

ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DEL DDR189 DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA EN ZACATECAS, MÉXICO

AGRICULTURAL PRODUCTIVITY ANALYSIS OF DDR189 IN THE SEMIARID REGIÓN IN ZACATECAS, MEXICO

Luis F. Pineda-Martínez^{1*}, Francisco Gpe. Echavarría-Chairez², Juan G. Bustamante-Wilson¹, Luis J. Badillo-Almaraz¹

¹Programa de Estudios e Intervención para el Desarrollo Alternativo, Universidad Autónoma de Zacatecas. 98630. Guadalupe, Zacatecas, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas. Calera, Zacatecas, México. (luisfpm23@gmail.com).

RESUMEN

Las condiciones de aridez de la región centro-norte de México limitan la producción agrícola y pecuaria, ya que la disponibilidad de agua está en función de la cantidad, distribución espacial y temporal de la precipitación. El objetivo de este estudio fue analizar la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícolas con dos índices que sirven para evaluar el estado del agrosistema en dos ejes principales: sostenibilidad productiva (*As*) y suficiencia alimentaria (*Aa*). El estudio se realizó para el distrito de desarrollo rural DDR189, en el extremo oriental del estado de Zacatecas, incluye los municipios de Calera, Enrique Estrada, Guadalupe, Morelos, Pánuco, Vetagrande, Trancoso, Villa de Cos y Zacatecas. El principal cultivo de esta región es el frijol (*Phaseolus vulgaris*), es seguido por especies destinadas a forraje, maíz (*Zea mays*) y avena (*Avena* spp.), y por chile (*Capsicum* spp.) como producto emergente desde el 2005. La producción agrícola presenta valores bajos de sostenibilidad relacionados con dos factores principales: 1) alto consumo de agua en su producción, y 2) producción de grandes cantidades en monocultivos. Este estudio muestra que el sistema productivo en el DDR189 presenta una baja aptitud agrícola de los suelos. En conclusión, el esquema de producción de monocultivos en grandes extensiones y el uso extensivo de las tierras de riego pone en riesgo la sostenibilidad del sistema en función del uso de agua y el abatimiento de los acuíferos.

Palabras clave: índice de sostenibilidad, suficiencia alimentaria, producción agrícola, consumo.

ABSTRACT

The arid conditions of the north-central region of Mexico are limiting agricultural and livestock production, as water availability depends on the amount, spatial and temporal distribution of precipitation. The objective of this study was to analyze the sustainability of agricultural production systems with two indices used to evaluate the state of the agro-system in two main areas: production sustainability (*As*) and food self-sufficiency (*Aa*). The study was conducted for the DDR189 (Rural Development District), on the eastern end of the State of Zacatecas that includes the municipalities of Calera, Enrique Estrada, Guadalupe, Morelos, Pánuco, Vetagrande, Trancoso, Villa de Cos and Zacatecas. The main crop of this region is bean (*Phaseolus vulgaris*), followed by species for forage, corn (*Zea mays*), and oats (*Avena* spp.), and by pepper (*Capsicum* spp.) as an emerging product after 2005. Agricultural production has low values of sustainability related to two main factors: 1) high water consumption for its production, and 2) high volume production in monocultures. This study shows that the production system in the DDR189 has a low agricultural suitability of soils. In conclusion, the production scheme of monocultures over large areas and the extensive use of irrigated land threaten the sustainability of the system based on the use of water and the lowering of aquifers.

Key words: sustainability index, food self-sufficiency, agricultural production, consumption.

INTRODUCTION

The crop production systems under semi-arid and arid conditions require more water to meet their growth. The effect of farmland

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: diciembre, 2011. Aprobado: enero, 2013.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 47: 181-193. 2013.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de cultivos en condiciones de aridez y semiaridez requieren mayor cantidad de agua para satisfacer su crecimiento. Los efectos de la degradación de tierras de cultivo es la desertificación y pérdida de productividad relacionada con la presión que ejerce el sistema social-cultural sobre el sistema ecológico (Reynolds y Stafford, 2002). Por tanto, se cuestiona los costos sociales y ecológicos del desarrollo visto sólo en la dimensión económica (Andreoli y Tellarini, 2000). Una mayor demanda de recursos genera mayor presión de los sistemas de producción primaria, y pone en situación frágil a los sistemas ecológicos en regiones semiáridas, que tienen recursos más limitados (Acosta-Díaz *et al.*, 2009).

La condición de semiaridez de la región centro-norte de México es un factor importante porque la disponibilidad de agua está en función de la cantidad de precipitación y su distribución espacial y temporal (Bustamante-Wilson, 2008). Esta disponibilidad de agua está amenazada por las tendencias globales del cambio climático. La variación diurna hacia una temperatura más alta causa mayor evaporación y cambios altos en la precipitación que afectan la producción agrícola de temporal (Pineda-Martínez *et al.*, 2007; Acosta-Díaz *et al.*, 2009).

En el Altiplano Mexicano hay frecuentes periodos de sequía, gran variabilidad estacional de la precipitación (Seager *et al.*, 2009), y menor oscilación diurna de la temperatura (Brito-Castillo *et al.*, 2009). Esto sitúa a la región del Altiplano de Zacatecas en un punto crítico de fragilidad de sus recursos, principalmente el agua cuyo abasto total es de agua subterránea y de ésta se usa 97 % para producción agrícola (CONAGUA, 2002).

Debido a la comparativamente baja productividad de las zonas semiáridas, hay una conversión agrícola hacia la siembra de forrajes, que es la cadena agrícola más importante en el estado de Zacatecas (Sánchez y Rumayor, 2010). Los forrajes son exportados a otros estados, causando desequilibrios de los recursos naturales por la conversión de tierras de agostaderos a tierras de cultivo y mayor uso de agua subterránea, y también socio-culturales por el cambio de actividades primarias y procesos de migración (Delgado y Rodríguez, 2005). El principal problema de los cultivos exportados es la pérdida efectiva de agua en el territorio (Aldaya *et al.*, 2010).

degradation is desertification and loss of productivity related to pressure exerted by the social-cultural system on the ecological system (Reynolds and Stafford, 2002). Therefore, the social and ecological costs of development which is only seen by the economic dimension are questioned (Andreoli and Tellarini, 2000). An increased demand for resources generates greater pressure of primary production systems, and puts in a point of fragility the ecological systems in semiarid regions, which have more limited resources (Acosta-Díaz *et al.*, 2009).

The condition of semi-aridity in the north-central region of Mexico is an important factor because water availability depends on the amount of precipitation and its spatial and temporal distribution (Bustamante-Wilson, 2008). This water availability is threatened by global trends of climate change. The diurnal variation towards a higher temperature causes more evaporation and more changes in precipitation affecting rainfed agricultural production (Pineda-Martínez *et al.*, 2007; Acosta-Díaz *et al.*, 2009).

In the Mexican Altiplano there are frequent periods of drought, large seasonal rainfall variability (Seager *et al.*, 2009), and lower diurnal temperature oscillation (Brito-Castillo *et al.*, 2009). This puts the Altiplano region of Zacatecas in a critical point of fragility of its resources, mainly water whose total water supply comes from groundwater, of which 97 % is used for agricultural production (CONAGUA, 2002).

