An integral and particular solution of equation 1, is $R(t)= Kt$, so that $R_{t+1}= K(t+1)$ and $R_{t+2}= K(t+2)$, substituting $K(t+2) + a_1 K(t+1) + a_2 Kt = c + a_3 t$, isolating $K= \left(\frac{c + a_3 t}{(1 + a_1 + a_2) t + 2 + a_1}\right)$.
So, the integral and particular solution known as moving equilibrium is:

$$R_p = kt = \left(\frac{c + a_3 t}{(1 + a_1 + a_2) t + 2 + a_1}\right) t \quad 2)$$

An additional function for the equation 1 is when $R(t)=Ab^t$ so that, $R_{t+1}=Ab^{t+1}$, $R_{t+2}=Ab^{t+2}$, resulting in:

$$Ab^{t+2} + a_1 Ab^{t+1} + a_2 Ab^t = 0 \quad 3)$$

Cancelling Ab^t, results in:

$$b^2 + a_1 b + a_2 = 0 \quad 4)$$

It is the characteristic equation of the total function of yield over time, whose solutions are the characteristic roots (Braun, 1990). As Equation 4 is second order, then results in two roots b_1 and b_2. And the complementary function is:

$$R_c = A_1 b_1^t + A_2 b_2^t \quad 5)$$

The total function of yield over time is the sum of the complementary function (R_c) more comprehensive particular solution or moving equilibrium (R_p).

$$R(t)= A_1 b_1^t + A_2 b_2^t + \left(\frac{c + a_3 t}{(1 + a_1 + a_2) t + 2 + a_1}\right) t = R_c + R_p \quad 6)$$

If b_1 and b_2 are real numbers and in absolute terms less than one, then increasing t tend to zero so the total function tends to moving balance. That is, the function is convergent. If most negative but less than one, then the function is convergent oscillatory. If the b_i are higher than one, the function is divergent is a moving balance.

The values A_1 and A_2 are obtained by forming two equations yield values of zero time and time 1. In this case, the yields of 1980 and 1981. R (0) and R (1) are known data. $R(0)= A_1 + A_2$ and $R(1)= A_1 b_1 + A_2 b_2 + \frac{c + a_3}{(1 + a_1 + a_2) + 2 + a_1}$. The b_i, a and c are estimated constants.

Si b_1 y b_2 son números reales y en términos absolutos menores a uno, entonces al aumentar t, b_i tienden a cero por lo que la función total tiende al equilibrio móvil. Esto es, la función es convergente. Si la b_i mayor es negativa pero menor a uno, entonces la función es convergente oscilatoria. Si las b_i son mayores a uno la función es divergente del equilibrio móvil.

Los valores A_1 y A_2 se obtienen formando dos ecuaciones con los valores de rendimiento del tiempo cero y el tiempo 1. En este caso los rendimientos de 1980 y 1981. R(0) y R(1) son datos conocidos. $R(0)= A_1 + A_2$ y $R(1)= A_1b_1 + A_2b_2 + \frac{c + a_3}{(1 + a_1 + a_2) + 2 + a_1}$. Las b_i, a y c son constantes estimadas.

Si b_1 y b_2 son números complejos, esto es cuando $a_1^2 < 4a_2$ en ecuación 4: $b_1, b_2= \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2}}{2}$, entonces se usa la definición de un número imaginario $\sqrt{-1}$ y se forman los números complejos.

$b_1, b_2= -\frac{a_1}{2} \pm \sqrt{\frac{4a_2 - a_1^2}{2}}\sqrt{-1} = h \pm v_i$ número complejo, dónde: $h= -\frac{a_1}{2}$ número real; $v_i= -\frac{\sqrt{4a_2 - a_1^2}}{2}\sqrt{-1}$ número imaginario. Entonces la función complementaria de la ecuación 5, se reescribe: $R_c= A_1b_1^t + A_2b_2^t= A_1(h + v_i)^t + A_2(h - v_i)^t$.

Al emplear el teorema de De Moivre (Chiang y Wainwright, 2006 y Valdovinos, 2012) que indica que para elevar un numero complejo a la t-ésima potencia se debe modificar simplemente sus coordenadas polares al elevar a M a la t-ésima potencia y al multiplicar θ por t. Esto es:

$(h + v_i)^t= M^t e^{i\theta t}$
$(h - v_i)^t= M^t e^{-i\theta t}$
$(h \pm v_i)^t= M^t (\cos\theta t \pm i \operatorname{sen}\theta t)$

Donde: M es el modulo (también llamado el radiante) de un numero complejo y se obtiene usando el diagrama de Argand (Brambila, 2011).

$$M= \sqrt{h^2 + v^2}= \sqrt{\left(\frac{-a_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{4a_2 - a_1^2}}{2}\right)^2}= \sqrt{a_2}$$

Así la función complementaria, ecuación 5, se reescribe para el caso de números complejos como: $R_c= A_1M^t(\cos\theta t + i \operatorname{sen}\theta t) + A_2M^t(\cos\theta t - i \operatorname{sen}\theta t)$; $R_c= M^t(A_3 \cos\theta t + A_4 \operatorname{sen}\theta t)$.

Donde= $A_3= A_1 + A_2$; $A_4= (A_1 - A_2)i$; $\cos\theta= \frac{h}{M}$; $\operatorname{sen}\theta= \frac{v}{M}$.

If b_1 and b_2 are complex numbers, this is when $a_1^2 < 4a_2$ in Equation 4: $b_1, b_2= \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2}}{2}$, then the definition of an imaginary number $\sqrt{-1}$ is used and complex numbers are formed.

