



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la  
Agroindustria y la Agricultura Mundial**

**Precio de eficiencia social para el agua de riego en México: el caso de  
los distritos de riego pertenecientes a las regiones administrativas  
III, VIII y XII.**

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE:  
DOCTOR EN PROBLEMAS ECONÓMICO AGROINDUSTRIALES**

**PRESENTA:**

**JOSÉ LUIS / MONTESILLO CEDILLO**



**DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**



Septiembre de 2003

Chapingo, Estado de México

F-2816

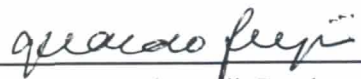
**Precio de eficiencia social para el agua de riego en México: el caso de los  
distritos de riego pertenecientes a las regiones administrativas  
III, VIII y XII.**

Tesis realizada por José Luis Montesillo Cedillo bajo la dirección del Comité Asesor  
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado  
de:

**DOCTOR EN PROBLEMAS ECONÓMICO AGROINDUSTRIALES**

DIRECTOR:   
Dr. Víctor Herminio Palacio Muñoz

ASESOR:   
Dr. Alejandro Sánchez Vélez

ASESOR:   
Dr. Gerardo Fujii Gambero

LECTOR EXTERNO:   
Dra. Raquel Salazar Moreno

## **DEDICATORIA**

A toda mi familia.

Al pueblo de México.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma Chapingo por darme la oportunidad de estudiar, conocer, vivir y sentir la problemática y potencialidades del campo mexicano y, sobre todo, por brindarme un espacio para proponer, conocer y debatir posibles soluciones donde lo primero es el ser humano.

Al CUESTAAM, en general, por el apoyo que siempre recibí de todo su personal y, en particular, al Dr. Manuel Ángel Gómez Cruz, a la Dra. Elba Pérez Villalba y a la Dra. Rita Schwentesius Rindermann por sus asesorías y orientaciones relacionadas con mis estudios de doctorado y en la elaboración de mi tesis.

A mi comité asesor por sus comentarios y sugerencias que en mucho contribuyeron e influyeron en el contenido de mi trabajo de tesis, a todos ellos: Dr. Víctor H. Palacio Muñoz, Dr. Gerardo Fijii Gambero, Dra. Raquel Salazar Moreno y Dr. Alejandro Sánchez Vélez, muchas gracias.

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua por brindarme tiempo para asistir a mis clases, seminarios y asesorías.

Al CONACYT por la beca otorgada para la realización de mis estudios de doctorado.

## Resumen Curricular

José Luis Montesillo Cedillo es Lic. en Economía por la UNAM; Maestro en Ciencias Económicas por la UACPyP-CCH-UNAM y Diplomado en Mercado de Valores por la BMV-IMMC y la UAEM.

En el año 2000 recibió un reconocimiento por BANOBRAS debido a la originalidad en el tratamiento del tema: *cómo financiar el suministro del agua potable en México*.

Su experiencia en el sector hidráulico data de 1995 y ha sido profesor de teoría económica, análisis microeconómico, econometría y matemáticas aplicadas a la economía en la UNAM y en la UAEM desde 1985.

Algunas de sus publicaciones son:

- Nueve artículos, en la revista **Ingeniería Hidráulica en México**, relacionados con la economía del agua.
- *La demanda de agua potable en México: estimaciones preliminares*, México, UNAM, F.E., **Investigación Económica**, enero-marzo de 1999, 27-43 pp.
- *El agua como bien económico y la necesidad de determinar su precio*, Banco Nacional de Comercio Exterior, **Comercio Exterior**, Vol.50, Núm. 3, México, marzo de 2000, 210-212 pp.
- Autor del 4° capítulo del libro: *La manufactura mexicana: ensayos de economía aplicada*. Ed. Facultad de Economía-UNAM- DGAPA-UNAM, México, 1999. 187 pp.
- Autor del libro: *El suministro de agua potable en México: una alternativa para financiarlo y optimizar el uso del recurso*. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. 2002. 101 p.