Due to the comparatively low productivity of semiarid areas, there is an agricultural conversion to forage planting becoming the most important agricultural chain in the state of Zacatecas (Sánchez and Rumayor, 2010). Forages are exported to other states, causing imbalances of natural resources by land conversion from rangelands to croplands and an increased groundwater use, and also by changing sociocultural primary activities and migration processes (Delgado and Rodríguez, 2005). The main problem of exported crops is the effective water loss in the territory (Aldaya *et al.*, 2010).

Sustainability evaluation of agricultural production systems has a greater degree of difficulty primarily due to its multidimensional origin (Sepúlveda *et al.*, 2005; Sarandon and Flores, 2009). There are no universal indicators of agricultural sustainability that can be used to evaluate any

La evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola tiene un grado de dificultad mayor debido principalmente a su origen multidimensional (Sepúlveda *et al.*, 2005; Sarandón y Flores, 2009). Se carece de indicadores universales de sostenibilidad agrícola que se puedan usar para evaluar cualquier situación (Berroterán y Zinck, 2000; Salamini, 2000; Perales *et al.*, 2009). La evaluación y el análisis de la sostenibilidad pueden estar en función de factores inherentes a la multidimensionalidad del concepto (ecológica, económica, social, cultural y temporal). Se han propuesto sistemas de indicadores de desarrollo sostenible que sirvan de base sólida para adoptar decisiones en todos los niveles y que contribuyan a una sostenibilidad autorregulada de los sistemas integrados por el ambiente y el desarrollo (Sepúlveda *et al.*, 2005).

En el presente estudio se proponen dos índices para evaluar estado del agrosistema, en dos ejes principales: sostenibilidad productiva y suficiencia alimentaria; estos índices introducen criterios productivos, físicos y de sostenibilidad. La hipótesis fue que existe suficiencia alimentaria en el territorio; de acuerdo con la capacidad de producción es posible generar suficientes recursos para satisfacer la alimentación de sus pobladores. Por ello, el principal objetivo fue evaluar las condiciones del sistema de producción agrícola en un distrito de desarrollo rural del semidesierto del estado de Zacatecas, basado en medidas de sostenibilidad y criterios alimentarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionó el distrito de desarrollo rural DDR189, en el extremo oriental del estado de Zacatecas, que colinda con el estado de San Luis Potosí (Figura 1A). Las zonas de cultivo se encuentran principalmente en tierras ejidales. El clima en la región en estudio es del tipo seco templado (BS1kw(w)(e)gw") (García, 2004), es extremoso, con una oscilación anual de temperaturas medias mensuales entre 7 y 14 °C (e), el mes más cálido es antes del solsticio de verano y de la temporada lluviosa (g). Hay dos máximos de lluvias separados por dos estaciones secas, una larga en la mitad fría del año y una corta en la mitad de la temporada lluviosa (w") (condición canícula) la cual es importante porque ocurre en el periodo de crecimiento de la vegetación (Magaña *et al.*, 1999; Pineda-Martínez *et al.*, 2007). La precipitación media anual varía de 300 a 400 mm y una temperatura media de 12 °C del mes más frío y 21 °C del mes cálido (Figura 1B).

situation (Berroterán and Zinck, 2000; Salamini, 2000; Perales *et al.*, 2009). Sustainability evaluation and analysis can be as a function of factors inherent in the very multidimensionality of the concept (ecological, economic, social, cultural and temporal). Indicator systems for sustainable development have been proposed to serve as solid bases for decision-making at all levels and contribute to a self-regulating sustainability of the integrated systems by environment and development (Sepúlveda *et al.*, 2005).

In this study, two indices are proposed to evaluate the state of the agro-system in two main areas: productive sustainability and food self-sufficiency, these indices introduced productive, physical and sustainable criteria. The hypothesis was that there is food sufficiency in the territory; *i.e.*, according to the production capacity it is possible to generate sufficient resources to supply food for its people. Therefore, the main objective was to evaluate the conditions of the agricultural production system in a semi-desert Rural Development District in the state of Zacatecas, based on sustainability measures and food criteria.

MATERIALS AND METHOD

The Rural Development District DDR189 on the eastern end of the state of Zacatecas was chosen which borders the state of San Luis Potosí (Figure 1A). Growing areas are mainly on communal lands. The climate in the study region is temperate dry type (BS1kw(w)(e)gw") (García, 2004), extreme, with an annual oscillation of monthly mean temperatures between 7 and 14 °C (e), the warmest month is before the summer solstice and the rainy season (g). There are two maxima of rainfalls separated by two dry seasons, a long in the half cold season of the year and a short in the half of the rainy season (w") (canicula condition) which is important because it occurs in the vegetative growth period (Magaña *et al.*, 1999; Pineda-Martínez *et al.*, 2007). Average annual rainfall ranges from 300 to 400 mm and an average temperature of 12 °C in the coldest month and 21 °C in the warmest month (Figure 1B).

Indices

The food self-sufficiency index is defined as a production-consumption relationship, indicating the capacity of a territory, basin or micro-region to generate their own food. The index proposed is a linear construction of all products of a food basket

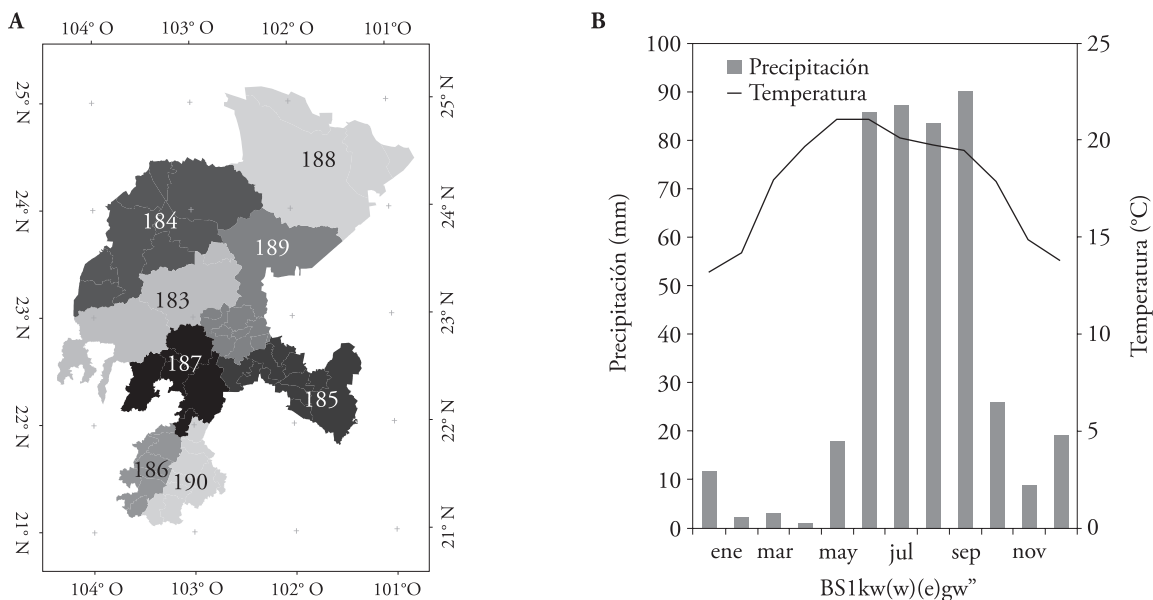


Figura 1. (A) Mapa de distribución de los Distritos de Desarrollo Rural; se muestra la localización del DDR189 en la región oriente del estado de Zacatecas. (B) Climograma para la región del DDR189; se muestra el tipo de clima y los valores promedio de temperatura y precipitación mensual acumulada.