$b_1, b_2= -\frac{a_1}{2} \pm \sqrt{\frac{4a_2 - a_1^2}{2}}\sqrt{-1} = h \pm v_i$ complex number, where: $h= -\frac{a_1}{2}$; real number $v_i= -\frac{\sqrt{4a_2 - a_1^2}}{2}\sqrt{-1}$; imaginary number. Then, the complementary function of equation 5 is rewritten: $R_c= A_1b_1^t + A_2b_2^t= A_1(h + v_i)^t + A_2(h - v_i)^t$.

By using the theorem of De Moivre (Chiang and Wainwright, 2006 and Valdovinos, 2012) indicating that to raise a complex number to the t-th power should simply change their polar coordinates to elevate M to t-th potential and multiplying θ by t. That is:

$(h + v_i)^t= M^t e^{i\theta t}$
$(h - v_i)^t= M^t e^{-i\theta t}$
$(h \pm v_i)^t= M^t (\cos\theta t \pm i \operatorname{sen}\theta t)$

Where: M is the modulus (also called the radiant) of a complex number and is obtained using the Argand diagram (Brambila, 2011).

$$M= \sqrt{h^2 + v^2}= \sqrt{\left(\frac{-a_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{4a_2 - a_1^2}}{2}\right)^2}= \sqrt{a_2}$$

And the complementary, equation 5 is rewritten for the case of complex numbers $as_c= A_1M^t(\cos\theta t + i \operatorname{sen}\theta t) + A_2M^t(\cos\theta t - i \operatorname{sen}\theta t)$; $R_c= M^t(A_3 \cos\theta t + A_4 \operatorname{sen}\theta t)$.

Where= $A_3= A_1 + A_2$; $A_4= (A_1 - A_2)i$; $\cos\theta= \frac{h}{M}$; $\operatorname{sen}\theta= \frac{v}{M}$.

Cycle length (L) is calculated as follows: $L= \frac{360}{\theta}$. The total function, Equation 6, when complex numbers is:

$$R(t)= M^t(A_3 \cos\theta t + A_4 \operatorname{sen}\theta t) + \left(\frac{c + a_3t}{(1 + a_1 + a_2)\, t + 2 + a_1}\right)t \quad 7)$$

Starts from the time t= 0, which in this case is the return (R (0)) in 1980, then equation 7 is operated and then $A_3= R(0)$ is the initial value. Known A_3, one can estimate A_4 in the above equation if it is solved for t= 1, which in this case is 1981 and equals the yield (R (1)) of that year, which is known data. Equation 7 is the total dynamic balance function with moving yield.

La longitud del ciclo (L) se calcula de la manera siguiente: $L=\frac{360}{\theta}$. La función total, ecuación 6, cuando hay números complejos será:

$$R(t)= M^t(A_3 \cos\theta t + A_4 \operatorname{sen}\theta t) + \left(\frac{c + a_3 t}{(1 + a_1 + a_2)\, t + 2 + a_1}\right) t \quad 7)$$

Si se parte del momento t=0, que en este caso es el rendimiento (R(0)) en 1980, entonces se opera la ecuación 7 y resulta que A_3= R(0), es el valor inicial. Conocido A_3, se puede estimar A_4 de la ecuación anterior si se resuelve para t=1, que en este caso es el año 1981 y se iguala con el rendimiento (R(1)) de ese año, que es dato conocido. La ecuación 7 es la función dinámica total con equilibrio móvil del rendimiento.

Ahora para estimar el rendimiento necesario, esto es la producción nacional necesaria para el 2025 entre la superficie cosechada o el hato ganadero promedio del periodo 2008-2012, se procede de la manera siguiente:

Se parte de una función particular exponencial del consumo.

$$C= \frac{NY^{\rho}}{P\eta} \quad 8)$$

Donde: C= consumo, N= población, Y= ingreso, P= precio, ρ= elasticidad ingreso de la demanda, η= elasticidad precio de la demanda.

La ecuación 8 se puede reexpresar para el consumo por persona y en tasas de crecimiento continuas. $\bar{r}_c= \rho\bar{r}_y - \eta\bar{r}_p$. Para proyectar el consumo nacional por persona al año meta 2025 teniendo como base el promedio del periodo 2008-2012 se usa la ecuación exponencial.

$$C_t= C_0 e^{\bar{r}_c t} \quad 9)$$

Donde: C_t=es el consumo por persona para el año meta (2025); C_0= es el consumo por persona para el año inicial, (promedio 2008-2012); $\bar{r}_c$= tasa de crecimiento continua del consumo por persona y t= tiempo.

El cálculo para la producción nacional necesaria en el 2025, manteniendo fija la relación importación /consumo o exportación/producción (base 2008-2012), se hace como sigue:

$$PNN_1= (1 - \varphi)\, CT \quad 10)$$

Now in order to estimate the required yield, this is the necessary domestic production for 2025 between the crop or the average of 2008-2012 herd, proceed as follows:

It is part of a particular exponential function of consumption.

$$C= \frac{NY^{\rho}}{P\eta} \quad 8)$$

Where: C= consumption, N= population, Y= income, P= price, ρ= income elasticity of demand, η= price elasticity of demand.

Equation 8 can be restated for consumption per person and continuous growth rates $\bar{r}_c= \rho\bar{r}_y - \eta\bar{r}_p$. To project the national consumption per person per target year 2025 on the basis of the average of the period 2008-2012 the exponential equation is used.

$$C_t= C_0 e^{\bar{r}_c t} \quad 9)$$

Where: C_t= consumption per person for the target year (2025); C_0= consumption per person for the initial year (average 2008-2012); $\bar{r}_c$= continued growth rate of consumption per person and t = time.