Figure 1. (A) Distribution map of the Rural Development Districts; it shows the location of DDR189 in the eastern part of the state of Zacatecas. (B) Climogram for DDR189 region; it shows the type of climate and average values of temperature and accumulated monthly precipitation.

Índices

El índice de suficiencia alimentaria se define como una relación producción-consumo, que indica la capacidad de un territorio, cuenca o microrregión para generar sus propios alimentos. El índice aquí propuesto puede ser una construcción lineal de todos los productos de una canasta alimentaria y su cantidad total producida en esa región en particular: condición mínima alimentaria.

$$Aa = \left(\frac{Pi - Ci}{Pi} \right) \quad (1)$$

donde Aa es el índice de suficiencia alimentaria, Pi es la producción total (t) por cultivo del territorio, y Ci es el consumo total (t) de cada cultivo.

Bajo las siguientes condiciones Aa tomará los valores:

$$\begin{cases} \text{Si } Pi > Ci; Aa > 0 \\ \text{Si } Pi < Ci; Aa < 0 \\ \text{Si } Pi = Ci; Aa = 0 \end{cases}$$

Para los valores positivos de Aa , existirá suficiente producción para satisfacer el consumo. El máximo valor de Aa será cuando el consumo es cero. Los valores negativos indican que existe menor producción que el consumo. Para lo cual la región debe tener un subsidio de producción y se puede

and its total production in that particular region: food minimum condition.

$$Aa = \left(\frac{Pi - Ci}{Pi} \right) \quad (1)$$

where Aa is the food self-sufficiency index, Pi is the total production (t) per crop of the territory, and Ci is the total consumption (t) of each crop.

Under the following conditions Aa will take the values:

$$\begin{cases} \text{If } Pi > Ci; Aa > 0 \\ \text{If } Pi < Ci; Aa < 0 \\ \text{If } Pi = Ci; Aa = 0 \end{cases}$$

For positive values of Aa , there will be enough production to meet consumption. The maximum value of Aa will be when consumption is zero. Negative values indicate that there is less production than consumption. For this, the region must have a production subsidy and this can be translated not as food poverty but as food dependency.

For forages, the conversion to meat products was calculated to be included in the consumption values proposed in the food basket. Since there is no direct consumption of forages to include in the calculations of the forage product indexes, the amount of dry matter converted into meat production was calculated according to the equivalences of animal unit (AU). Thus the total

traducir no como pobreza alimentaria sino como dependencia alimentaria.

Para los forrajes se calculó la conversión a productos cárnicos para ser incluidos en los valores de consumo propuestos en la canasta alimentaria. Dado que no existe un consumo directo de forrajes, para incluir en los cálculos de los índices los productos forrajeros se calculó la cantidad de materia seca transformada en producción de carne de acuerdo con las equivalencias de unidad animal (UA). De esa forma se calcula el total anual de consumo de cárnicos, incluidos bovino, caprinos y aves, en su equivalencia en UA de acuerdo con los valores de SAGARPA (2002). Así se obtiene una cantidad en UA de la cual se puede calcular consumo en MS UA⁻¹ anual. Después se calcula el índice con la producción de forrajes contra el consumo de cárnicos.

El propósito de este estudio es mostrar las capacidades y limitaciones de un territorio específico para generar sus propios insumos (Sepúlveda *et al.*, 2005). Pero el cálculo está basado en producción de alimentos y no se considera la transformación de alimentos preparados.

En un enfoque de sostenibilidad productiva se debe considerar todas las direcciones de carácter ambiental posibles (Sepúlveda *et al.*, 2005). En la construcción de este índice se propone la ecuación (2) que represente el grado de sostenibilidad en términos del consumo de agua, suelo y fertilizantes del sistema agrícola.

$$As = \left(\frac{Pi - Ci}{Pi} \right) * \left(\frac{h}{Pr} Ri \right) - fi - Ei \quad (2)$$

donde *As* es el índice de sostenibilidad productiva, *Pi* es la producción total (t) por cultivo del territorio, *Ci* es el consumo total (t) de cada cultivo, *h* es el volumen métrico de agua requerido por ha de cultivo, *Pr* es la precipitación expresada en volumen por unidad de área, *Ri* es el rendimiento de producción (t) por unidad de área de cada cultivo del iesimo cultivo, *fi* un factor por uso de fertilizantes expresado en peso (t) de fertilizante por unidad de peso producido del iesimo cultivo, y *Ei* es el coeficiente de erosión en peso de suelo perdido por cada t producida. Este índice incluye *Aa* que representa el impacto de la relación producción-consumo.

Para este estudio el concepto de sostenibilidad productiva está en función del consumo de agua, principalmente por los niveles de abatimiento de los acuíferos, de 0.7 a 1.6 m año⁻¹ (CONAGUA, 2002), debido a que los esquemas de producción no tecnificada utilizan altos volúmenes de agua subterránea. Con base en estos índices se evaluó el estado actual de la capacidad del sistema de producción en el área del DDR189 para satisfacer la demanda alimentaria.

annual consumption of meat is calculated, including beef, goats and poultry in their equivalence in AU according to the values of SAGARPA (2002). Thus, an amount in AU is obtained, from which consumption in DM AU-1 can be calculated annually. Then the index is calculated with forage production against meat consumption.

The purpose of this study is to show the capabilities and limitations of a specific territory to generate their own inputs (Sepúlveda *et al.*, 2005). But the calculation is based on food production and transforming of prepared foods is not considered.

In a productive sustainability approach all the directions of possible environmental character should be considered (Sepúlveda *et al.*, 2005). In the construction of this index the equation (2) is proposed representing the degree of sustainability in terms of water consumption, soil water erosion and fertilizer use in the agricultural system.

$$As = \left(\frac{Pi - Ci}{Pi} \right) * \left(\frac{h}{Pr} Ri \right) - fi - Ei \quad (2)$$

where *As* is the productive sustainability index, *Pi* is the total production (t) per crop of the territory, *Ci* is the total consumption (t) of each crop, *h* is the metric volume of water required per ha of crop, *Pr* is the precipitation expressed in volume per unit area, *Ri* is the production yield (t) per unit area of each crop of ...th crop, *fi* a factor per use of fertilizers expressed in weight (t) of fertilizer per unit of weight produced of ...th crop and *Ei* is the coefficient of erosion in weight of soil lost per every t produced. This index includes *Aa* representing the impact of the production-consumption relationship.

For this study the concept of productive sustainability is based on water consumption, mainly due to abatement levels of aquifers, from 0.7 to 1.6 m year⁻¹ (CONAGUA, 2002), because the non-technical production schemes use high volumes of groundwater. Based on these indices the current state of the production system capacity was evaluated in the DDR189 area to meet the food self-sufficiency.

Agroecological requirements and agricultural production data

The SEDAGRO-SAGARPA database was used (Siacon, 2009). The data are of the 2000-2009 period of production, yield, area sown and harvested area for irrigation and rainfed crops. For this study rainfed agriculture is defined as all lands that have no access to water sources additional to precipitation.