The calculation for the necessary domestic production in 2025, keeping fixed the import/consumption and exports/production (base 2008-2012) relationship, it is done as follows:

$$PNN_1= (1 - \varphi)\, CT \quad 10)$$

$$PNN_2= \left(\frac{1}{1 - \phi}\right) CT \quad 11)$$

Where: = PNN = output needed in 2025; φ= proportion import/consumption. CT= total national consumption= consumption per person (C_t) multiplied by the estimated 2025; ϕ= exports production/population. The subscript 1 is for import net; 2 is the case of net export.

Once the necessary domestic production estimated for 2025, divided by the area harvested or the herd, as the case may be had on average in 2008-2012, to obtain the required yield for 2025.

$$\frac{PNN}{H}= R(N)= \text{rendimiento necesario} \quad 12)$$

$$PNN_2 = \left(\frac{1}{1 - \phi}\right) CT \quad 11)$$

Donde: PNN= producción necesaria en el 2025; φ= proporción importación/consumo; CT= consumo nacional total= consumo por persona (C_t) multiplicado por la población estimada en el 2025; ϕ= proporción exportación/producción; el subíndice 1 es el caso de importación neta; 2 es el caso de exportación neta.

Una vez estimada la producción nacional necesaria para el 2025, se divide por la superficie cosechada o por el hato ganadero, según sea el caso, que se tuvo en promedio en el periodo 2008-2012, para obtener el rendimiento necesario para el 2025.

$$\frac{PNN}{H} = R(N) = \text{rendimiento necesario} \quad 12)$$

Estimada la tendencia del rendimiento, R(t) (ecuación 6 o 7) y el rendimiento necesario R(N) (ecuación 12), entonces se obtiene el porcentaje en el que hay que aumentar los rendimientos de cada producto para el año 2025, manteniendo fijo la frontera agrícola y el hato ganadero.

$\frac{R(N)}{R(t)} = 1 + \gamma$; donde: R(N)= rendimiento necesario; R(t)= tendencia del rendimiento; γ= porcentaje en el que hay que aumentar el rendimiento por encima de la tendencia.

Datos y cálculos

El consumo nacional aparente de cada producto se calculó sumando la producción nacional más las importaciones menos las exportaciones; estos datos son publicados por el Sistema de Información Agroalimentaria (SIACON-SAGARPA), la página web de FAO y de la página del Sistema de Información Arancelaria vía internet (SIAVI) de la Secretaría de Economía (SE). La tasa de crecimiento continua ($\bar{r}_c$) se calcula con el logaritmo natural del cociente del consumo en el año t entre el consumo del año t-1, también se calcula el promedio de las tasas continuas anuales para el periodo 1980-2012. La tasa continua de la población ($\bar{r}_N$) se calculó, con la tasa de crecimiento de la población, publicada por el Instituto Nacional de Estadística y de Geografía (INEGI). La tasa de crecimiento continua del ingreso es una variable aproximada del ingreso nacional disponible. La tasa de crecimiento continua del precio ($\bar{r}_p$) se usa como variable aproximada del precio al productor, deflactado con el índice de precios al productor de cada producto base 2012= 100. Los

The estimated trend yield, R(t) (equation 6 or 7) and the necessary yield R(N) (Equation 12), then the percentage by which we have to increase the yields of each product for 2025 is obtained, keeping fixed the agricultural frontier and the herd.

$\frac{R(N)}{R(t)} = 1 + \gamma$; where: R(N)= yield required; R(t)= yield trend; γ= percentage by which we must increase yield above the trend.

Data and calculations

The apparent domestic consumption of each product is calculated by adding domestic production plus imports minus exports; these data are published by the Agricultural Information System (SIACON-SAGARPA), the FAO website and webpage Tariff Information System Via Internet (SIAVI) of the Ministry of Economy (SE). The continuous growth rate is calculated using the natural logarithm of the ratio of consumption in year t between consumption of year t^{-1}, the average annual rate constant for the period 1980-2012 is also calculated. The continuous rate of the population was calculated, with the rate of population growth, published by the National Institute of Statistics and Geography (INEGI). The continuous growth rate of income is a proxy for the national disposable income. The rate constant price ($\bar{r}_N$) increase is used as a proxy for the price to the producer, deflated by the producer price index for each product based 2012 = 100. The nominal prices, harvested area, yield and livestock inventory data are published by SIACON-SAGARPA and the consumer price index and producer comes from INEGI.

In order to estimate the (ρ) income elasticity and the (η)price elasticity of demand, s and used the model for the period 1980-2012 in natural logarithms. $\ln\left(\frac{C}{N}\right) = a_1 + \rho\ln(Y) - \eta\ln(P)$. It is assumed that the population growth results in increased demand which is exactly proportional, which is one. For the model coefficients program SAS version 9.3 was used.

With continuing growth rates of population, income and price and, elasticities estimates an optimistic scenario and a pessimistic scenario of consumption in 2025. The optimistic scenario is where the per capita income increased at a real annual rate were simulated 0.5% and prices down by 0.05% annually. For its part, the pessimistic scenario is where the real income is fixed but prices precios nominales, la superficie cosechada, el rendimiento y el inventario ganadero son datos publicados por el SIACON-SAGARPA y el índice de precios al consumidor y al productor proviene del INEGI.

Para estimar la elasticidad ingreso (ρ) y la elasticidad precio de la demanda (η), se usó el modelo para el periodo de 1980-2012 en logaritmos naturales: $\ln\left(\frac{C}{N}\right)= a_1 + \rho\ln(Y) - \eta\ln(P)$. Se supone que el aumento de la población provoca un aumento de la demanda que es exactamente proporcional, la cual es uno. Para obtener los coeficientes del modelo se empleó el programa de SAS versión 9.3.

Con las tasas de crecimiento continuas de la población, ingreso, precio y estimaciones de las elasticidades se simularon un escenario optimista y un escenario pesimista de consumo en el año 2025. El escenario optimista es donde el ingreso por persona aumenta a una tasa real anual de 0.5% y los precios bajan en 0.05% anual. Por su parte, el escenario pesimista es donde el ingreso real se mantiene fijo pero los precios aumenta 0.05% anual. En ambos casos la población en México crece a una tasa continua de 1.2% y se supone que la constante $a_1= 0$.

Con las estimaciones de la tasa de crecimiento continua del consumo por persona se aplica la ecuación 9 donde el consumo inicial es el promedio del 2008-2012 y se proyecta al 2025. Una vez estimado el consumo en el 2025 se aplican las ecuaciones 10 y 11, donde se estima la producción nacional necesaria. Los rendimientos necesarios para satisfacer la demanda nacional para el 2025, con la proporción de importaciones, exportaciones y superficie cosechada o hato ganadero fijos según el promedio de los años 2008-2012, se estiman con la ecuación 12.

Ahora para estimar el comportamiento dinámico y la tendencia de los rendimientos se emplea el programa de SAS versión 9.3 para calcular los parámetros de la ecuación para el periodo de 1980-2012. Se emplea una variable dummy para diferenciar los periodos de 1980-1994 (antes del Tratado de Libre Comercio con América del Norte (TLCAN)) y el segundo periodo de 1995-2012 (después del TLCAN). La ecuación $R_{t+2}= c + a_1R_{t+1} + a_2R_t + a_3t + a_4D$, donde R es el rendimiento, t es el tiempo y D es la dummy (cero para el primer periodo y 1 para el segundo periodo). La prueba estadística que se usó para la conocer la relevancia de las variables en su conjunto es la prueba de F (Gujarati, 2003).

increased 0.05% annually. In both cases the population of Mexico grows at a continuous rate of 1.2% and it is assumed that constant $a_1= 0$.

With the estimates of continuous growth rate of per capita consumption, the equation 9, where the initial consumption is the average from 2008 to 2012 and projected to 2025. Once estimated consumption in 2025 applies equations apply 10 and 11, where the necessary domestic production is estimated. Yields necessary to satisfy national demand by 2025, the proportion of imports, exports and harvested herd or fixed according to the average of the years 2008-2012 are estimated equation 12.

For estimating the dynamic behaviour and trend yields, we used the SAS program version 9.3 to calculate the parameters of the equation for the period 1980-2012. One dummy variable is used to differentiate the periods 1980-1994 (before the Free Trade Agreement with North America (NAFTA)) and the second period from 1995 to 2012 (after NAFTA). The equation $R_{t+2}= c + a_1R_{t+1} + a_2R_t + a_3t + a_4D$, where R is the yield, t is time and D is the (zero for the first period and 1 for the second period) dummy. The statistical test was used to study the relevance of the variables as a whole is the F test (Gujarati, 2003).

The study was conducted for the following groups of products; 1) agriculture: a) grains (beans and wheat); b) fruit (lemon and avocado); c) vegetables (potato); and 2) livestock: a) milk and b) egg. The example detailed milk to cover methodologies.

The case of milk

The total function of milk production per cow in Mexico at the time, was calculated as follows: $R_{t+2}= 2.3467 + 0.6683R_{t+1} - 0.3020R_t + 0.0253t - 0.1896D$, with a $F^3_{29,0.01}$. The difference equation of second order, linear, inhomogeneous and moving equilibrium is: $R_{t+2} - 0.6683R_{t+1} - 0.3020R_t= 2.3467 - 0.1896 + 0.0253t$. If a moving integrated particular solution over time is assumed, $R(t)= Kt$, then the difference equation is: $K(t+2) - 0.6683K(t+1) + 0.3020Kt= 2.1571 + 0.0253t$. By solving K, the equation is:

$$K=\frac{2.1571 + 0.0253t}{(1 - 0.6683 + 0.3020)t + 2 - 0.6683} = \frac{2.1571 + 0.0253t}{0.6337t + 1.3317}$$

Thus, the particular solution is: $R_p= Kt= \left(\frac{2.1571 + 0.0253t}{0.6337t + 1.3317}\right)t$

El estudio se realizó para los siguientes grupos de productos; 1) agrícolas: a) granos (frijol y trigo); b) frutales (limón y aguacate); y c) hortalizas (papa); 2) pecuarios: a) leche y b) huevo. Como ejemplo se detalla el caso de la leche para explicitar la metodología.

El caso de la leche

La función total de la producción de leche por vaca en México en el tiempo, se calcula de la manera siguiente: $R_{t+2}= 2.3467 + 0.6683R_{t+1} - 0.3020R_t + 0.0253t - 0.1896D$, con una $F^{3}_{29,0.01}$. La ecuación en diferencia de segundo orden, lineal, no homogénea y de equilibrio móvil es: $R_{t+2} - 0.6683R_{t+1} - 0.3020R_t= 2.3467 - 0.1896 + 0.0253t$. Si se supone una solución particular integral móvil en el tiempo, $R(t)= Kt$, entonces la ecuación en diferencia será: $K(t + 2) - 0.6683K(t+1) + 0.3020Kt= 2.1571 + 0.0253t$. Al despejar K, la ecuación queda:

$$K=\frac{2.1571 + 0.0253t}{(1 - 0.6683 + 0.3020)t + 2 - 0.6683} = \frac{2.1571 + 0.0253t}{0.6337t + 1.3317}$$

Así, la solución particular es: $R_p= Kt= \left(\frac{2.1571 + 0.0253t}{0.6337t + 1.3317}\right)t$

La función complementaria de la ecuación 3 que se convierte en ecuación 4 es: $b^2 + a_1b + a_2= 0= b^2 - 0.6683b + 0.3020= 0$

$$b_1,b_2= \frac{0.6683\pm\sqrt{0.6683^2 - 4(0.3020)}}{2}=\frac{0.6683\pm\sqrt{0.4466 - 1.208}}{2}$$
$$=\frac{0.6683\pm\sqrt{-0.7614}}{2}=\frac{0.6683\pm\sqrt{-0.7614}i}{2},$$ dado que $a_1^2 < 4a_2$, se tiene que trabajar con números complejos. Al ser b_1 y b_2 números complejos se concluye que la ecuación en diferencia es una función circular y en el tiempo se comporta con alzas y bajas. La definición de $i=\sqrt{-1}$ es un número imaginario.