In order to build the consumption values, we used the amount proposed in the Canasta Normativa Alimentaria (CNA) -Food Basket Regulations of CONEVAL (2007). Based

Requerimientos agroecológicos y datos de producción agrícola

Se utilizó la base de datos de la SEDAGRO-SAGARPA (Siacon, 2009). Los datos son del periodo 2000-2009 de producción, rendimiento, superficie sembrada y superficie cosechada para cultivos de riego y temporal. Para este estudio se define como agricultura de temporal todas aquellas tierras que no tienen accesos a fuentes de agua adicional a la precipitación.

Para construir los valores de consumo, se usó la cantidad propuesta en la Canasta Normativa Alimentaria (CNA) de CONEVAL (2007). Con base en estos valores de consumo individual diario, se calculó el consumo total anual para la población de las comunidades rurales y zonas urbanas del área de influencia del DDR189 proyectada por cada año del periodo de estudio. Este criterio se usó en todos los cálculos presentados, ya que representa un estado alimentario idealizado con criterios mínimos por encima de la línea de pobreza alimentaria (CONEVAL, 2007).

Los valores usados en requerimientos agroecológicos de los cultivos de agua (h), erosión de suelo (Ei) y fertilización (f) para calcular el índice As (Ec. 2), son de estudios para las especies cultivadas en la región (Ruiz *et al.*, 1999; SIACON, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción agrícola

La información sobre los cultivos del distrito de desarrollo rural DDR189 se muestra en el Cuadro 1.

El principal cultivo de la región es el frijol (*Phaseolus vulgaris*), y es seguido por el maíz (*Zea mays*) y la avena (*Avena sativa*). La siembra de chile (*Capsicum* spp.) aumentó en el DDR189, con una producción máxima en el periodo estudiado de 164 492.5 t en el 2005. Pero los datos del periodo (2000-2009) indican una disminución generalizada de superficie sembrada de chile.

En la Figura 2A se observa una conversión productiva desde el 2004, de producción de granos, a especies forrajeras y cultivos de mayor rentabilidad económica. Así, la zanahoria (*Daucus carota*), el chile y la alfalfa (*Medicago sativa*), muestran un gran aumento en la superficie sembrada. En contraste han disminuido las superficies de los cultivos de granos, principalmente maíz y frijol.

on these values of daily individual consumption, the total annual consumption was calculated for the population of rural communities and urban zones of the area of influence of the DDR189 district projected for each year of the study period. This criterion was used in the total of calculations presented because it represents an idealized food state with minimum criteria above the food poverty line (CONEVAL, 2007).

The values used in crop agro-ecological requirements of water (h), soil erosion (Ei) and fertilization (f) for estimating the index As (Eq. 2), were taken from studies for crop species in the region (Ruiz *et al.*, 1999; SIACON, 2009).

RESULTS AND DISCUSSION

Agricultural production

Information on crops of the irrigation district DDR189 is shown in Table 1.

The main crop of the region is bean (*Phaseolus vulgaris*), followed by maize (*Zea mays*) and oats (*Avena sativa*). The sowing of pepper (*Capsicum* spp.) has increased in the DDR189, with a maximum production during the study period of 164 492.5 t in 2005. But data for the period (2000-2009) indicate a general decrease of the area planted with pepper.

Figure 2A shows a productive conversion from the year 2004, from grain production to forage species and crops of higher economic returns. Such is the case of carrot (*Daucus carota*), pepper and alfalfa (*Medicago sativa*), showing a significant increase in the area planted. In contrast, the areas of grain crops decreased, mainly maize and beans.

Analysis of food self-sufficiency and productive sustainability

Food self-sufficiency Aa

The production-consumption relationship can be expressed as a sum of indices of all products that satisfy a food basket. Thus an index is obtained based on food that determines a position with respect to the line of nutritional deficiency (CONEVAL, 2007). The index provides information on consumption in terms of abatement of a food line. This line indicates the minimum amount of consumption per capita of food to meet a food basket. In this study this line is defined as the total annual production to meet consumption. Figure 3B shows the average for the

Cuadro 1. Datos de cultivos en el DDR189 Zacatecas; valores promedio para el periodo 2000 al 2009 (SIACON, 2009).**Table 1. Data of crops in the DDR189 Zacatecas; average values for the period 2000 to 2009 (SIACON, 2009).**

Cultivo	Nombre científico	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Consumo (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
Hortalizas						
Ajo	<i>Allium sativum</i> L.	1126.20	1126.20	12 509.17	3.05	10.94
Brocoli	<i>Brassica oleracea</i> L.	13.83	13.83	227.67	22.72	16.85
Calabacita	<i>Cucurbita pepo</i> L.	28.5	27.83	631.42	54.66	14.65
Cebolla	<i>Allium cepa</i> L.	1689.20	1678.20	56 041.35	140.24	33.25
Chile verde	<i>Capsicum annuum</i> L.	19 109.90	18 508.68	138 821.74	109.75	7.55
Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i> L.	5.43	5.43	41.86	20.00	8.36
Col (repollo)	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Viridis</i> L.	5	5	92.8	22.23	19.8
Lechuga	<i>Lactuca sativa</i> L.	48.33	45	888.33	22.65	19.35
Nopalitos	<i>Opuntia</i> spp.	1.5	1.5	19.05		12.75
Pepino	<i>Cucumis sativus</i> L.	23.17	22.83	918.67		56.63
Tomate rojo	<i>Lycopersicum esculentum</i> Mill.	632.45	625.15	28 766.55	1523.10	43.73
Tomate verde	<i>Physalis ixocarpa</i> Brot.	197.6	195.8	3250.96	1539.64	16.79
Forrajes						
Alfalfa verde	<i>Medicago sativa</i> L.	1158.83	1149.03	62 544.28	17 670.68	57.63
Avena forrajera	<i>Avena sativa</i> L.	32 556.63	26 987.13	265 302.05	17 524.08	9.78
Cebada forrajera	<i>Hordeum vulgare</i> L.	829.8	709.8	6165.13	17 524.08	13.3
Maíz forrajero	<i>Zea mays</i> L.	25 210.50	18 615.38	125 258.71	15 513.00	4.72
Nopal forraje	<i>Opuntia</i> spp.	17.5	17.5	140	2562.19	8
Pastos	<i>Gramineas</i> spp.	207.69	207.69	1194.56	16 181.28	7.38
Sorgo	<i>Sorghum vulgare</i> Pers.	492	484.38	7606.13	4234.99	10.76
Granos						
Canola	<i>Brassica napus</i> L.	3164.00	0	0		0
Cebada grano	<i>Hordeum vulgare</i> L.	1338.33	1312.22	1518.12	1851.46	1.2
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	108 141.30	84 574.87	50 593.22	2606.55	0.51
Girasol	<i>Helianthus annuus</i> L.	26	26	39.75		6.32
Maíz grano	<i>Zea mays</i> L.	17 273.80	15 986.79	28 099.77	17 400.59	2.76
Trigo grano	<i>Triticum aestivum</i> L.	786.9	610.4	646.98	980.30	1.03
Frutales						
Ciruela	<i>Prunus domestica</i> L.	2.7	2.6	7.29	8.00	2.67
Durazno	<i>Prunus persica</i> L.	4440.78	3744.81	4195.78	28.45	0.97
Manzana	<i>Malus communis</i> L.	148.33	140.33	466.18	81.30	3.82
Membrillo	<i>Cydonia oblonga</i> Mill.	1.5	1.5	3.59	6.00	2.19
Nuez	<i>Juglans regia</i> L.	116.08	116.08	4172.01	2.04	9.04
Pera	<i>Pyrus communis</i> L.	1	1	2.97	69.88	2.97
Tuna	<i>Opuntia</i> spp.	427.55	426.7	1030.95	14.23	2.34
Uva	<i>Vitis</i> spp.	352.14	348.92	3614.23	65.85	9.93
Tubérculos						
Camote	<i>Ipomea batatas</i> L.	36	36	656.35	1412.42	18.09
Papa	<i>Solanum tuberosum</i> L.	407.4	403.8	15 660.97	1367.02	35.28
Zanahoria	<i>Daucus carota</i> L.	2389.05	2374.05	68 142.18	67.07	28.6