$h=\frac{-a_1}{2}= -0.3342$ y $V=\frac{\sqrt{4a_2 - a_1^2}}{2}= 0.4363$. El módulo de este número complejo es: $M=\sqrt{0.3342^2 + 0.4363^2}= 0.5496$. Al ser el módulo (M) menor a uno, se concluye que la ecuación en diferencia tiene un comportamiento cíclico pero convergente. En este caso converge a $R_p=Kt$ que es un equilibrio móvil. Ahora si, $\cos\theta=\frac{h}{M}=\frac{0.3342}{0.5496}= 0.6081$ y $\text{sen}\theta=\frac{v}{M}=\frac{0.4363}{0.5496}= 0.7939$, donde θ (en decimales) es $\theta= 52.55= \cos^{-1}(0.6081)= \text{sen}^{-1}(0.7939)$.

La función total final de la producción de leche por vaca en México será:

The complementary function of equation 3 becomes Equation 4 is: $b^2 + a_1b + a_2= 0= b^2 - 0.6683b + 0.3020= 0$

$$b_1,b_2= \frac{0.6683\pm\sqrt{0.6683^2 - 4(0.3020)}}{2}=\frac{0.6683\pm\sqrt{0.4466 - 1.208}}{2}$$
$$=\frac{0.6683\pm\sqrt{-0.7614}}{2}=\frac{0.6683\pm\sqrt{-0.7614}i}{2},$$ since $a_1^2 < 4a_2$, we have to work with complex numbers. As b_1 and b_2 are complex numbers, we conclude that the difference equation is a function move and behave in time with ups and downs. The definition of $i=\sqrt{-1}$ is an imaginary number.

$h=\frac{-a_1}{2}= -0.3342$ and $V=\frac{\sqrt{4a_2 - a_1^2}}{2}= 0.4363$. The module of this complex number is: $M=\sqrt{0.3342^2 + 0.4363^2}= 0.5496$ being the (M) module less than one, it is concluded that the difference equation is cyclical but convergent behaviour. In this case it converges to $R_p= Kt$ a moving equilibrium. However, if $\cos\theta=\frac{h}{M}=\frac{0.3342}{0.5496}= 0.6081$ and $\text{sen}\theta=\frac{v}{M}=\frac{0.4363}{0.5496}= 0.7939$, where θ (decimals) is $\theta= 52.55= \cos^{-1}(0.6081)= \text{sen}^{-1}(0.7939)$.

Total final function of milk production per cow in Mexico is:

$R(t)= 0.5496^t[A_3 \cos(52.55t) + A_4 \text{sen}(52.55t)] + \left(\frac{2.1571 + 0.0253t}{0.6337t + 1.3317}\right)t$, where A_3 is the value of yield in the beginning, $R(0)= 3.898$ thousands of litters per cow per year by 1980. Note that $t= 0$. The value of A_4 is obtained by equating the above equation with yield in period 1 (1981), $R(1)= 3.842$. Note that that $t= 1$.

$3.842= 0.5496[3.898 \cos(52.55) + A_4 \text{sen}(52.55)] + 1.1104$, isolating A_4 then: $A_4= 3.2758$. Total resulting function is: $R(t)= 0.5496^t[3.898 \cos(52.55t) + 3.2758 \text{sen}(52.55t)] + \left(\frac{2.1571 + 0.0253t}{0.6337t + 1.3317}\right)t$

Where the moving equilibrium of the R_p particular solution and the complementary equation is R_c. If projected to 2025, where t = 45, the trend in productivity per cow is the partial solution R_p or moving balance. $R(45)= 4.969 \approx 5$ thousand liters per cow per year or 14 liters.

Total dynamics function is as follows:

a) The sum of the cosine and sine give the movement cycle. In this case given that θ= 52.55 is the cycle length (C) from valley to valley or peak or pic is:

$R(t)= 0.5496^t[A_3 \cos(52.55t) + A_4 \text{sen}(52.55t)] + \left(\frac{2.1571 + 0.0253t}{0.6337t + 1.3317}\right)t$, donde A_3 es el valor del rendimiento en el inicio, R(0)= 3.898 miles de L por vaca por año para 1980. Note que t= 0. El valor de A_4 se obtiene igualando la ecuación anterior con el rendimiento en el periodo 1 (1981), R(1)= 3.842. Note que que t= 1.

$3.842= 0.5496[3.898 \cos(52.55) + A_4 \text{sen}(52.55)] + 1.1104$, despejando a A_4 queda: A_4= 3.2758. La función total resultante es: $R(t)= 0.5496^t[3.898 \cos(52.55t) + 3.2758 \text{sen}(52.55t)] + \left(\frac{2.1571 + 0.0253t}{0.6337t + 1.3317}\right)t$

Donde el equilibrio móvil es la solución particular R_p y la función complementaria es R_c. Si se proyecta al año 2025 donde t= 45, la tendencia de la productividad por vaca será la solución parcial R_p o el equilibrio móvil. R(45)= 4.969 ≈ 5 mil L por vaca al año o 14 litros diarios.

La dinámica de la función total es la siguiente:

a) La suma de la parte del coseno y del seno dan el movimiento del ciclo. En este caso dado que θ= 52.55 la longitud del ciclo (C) de valle a valle o de pico a pico es:

$$C=\frac{360}{52.55}= 6.85 \approx 7 \text{ años}$$

b) El módulo al ser menor a uno y elevarlo a la t, tiende a disminuir acercándose a cero rápidamente. Así, la multiplicación del módulo a la t por el coseno y el seno, tienden a cero. Esto es lo que permite que la función converge al equilibrio móvil.

c) La solución particular o equilibrio móvil R_p= Kt, es adonde converge la productividad por vaca (Cuadro 2).

Para calcular el rendimiento necesario se parte de estimar las elasticidades de ingreso y precio de la siguiente manera: $\ln\left(\frac{C}{N}\right)= a_1 + \rho\ln Y - \eta\ln P= -0.0049 + 0.2730\hat{Y} - 0.2325\hat{P}$. La F calculada es de 1 619.83 y representa un nivel de significancia elevada. La tasa de crecimiento continua del consumo por persona se estima: $\bar{r}_C= 0.273\bar{r}_Y - 0.2325\ \bar{r}_P$ y se aplica ecuación 9. $C_t= C_0e^{\bar{r}t}$.

El consumo por persona promedio de 2008-2012 fue de 126.54 L anuales. El consumo nacional total fue de 14.173 miles de millones de L. La población (N) en México fue de

$$C=\frac{360}{52.55}= 6.85 \approx 7 \text{ años}$$

b) The module being lower than one and, raised the t, tends to decrease over to zero quite quickly. So, the multiplication of the module to t and the cosine and sine, tend to zero. This is what allows the function to converge to moving equilibrium.

c) The particularly solution or moving equilibrium R_p= Kt, is where productivity per cow converge (Table 2).

Cuadro 2. Tendencia de la productividad por vaca, 2015-2025.
Table 2. Trend in productivity per cow, 2015-2025.

Año	Tendencia de la productividad por vaca Litros (miles)
2015	4.529
2020	4.751
2025	4.969

In order to calculate the required yield it is necessary to estimate income and price elasticities as follows: $\ln\left(\frac{C}{N}\right)= a_1 + \rho\ln Y - \eta\ln P= -0.0049 + 0.2730\hat{Y} - 0.2325\hat{P}$. The calculated F is 1 619.83 and represents a high level of significance. The continuous growth rate of per capita consumption is estimated: $\bar{r}_C= 0.273\bar{r}_Y - 0.2325\ \bar{r}_P$ and applying the equation 9. $C_t= C_0e^{\bar{r}t}$.

The average consumption per person in 2008-2012 was 126.54 L annually. The total domestic consumption was 14.173 billions of L. The population (N) in Mexico was 110 million. The optimistic scenario (Eo) is when the continuous rate of real income increases 0.05 per year and prices fall to a real constant annual rate of 0.005. The pessimistic scenario (Ep) is when the continuous rate of real income is zero and prices rise in 0005 year. For both scenarios, the population grows in 0.012 annually. The growth rate of consumption per person in each scenario is: $\bar{r}_C|Eo= (0.273 * 0.05) - (0.2325 * -0.005)= 0.0148$ and $\bar{r}_C|Ep= (-0.2325 * 0.005)= -0.0012$. Where $\bar{r}_C|Eo$ means continuous growth rate $\bar{r}_C$ given the optimistic scenario Eo. $C* P|Eo=126.54e^{0.0148(13)} * 128.5$= 19.71 billions of L. For the pessimistic scenario (Ep), $C * P|EP= 126.54e^{-0.0012(13)} * 128.5$= 16.009 billions of L.

The average proportion import/consumption of 2008-2012 was 25%. Applying Equation 10 is:

110 millones de personas. El escenario optimista (Eo) es cuando la tasa continua del ingreso real aumenta 0.05 por año y los precios disminuyen a una tasa continua real de 0.005 anual. El escenario pesimista (Ep) es cuando la tasa continua del ingreso real es cero y los precios aumentan en 0.005 anual. Para ambos escenarios, la población crece en 0.012 anual. La tasa de crecimiento del consumo por persona en cada escenario es: $\bar{r}_C|Eo= (0.273 * 0.05) - (0.2325 * -0.005)= 0.0148$ y $\bar{r}_C|Ep= (-0.2325 * 0.005)= -0.0012$. Donde $\bar{r}_C|Eo$ significa la tasa continua de crecimiento $\bar{r}_C$ dado el escenario optimista Eo. $C* P|Eo=126.54e^{0.0148(13)} * 128.5= 19.71$ miles de millones de L. Para el escenario pesimista (Ep), $C * P|EP= 126.54e^{-0.0012(13)} * 128.5= 16.009$ miles de millones de L.

La proporción importación/consumo promedio de 2008-2012 fue 25%. Al aplicar la ecuación 10 queda:

$PNN|(Eo)= (1 - \theta) (C * P)|(Eo)= (1 - 0.25) (19.71)= 14.783$ miles de millones de L.
$PNN|(Ep)= (1 - \theta) (C * P)|(Ep)= (1 - 0.25) (16.009)= 12.007$ miles de millones de L.

El hato ganadero promedio del 2008-2012 fue de 2 368.22 miles de cabezas. Por lo que la productividad necesaria por vaca para el 2025 debe ser de:

$$\frac{PNN|(Eo)}{H}=\frac{1\,4.783}{2368.22} * 100= 6.242 \text{ miles de L por vaca.}$$

$$\frac{PNN|(Ep)}{H}=\frac{12.007}{2368.22} * 100= 5.07 \text{ miles de L por vaca.}$$

Si se compara la tendencia de la productividad con la productividad necesaria para el 2025, el resultado es el esfuerzo técnico que se debe hacer.