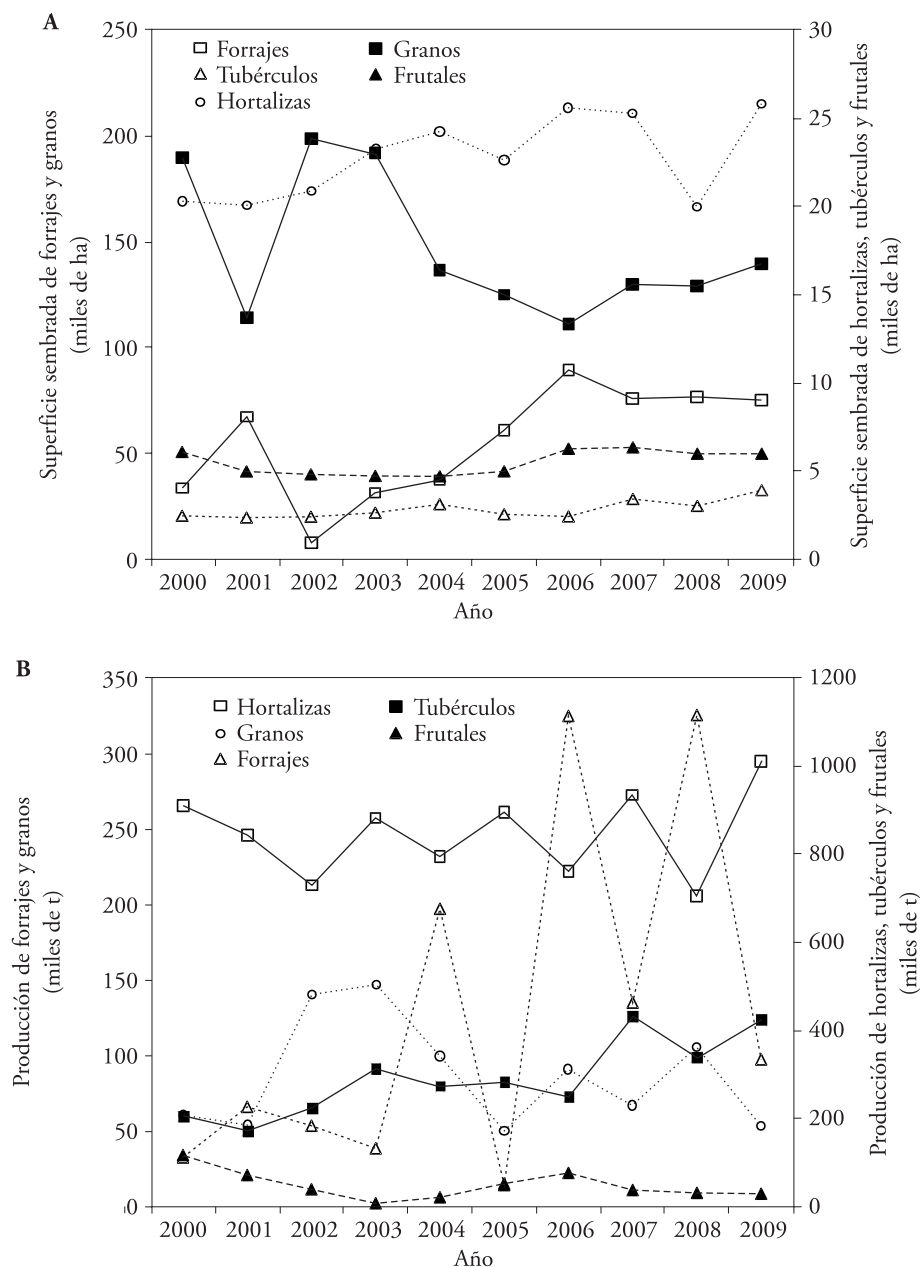


Figura 2. (A) Superficie sembrada por grupos de cultivos, y (B) producción anual en toneladas por grupos de cultivos.

Figure 2. (A) Area sown per groups of crops, and (B) annual production in tons per group of crops.

Análisis de suficiencia alimentaria y sostenibilidad productiva

Suficiencia alimentaria Aa

La relación producción-consumo se puede expresar como una sumatoria de índices de todos los productos que satisfacen una canasta alimentaria. Así

period 2000 to 2009 of the relation Aa of crops produced in the DDR189.

Aa has its maximum limit 1 with a consumption equal to zero. The index does not have a minimum limit and could present an indeterminacy in the case where $P_i=0$ (of Equation 1). For this case, simply those crops not produced in the DDR189 are not considered in the analysis.

se obtiene un índice en función de los alimentos que determinan una posición con respecto de la línea de deficiencia alimentaria (CONEVAL, 2007). El índice ofrece información sobre consumo en función del abatimiento de una línea alimentaria. Esta línea indica la cantidad mínima de consumo per cápita de alimentos para satisfacer una canasta alimentaria. En el presente estudio esta línea se define como la cantidad total anual de producción para satisfacer el consumo. La Figura 3B muestra el promedio para el periodo de 2000 al 2009 de la relación Aa de los cultivos producidos en DDR189.

El Aa tiene su límite máximo 1 con un consumo igual a cero. El índice no tiene un límite mínimo y puede presentar una indefinición en el caso en que $P_i=0$ (de la Ec. 1). Para este caso simplemente aquellos cultivos no producidos en el DDR189 no son considerados en el análisis.

El grupo de hortalizas y tubérculos presentan valor cercanos a 1 (Figura 3A), principalmente debido a sus valores muy bajos de consumo. El grupo de granos muestra un valor ligeramente menor

The group of vegetables and stem tubers present value close to 1 (Figure 3A), mainly due to their very low consumption values. The grain group shows a slightly lower value ($Aa=0.74$), because the values of consumption are high in beans, corn and wheat. Aa values of Figure 3A in all crop groups indicate that there is production enough to meet the consumption demand of population within the polygon defined by the DDR189.

The meat consumption analysis shows an average annual demand of 6140.19 t according to data of the food basket (CONEVAL, 2007). The conversion in tons necessary of beef with an average weight in carcass of 0.2 t AU^{-1} is 30 700.95 AU year^{-1} . The space required for grazing, considering that a dry matter (DM) production of the rangeland of a semi-arid zone is 0.3 t ha^{-1} (Medina-García *et al.*, 2009), would be 41 446.29 ha of rangeland to obtain that beef production. If all cattle were in pens and backyard, the amount of forage DM needed is 138 154.28 t year^{-1} . If all fodder were forage corn in irrigation with a yield of 4.72 t ha^{-1} (SIACON,

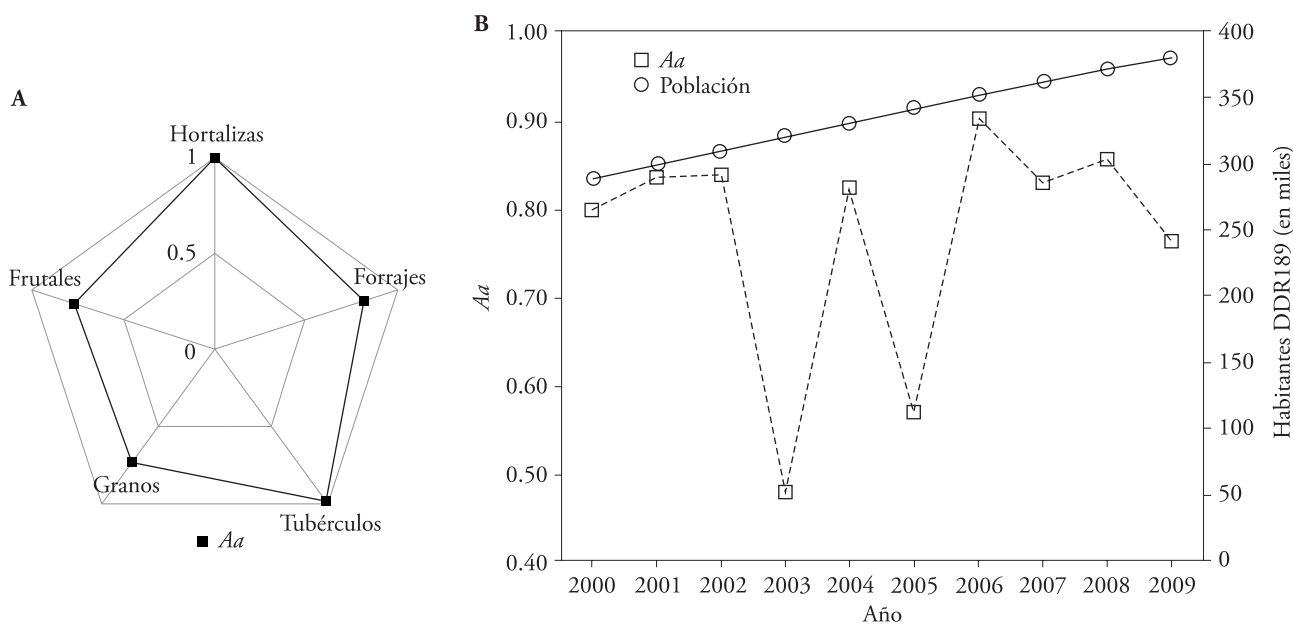


Figura 3. Índice de la relación producción-consumo. (A) Índice de suficiencia alimentaria (Aa) por grupos de cultivos en su relación de producción-consumo. En el grupo de forrajes se incluye el consumo y producción de carnes en su conversión a materia seca vegetal. (B) Número de habitantes dentro del polígono DDR189 y Aa , como una combinación lineal (promedio) para el total de cultivos en una serie de tiempo.

Figure 3. Index of the production-consumption relationship. (A) Food self-sufficiency index (Aa) per crop groups in their production-consumption relationship. The forage group includes consumption and production of meat in its conversion into plant dry matter. (B) Number of inhabitants within the DDR189 polygon, and Aa , as a linear combination (average) for total crops in a time series.

($Aa=0.74$), porque los valores de consumo son altos en frijol, maíz y trigo. Los valores de Aa de la Figura 3A de todos los grupos de cultivos indican que existe producción suficiente para satisfacer la demanda del consumo de la población dentro del polígono definido por el DDR189.

El análisis del consumo de carne muestra una demanda promedio anual de 6140.19 t de acuerdo con los datos de la canasta alimentaria (CONEVAL, 2007). La conversión en toneladas necesarias de bovino con un peso medio en canal de 0.2 t UA^{-1} es 30 700.95 $UA\ año^{-1}$. El espacio necesario de agostadero, considerando una producción de materia seca (MS) del agostadero de zonas semiáridas es 0.3 t ha^{-1} (Medina-García *et al.*, 2009), por lo que se necesitan 41 446.29 ha de agostadero para obtener esa producción de carne. Si todo el ganado es estabulado y de traspato, la cantidad de MS de forraje necesario es 138 154.28 t $año^{-1}$. Si todo el forraje fuera maíz forrajero en riego con un rendimiento de 4.72 t ha^{-1} (SIACON, 2009), se necesitarían 29 269.98 ha, 13.1 % de la superficie total y 80 % de la superficie de riego.

Respecto a los granos, existe un alto consumo de trigo y una baja producción dentro del DDR189, lo cual implica valores bajos de $Aa=-2.9$ para este periodo. El maíz en grano también presenta un déficit con un valor $Aa=-2.03$. Sólo estos dos cultivos muestran un índice negativo y son los de mayor importancia dentro de la canasta con un consumo individual total de 171 g d^{-1} .

Índice de sostenibilidad productiva As

Para análisis de la sostenibilidad de la producción agrícola se hizo el cálculo para cada grupo de cultivos se realizó mediante la Ec. (2). El As es una medida de la cantidad producción y consumo de cada cultivo.

Los grupos de cultivos presentan valores negativos de As relacionados a una producción alta y valores bajos de consumo; la excepción es el grupo de granos principalmente por la producción de frijol (Figura 4A). El cociente As/Aa muestra la parte biofísica del índice. Esto significa que se filtra la relación producción-consumo y se puede observar el comportamiento de los factores relacionados con el agua, suelo y fertilización. En la Figura 4B se presenta una relación entre la precipitación y el cociente que indica un déficit hídrico debido

2009), 29 269.98 ha would be required, 13.1 % of the total area and 80 % of the irrigated area.

Regarding grains, there is a high wheat consumption and low production inside the DDR189, which implies low values of $Aa=-2.9$ for this period. Corn grain also has a deficit with a value $Aa=-2.03$. Only these two crops show a negative index and are those of more importance within the basket with a total individual consumption of 171 g d^{-1} .

Index of productive sustainability As

For sustainability analysis of agricultural production a calculation was made for each crop group by Equation (2). The As is a measure for the amount of production and consumption of each crop.

The crop groups present negative values for As related to a high production and low consumption values, the exception is the grain group mainly bean production (Figure 4A). The As/Aa quotient shows the biophysical part of the index. This means that the production-consumption relationship is filtered and the behavior of the factors related to water, soil and fertilizer can be observed. Figure 4B shows a relationship between precipitation and the quotient that indicates a water deficit due mainly by the component h/Pr (Eq. 2) so that the groundwater component (h) becomes more important. Thus, the indices show that the specific territory, in terms of crops with high water requirements under irrigation, should make a more efficient use of water, suggesting greater mechanization.