En el escenario optimista:

$$\frac{R_N|(Eo)}{R(t)}=\frac{\frac{PNN|(Eo)}{H}}{R(t)}=\frac{6.242}{4.969}= 1 + \gamma= 1 + 0.2562$$

Lo que significa que hay que elevar la productividad por vaca en un 25.62% para el año 2025. Es un esfuerzo de la diferencia en las tasas.

En el escenario pesimista:

$$\frac{R_N|(Ep)}{R(t)}=\frac{\frac{PNN|(Ep)}{H}}{R(t)}=\frac{5.070}{4.969}= 1 + \gamma= 1 + 0.0203$$

$PNN|(Eo)= (1 - \theta) (C * P)|(Eo)= (1 - 0.25) (19.71)= 14.783$ billions of L.
$PNN|(Ep)= (1 - \theta) (C * P)|(Ep)= (1 - 0.25) (16.009)= 12.007$ billions of L.

The average herd of 2008 - 2012 was 2 368.22 thousand heads. As required productivity per cow for 2025 should be:

$$\frac{PNN|(Eo)}{H}=\frac{1\,4.783}{2368.22} * 100= 6.242 \text{ thousands of liters per cow.}$$

$$\frac{PNN|(Ep)}{H}=\frac{12.007}{2368.22} * 100= 5.07 \text{ thousands of liters per cow.}$$

If the trend in productivity compared to the productivity needed by 2025, the result is the technical effort to do.

In the optimistic scenario:

$$\frac{R_N|(Eo)}{R(t)}=\frac{\frac{PNN|(Eo)}{H}}{R(t)}=\frac{6.242}{4.969}= 1 + \gamma= 1 + 0.2562$$

Which means we have to raise productivity per cow by 25.62% by 2025. It is an effort of the difference in rates.

In the pessimistic scenario:

$$\frac{R_N|(Ep)}{R(t)}=\frac{\frac{PNN|(Ep)}{H}}{R(t)}=\frac{5.070}{4.969}= 1 + \gamma= 1 + 0.0203$$

Which means we have to raise productivity per cow by 2.03% in 2025.

Results and discussion

The Table 3 shows the dynamic total function with moving equilibrium for agricultural products and selected farmers and, in Table 3 technical efforts, domestic consumption, domestic production and the need for each selected product yield is detailed.

For the selected products, the central hypothesis is not rejected, the yield marked by the trend (objective 1) is lower than the required yield (objective 2) except in potatoes since 2025. This restriction does not increase the agricultural frontier, or the livestock and keeping the relative import and export consumption in relation to production on average had

Lo que significa que hay que elevar la productividad por vaca en un 2.03 % para el año 2025.

Resultados y discusión

En el Cuadro 3 se muestra la función total dinámica con equilibrio móvil para los productos agrícolas y ganaderos seleccionados y en el Cuadro 3 se detalla los esfuerzos técnicos, el consumo nacional, la producción nacional y el rendimiento necesario para cada producto seleccionado.

Para los productos seleccionados la hipótesis central no se rechaza, el rendimiento que señala la tendencia (objetivo 1) es menor al rendimiento necesario (objetivo 2) a excepción de la papa para el 2025. Esto dado la restricción de no aumentar la frontera agrícola, ni el hato ganadero y manteniendo constante la importación en relación al consumo y la exportación en relación a la producción que en promedio se tuvo en el 2008 y 2012. La hipótesis secundaria tampoco se rechaza, ya que las funciones totales de rendimiento de los productos seleccionados son dinámicas y convergen a un equilibrio móvil. Ninguna muestra tendencia divergente.

in 2008 and 2012. The secondary hypothesis is rejected either herd as the total yield features of the selected products are dynamic and converge to a moving balance. Does not show divergence in trend.

From the selected products, turned out that beans, wheat and lemon should increase yield by 30% above trend; milk and egg should gain between 15 and 30%; Avocado 2-12% and only potatoes had a greater tendency to yield necessary.

In 2009, FAO estimated as necessary to increase the yield per hectare in the period 2005/07 to 2050 different products worldwide. E.g., wheat estimates a 37.87% increase in corn (*Zea mays*) at 39.83% in rice (*Oryza sativa*); 29.13% (Bruinsma, 2009).

Conclusions

For satisfying the needs of Mexico in 2025, genetic and experimental studies for improve the yield per hectare or per animal productivity should be prioritized in products that require better technological effort higher

Cuadro 3. Función total dinámica con equilibrio móvil de los productos seleccionados.
Table 3. Total dynamic Function with moving equilibrium of selected products.

Producto	Función total	$F^{3}_{29,0.01}$ †
Granos		
Frijol	$R(t)= 0.4956^{t}[0.60\cos(75.22t) + 0.7527\,\mathrm{sen}(75.22t)] + \left(\frac{0.6363 + 0.003t}{0.9926t + 1.747}\right)t$	6.78
Trigo	$R(t)= 0.785(0.6962)^{t} + 3.063(0.6261)^{t} + \left(\frac{3.144 + 0.025t}{0.7439t + 1.792}\right)t$	14.97
Frutales		
Limón	$R(t)= 11.0031(0.6448)^{t} - 1.1431(0.2664)^{t} + \left(\frac{5.7168 + 0.015t}{0.4498t + 1.6216}\right)t$	18.15
Aguacate	$R(t)= 0.2787^{t}[8.106\cos(78.10t) + 18.3942\,\mathrm{sen}(78.10t)] + \left(\frac{7.9374 + 0.067t}{0.9624t + 1.885}\right)t$	13.47
Hortalizas		
Papa	$R(t)= 12.314(0.8441)^{t} + 0.966(0.4941)^{t} + \left(\frac{2.435 + 0.1605t}{0.233t + 1.65}\right)t$	180.52
Pecuario		
Leche	$R(t)= 0.5496^{t}[3.898\cos(52.55t) + 3.2758\,\mathrm{sen}(52.55t)] + \left(\frac{2.1571 + 0.0253t}{0.6337t + 1.3317}\right)t$	11.2
Huevo	$R(t)= 10.843(0.6962)^{t} + 1.7130(-0.0202)^{t} + \left(\frac{2.6045 + 0.0521t}{0.31t + 1.3241}\right)t$	54.16

†la F calculada se compara con una F de tablas de $F^{3}_{29,0.01}$= 4.54.