The productive conversion of the DDR189 district has been oriented to crops of greater economic profitability since 2004. The corn and bean crops have declined in area resulting in a higher amount of area for pepper, garlic and forage oat (Sanchez and Rumayor, 2010). The analysis based on the components of production shows that there are crops that require more resources, mainly water. In this sense, if one takes into account the variability of precipitation (Figure 4B) and the proportion of total rainfed area sown against the area of irrigation ($T/R=5.6$), we see that there is still a heavy reliance on rain for production. In the DDR189 district bean is the main crop in surface and is a staple in the subsistence economy and at the same time is the

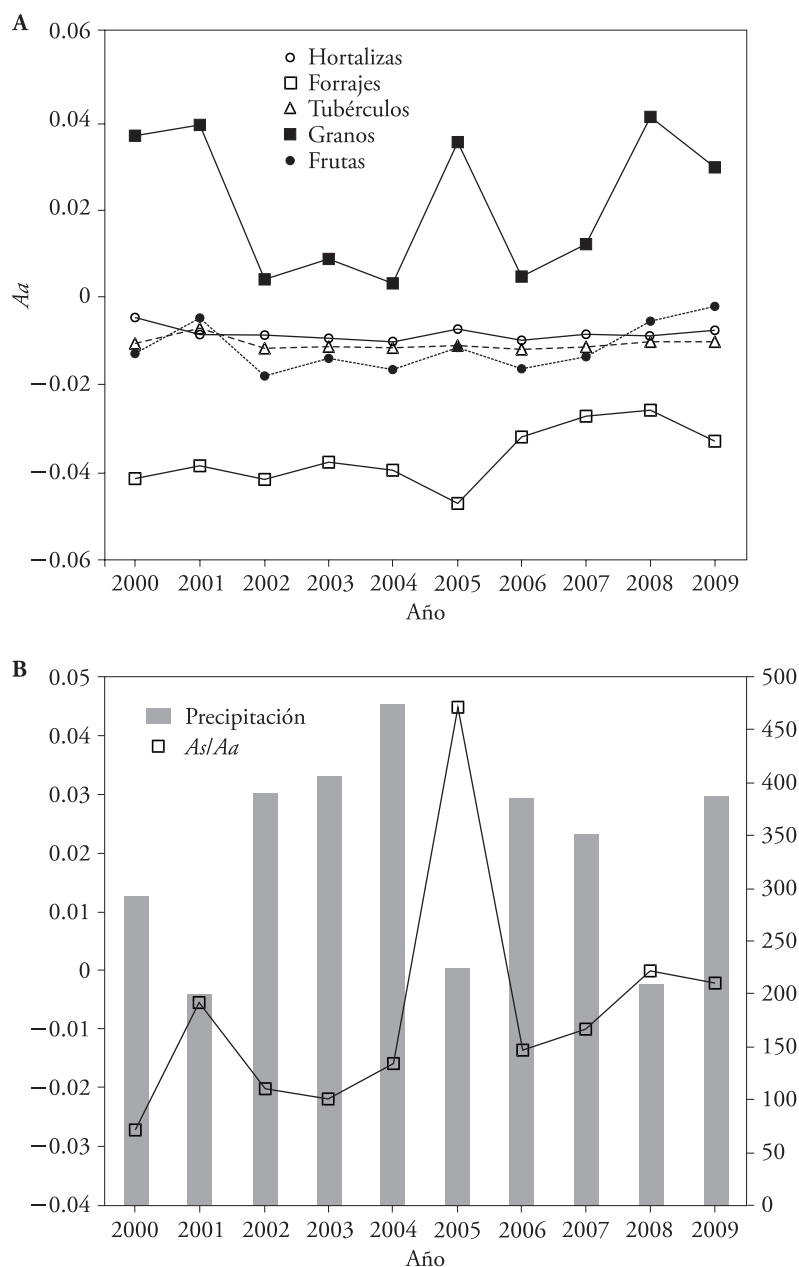


Figura 4. (A) Índice de sostenibilidad productiva A_s calculada por grupos de cultivos. (B) Cociente A_s/A_a y precipitación acumulada anual para el DDR189.

Figure 4. (A) Productive sustainability index A_s calculated per crop groups. (B) Quotient A_s/A_a and annual accumulated precipitation for DDR189.

principalmente por el componente h/Pr (Ec. 2) por lo que el componente de agua subterránea (h) se hace más importante. Así, los índices muestran que el territorio específico, en términos de cultivos con altos requerimientos hídricos bajo condiciones de riego, debe hacer un uso más eficiente del agua, es decir, mayor tecnificación.

product for sale and represents a major source of grain in the region and the country (Reyes-Rivas *et al.*, 2009; Borja-Bravo and García, 2008).

In the current scheme of agricultural production and in the context of the North America Free Trade Agreement (NAFTA) (Sáenz *et al.*, 2006), in the region analyzed there is a tendency to the export

La conversión productiva del DDR189 ha estado orientada a cultivos de mayor rentabilidad económica desde el 2004. Los cultivos de maíz y frijol han disminuido en superficie dando lugar a una mayor cantidad de área para chile, ajo y avena forrajera (Sánchez y Rumayor, 2010). El análisis con base en los componentes de la producción, muestra que hay cultivos que demandan mayor cantidad de recursos, agua principalmente. En este mismo sentido, si se toma en cuenta la variabilidad de la precipitación (Figura 4B) y la proporción la superficie total sembrada de temporal contra la superficie de riego ($T/R=5.6$), se observa que aún hay una gran dependencia de la lluvia para la producción. En el DDR189 el frijol es el cultivo principal en superficie y es un producto básico en la economía de autoconsumo; al mismo tiempo es producto para la venta y representa una fuente importante del grano en la región y el país (Reyes-Rivas *et al.*, 2009; Borja-Bravo y García, 2008).

En el esquema actual de la producción agrícola y en el contexto del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica (TLC) (Sáenz *et al.*, 2006), en la región analizada hay una tendencia al modelo exportador y por tanto la búsqueda del máximo nivel de ganancia de los cultivos. La relación entre el valor de la producción y costos de producción no necesariamente cumplen con la demanda alimentaria, sino que maximiza la ganancia económica. El esquema de mercado se dirige a una conversión productiva hacia cultivos que presentan un alza en su precio en el mercado. Por ello, se hace un uso intensivo de las tierras de riego en cultivos perennes y en dos ciclos. Pero en el escenario de mercado se plantea la conversión a cultivos de alto rendimiento económico, con un incremento en el consumo de agua. La proporción entre superficie de riego y de temporal muestra una reducción en la producción agrícola del territorio. En la medida que la superficie sembrada tiende a disminuir, la proporción temporal/riego (5.6 en 2000 a 2.5 en 2009) también disminuye ya que la superficie de riego se reduce en menor proporción que la de temporal (Bustamante-Wilson, 2008).

CONCLUSIONES

El territorio tiene el potencial productivo para satisfacer la demanda de consumo de todos los habitantes. El sistema de producción agrícola está fuera

del modelo y por tanto la búsqueda del máximo nivel de ganancias. La relación entre el valor de la producción y los costos de producción no necesariamente cumple con la demanda alimentaria, sino que maximiza el beneficio. El esquema de mercado se dirige a una conversión productiva hacia cultivos con un alza en su precio en el mercado. Por ello, se hace un uso intensivo de las tierras de riego en cultivos perennes y de ciclo corto. Pero en el escenario de mercado se plantea la conversión a cultivos de alto rendimiento económico, con un incremento en el consumo de agua. La proporción entre la superficie de riego y la de temporal muestra una reducción en la producción agrícola del territorio. A medida que la superficie sembrada tiende a disminuir, la proporción temporal/riego (5.6 en 2000 a 2.5 en 2009) también disminuye ya que la superficie de riego se reduce en menor proporción que la de temporal (Bustamante-Wilson, 2008).