Cuadro 4. Consumo nacional, producción nacional, rendimiento necesario, tendencia del rendimiento y esfuerzo técnico para cada producto seleccionado estimado para 2025.

Table 4. Domestic consumption, domestic production, yield requirements and technical yield trend estimated effort for each selected product by 2025.

Producto	Consumo nacional (millones t)	Producción nacional (millones t)	Rendimiento necesario (t ha^{-1})	Tendencia (t ha^{-1})	Esfuerzo técnico adicional (%)
Granos					
Frijol	1.155 a 1.979	1.004 a 1.721	0.739 a 1.266	0.798	-0.01 a 69.25
Trigo	7.250 a 11.22	4.224 a 6.539	5.91 a 9.14	5.48	7.85 a 66.78
Frutales					
Limón	1 803.900 a 2 092.11[1]	2 373.12 a 2 752.78[1]	16.22 a 18.82	13.16	23.25 a 43.01
Aguacate	0.957 a 1.035	1.373 a 1.484	11.17 a 12.08	10.91	2.4 a 10.73
Hortalizas					
Papa	1.856 a 2.071	1.76 a 1.963	30.26 a 33.68	35.81	-15.66 a -0.06[5]
Pecuario					
Leche	16.01 a 19.71[2]	12.01 a 14.78[2]	5.07 a 6.24[3]	4.969[3]	2.03 a 25.62
Huevo	2.7 a 3.2	2.7 a 3.2	14.55 a 17.24[4]	14.58[4]	0 a 18.24

[1]miles t; [2] miles de millones L; [3]miles de L por vaca al año; [4]kg por ave al año; [5]la tendencia es mayor a lo necesario.

De los productos seleccionados resultó que el frijol, trigo y limón debe aumentar su rendimiento en 30% por arriba de la tendencia; la leche y el huevo deben aumentar entre 15 y 30%; el aguacate de 2 a 12% y solo la papa tuvo una tendencia mayor al rendimiento necesario.

En 2009, la FAO estimó en cuanto hay que aumentar el rendimiento por hectárea en el periodo 2005/07 al 2050, de diferentes productos a nivel mundial. Por ejemplo en trigo estima un aumento de 37.87%, en maíz (*Zea mays*) en 39.83%, en arroz (*Oryza sativa*); 29.13% (Bruinsma, 2009).

Conclusiones

Para satisfacer las necesidades de México en el 2025, los estudios genéticos y experimentales para mejorar el rendimiento por hectárea o la productividad por animal deberán priorizarse en aquellos productos que requieren de un esfuerzo tecnológico mayor a 30%. Esto sin aumentar la frontera agrícola ni el hato ganadero y mantener fijos las proporciones de importación/consumo y exportación/producción promedio de 2008 a 2012. El aumento del rendimiento debe observar las restricciones de disminuir el uso de agua y la huella ecológica (que incluye menos productos químicos en su producción). La metodología se puede aplicar a cualquier producto agrícola y ganadero para ampliar la tabla de prioridades.

than 30%. This, without increasing the agricultural frontier or the herd, maintain fixed the proportions of import/export and the average consumption/production from 2008 to 2012. The yield increase should observe the restrictions reduce the use of water and ecological footprint (including less chemicals in their production). The methodology can be applied to any agricultural produce and livestock to expand the list of priorities.

End of the English version

Literatura citada

Brambila, P. J. J. 2011. Bioeconomía: instrumentos para su análisis económico. SAGARPA-COLPOS, México. 312 p.

Brambila, P. J. J. 2006. En el umbral de una agricultura nueva. UACH, México. 315 p.

Braun, M. 1990. Ecuaciones diferenciales y sus aplicaciones. Editorial Grupo Iberoamérica. México. 134-146 pp.

Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050: by how much do land, water and crop yields need to increase by 2050. Food Agriculture Organization (FAO). 22-30 pp.

Chiang, A. y Wainwright, K. 2006. Métodos fundamentales de economía matemática. Mc Graw Hill. 4a. (Ed.). México. 521-575 pp.

De Jong E.; Van Ree, R.; Sanders, J. P. M. and Langeveld, J. W. A. 2010. Biorefineries: giving value to sustainable biomass use. *In*: Langeveld, H.; Sanders, J. and Meeusen, M. (Eds.). The biobases economy: biofuels, materials and chemicals in the post-oil era. Editorial Earthscan. London. 111-129 pp.

Gujarati, D. N. 2003. Basic econometrics. McGraw Hill Book Co. New York, USA. 253-264 pp.

OECD (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico). 2011. Food and agriculture, OECD green growth studies. OECD Publishing. 19-36 pp.

OECD-FAO (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico-Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. Perspectivas agrícolas 2013-2022. Universidad Autónoma Chapingo. México. 257-338 pp.

Pinstrup-Anderson, P. and Watson, D. D. II. 2011. Food policy for developing countries: the role of government in global, national and local food systems. Cornell University Press. Ithaca, New York. 216-241 pp.

Sachs, J. 2013. Economía para un planeta abarrotado. Editorial Debate. México. 250-256 pp.

Valdovinos, C. V. R. 2012. Cálculo multivariado y ecuaciones diferenciales. UACH. México. 58-115 pp.