CONCLUSIONS

The territory has the production potential to meet consumption demand for all inhabitants. The agricultural production system is outside the range necessary of sustainability and a good management of water resources. Given the conditions in the production system there is a growing trend towards forage species. This conversion produces an imbalance in the socio-economic-environmental system. The productive conversion in the DDR189 district should be in the sense of diversifying total production. Crops of higher profitability and high water consumption are not the most appropriate for this region.

Precipitation is correlated with a decrease in the index As. The scheme of monocrop production over large areas and extensive use of irrigated lands threatens the sustainability of the system based on the use of water and the subsequent lowering of aquifers.

—End of the English version—



de los márgenes necesarios de sostenibilidad y de un buen manejo de los recursos hídricos. Dadas las condiciones en el sistema de producción se muestra una tendencia de mayor cultivo hacia las especies forrajeras. Esta conversión produce un desequilibrio en el

sistema socio-económico-ambiental. La conversión productiva en el DDR189 debe ser en el sentido de diversificar la producción total. Cultivos de mayor rentabilidad económica y altos consumos hídricos no son los más apropiados para esta región.

La precipitación se correlaciona con una disminución del índice *As*. El esquema de producción de monocultivos en grandes extensiones y el uso extensivo de las tierras de riego, pone en riesgo la sostenibilidad del sistema en función del uso de agua y el subsecuente abatimiento de los acuíferos.

LITERATURA CITADA

- Acosta-Díaz E., J. A., Acosta-Gallegos, M. D., Amador-Ramírez, y J. S., Padilla-Ramírez. 2009. Efecto del riego suplementario en la producción de biomasa y grano de frijol de temporal en Zacatecas, México. *Agríc. Téc. Méx.* 35(2): 157-167.
- Aldaya M. M., P. Martínez S., and M. R. Llamas. 2010. Incorporating the water footprint and virtual water into policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain. *Water Resour. Manage.* 24(5): 941-958.
- Andreoli M., and V. Tellarini. 2000. Farm sustainability evaluation: methodology and practice. *Agr. Ecosyst. Environ.* 77: 43-52.
- Berrotarán, J. L., y J. A. Zinck. 2000. Indicadores de la sostenibilidad agrícola nacional cerealera. Caso de estudio: Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 17: 139-155.
- Borja-Bravo M., y J. García S. 2008. Políticas para disminuir las importaciones de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: un análisis por tipo de variedad. *Agrociencia* 42(8): 949-958.
- Brito-Castillo L, S.C. Díaz, and R. S. Ulloa H. 2009. Observed tendencies in maximum and minimum temperatures in Zacatecas, Mexico and possible causes. *Int. J. Climatol.* 29: 211-221.
- Bustamante-Wilson, J. G. 2008. Balance del estado de los recursos hídricos superficiales y subterráneos para determinar su ordenamiento productivo en el estado de Zacatecas. Tesis de doctorado. Doctorado en Ciencias Pecuarias. UAMVZ. Universidad Autónoma de Zacatecas. 100 p.
- CONEVAL. 2007. Aplicación de la metodología para la medición de la pobreza por ingresos y pruebas de hipótesis 2006. Nota Técnica. 12 p.
- CONAGUA. 2002. Determinación de la disponibilidad del agua en el acuífero chupaderos, estado de Zacatecas. Gerencia de Aguas. Subterráneas Subgerencia de Evaluación y Modelación Hidrogeológica. México. 18 p.
- Delgado, R., y H. Rodríguez. 2005. Los dilemas de la migración y el desarrollo en Zacatecas: El caso de la región de alta migración internacional. *In:* Delgado, R., y B. Knerr (coords). Contribuciones al análisis de la migración internacional y el desarrollo regional en México. Miguel Ángel Porrúa-Universidad Autónoma de Zacatecas, México. pp: 2-3.
- García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Quinta edición, Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F. 90 p.
- INEGI. 1981. Guías para la interpretación de cartografía. Edafología. INEGI. Aguascalientes, Ags. 48 p.
- Magaña V., J. Amador, and S. Medina. 1999. The mid-summer drought over Mexico and Central America. *J. Climate* 12: 1577-1588.
- Medina-García G., J. A. Zegbe D., J. Mena C., R. Gutiérrez L, M. Reveles H., R. Zandate H., J. A. Ruiz C., G. Díaz P, y M. Luna F. 2009. Potencial Productivo de Especies Agrícolas en el Distrito de Desarrollo Rural Zacatecas, Zacatecas. Libro Técnico 3. INIFAP. 209 p.
- Perales A., L. O., Alegre, J., y C. Félix. 2009. Indicadores de sustentabilidad del manejo de suelos en la producción de arveja (*Pisum sativum* L.). *Ecol. Aplicada* 8(1-2): 47-52.
- Pineda-Martínez L. F., N. Carbajal, and E. Medina-Roldán. 2007. Regionalization and classification of bioclimatic zones applying principal components analysis (PCA) in the central-northeastern region of México. *Atmosfera* 20(2): 133-146.
- Reyes-Rivas E., O. Pérez V., y L. E. Padilla B. 2009. Diferenciación de productores de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en una zona de alta migración en Zacatecas, México. *Rev. Geografía Agríc.* 42: 31-50.
- Reynolds J. F., and D. M. Stafford S. 2002. Do humans cause deserts? *In:* Reynolds, J. F., and D. M. Stafford S. (eds). *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* Dahlem Workshop Report 88, Dahlem University Press, Berlin. pp: 1-21.
- Ruiz C., J. A., G. Medina G., I. J. González A., C. Ortiz T., H. E. Flores L., R. A. Martínez P, y M. K. Bierly F. 1999. Requerimientos Agroecológicos de Cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Libro Técnico Núm. 3. Conexión Gráfica, Guadalajara, Jalisco, México. 324 p.
- Sáenz A.T., J. A. García S., y J. S. Mora F. 2006. Efectos de la eliminación de aranceles y tasa de cambio sobre el mercado de frijol en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(4): 357-364.
- SAGARPA. 2002 Manual de Organización de la Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero. Documento Oficial. 93 p.
- Salamini F., 2000. Sustainable agricultural production. *In:* Heap, B., and J. Kent (eds). *Towards Sustainable Consumption. A European Perspective.* The Royal Society London, pp: 59-66.
- Sánchez T., B. I., y A. Rumayor R. 2010. Evaluación del entorno para la innovación tecnológica en Zacatecas: identificación de las cadenas productivas relevantes. Publicación especial N° 25. INIFAP. CIRNOC. CEZAC. 27 p.
- Sarandón, C., y C. Flores. 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: Una propuesta metodológica. *Agroecología* 4: 19-28.
- Seager R., M. Ting, M. Davis, N. Cane, J. Naik, C. Nakamura, E. Li, D. Cook, and W. Stahle. 2009. Mexican drought: an observational modeling and tree ring study of variability and climate change. *Atmósfera* 22(1): 1-31.
- Sepúlveda, S., H. Chavarría, y P. Rojas. 2005. Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de los territorios rurales (EL BIOGRAMA) IICA, Costa Rica. 113 p.
- SIACON. 2009. Sistema Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable, SEGAGRO. http://www.oedrus-zacatecas.gob.mx/oedrus_zac. (Consultado: octubre, 2010).