# PRECIO DE EFICIENCIA SOCIAL PARA EL AGUA DE RIEGO EN MÉXICO: EL CASO DE LOS DISTRITOS DE RIEGO DE LAS REGIONES ADMINISTRATIVAS III, VIII Y XII

## PRICE OF SOCIAL EFFICIENCY FOR IRRIGATION WATER IN MEXICO: THE CASE OF THE IRRIGATION DISTRICTS IN THE III, VIII, AND XII ADMINISTRATIVE REGIONS

José Luis Montesillo Cedillo<sup>1</sup> y Víctor Herminio Palacio Muñoz<sup>2</sup>

### RESUMEN

El objetivo central del presente trabajo fue estimar el precio de eficiencia social para el agua de riego en México a escala nacional y para los distritos de riego de las regiones hidrológico-administrativas Pacífico Norte III, Lerma-Santiago-Pacífico VIII y Península de Yucatán XII.

El precio de eficiencia social del agua utilizada en el riego se compone del valor de su producto físico marginal más el costo por agotamiento y el costo por degradación del líquido. El cálculo del valor del producto físico marginal del agua utilizada en la agricultura para riego se obtuvo mediante la modelación econométrica de una función producción del tipo *Cobb-Douglas* en sus formas lineal y no lineal; los otros dos componentes fueron tomados de los sistemas de información referentes a las cuentas satélite del INEGI y del Sistema de Información Hidroagrícola de Distritos de Riego, de la Comisión Nacional del Agua y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, para el año 2000.

Se concluye que la implantación del precio de eficiencia social conllevaría al uso racional del recurso en el sector agrícola bajo la modalidad de riego y evitaría el ejercicio del poder de monopolio de la Comisión Nacional del Agua; asimismo, que los agricultores sí pueden pagarlo, siempre y cuando se les permita transferir el incremento de sus costos de producción al precio de sus productos.

**Palabras clave:** agua para riego, precio de eficiencia social, valor del producto físico marginal, costo por agotamiento y costo por degradación.

### ABSTRACT

The central objective of this study was to estimate the price of the social efficiency for irrigation water in Mexico at national level and for the irrigation districts of the hydrological-administrative regions: Northern Pacific III, Lerma-Santiago-Pacific VIII, and Peninsula of Yucatan XII.

The price of social efficiency of water utilized in irrigation is made up by the value of its physical, marginal product plus the cost by depletion and the cost by degradation of the liquid. The calculation of the value of the physical, marginal product of water utilized by agriculture for irrigation was obtained by means of the econometric modeling of a production function of the *Cobb-Douglas* type in its linear and no linear forms; the other two components were taken from the information systems relating to the INEGI satellite accounts and from the Hydrological Information System of the Irrigation Districts of the National Commission of Water and the Mexican Institute of Technology of Water for the year 2000.

It was concluded that the establishment of the price of the social efficiency would lead to the rational use of this resource in the agricultural sector under the modality of irrigation and would avoid the power execution of the National Commission of Water monopoly; at the same time, producers would be able to pay the service whenever they were allowed to transfer the costs of production to the products price.

**Key words:** irrigation water, price of social efficiency, value of the physical marginal product, cost by depletion, and cost by degradation.

1 Tesista

2. Director

## CONTENIDO

|                                                                                                               |               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>CAPÍTULO I</b>                                                                                             | <b>1</b>      |
| 1 Introducción.....                                                                                           | 1             |
| 2 Justificación .....                                                                                         | 3             |
| 3 Planteamiento del Problema .....                                                                            | 7             |
| 4 Objetivos .....                                                                                             | 9             |
| 6 Hipótesis de Trabajo .....                                                                                  | 9             |
| <br><b>CAPÍTULO II</b>                                                                                        | <br><b>11</b> |
| <b>Aspectos generales de la evolución agrícola bajo la modalidad de riego en México, 1900 - 2000</b>          | <b>11</b>     |
| 2.1 Agua y agricultura en la constitución política de los Estados Unidos Mexicanos                            | 12            |
| 2.2 Evolución de la actividad agrícola de riego y de temporal en México.....                                  | 15            |
| 2.3 Estructura agraria en México.....                                                                         | 21            |
| 2.4 Situación prevaleciente en el sector hidroagrícola de México.....                                         | 33            |
| 2.5 Aporte de la agricultura de riego al desarrollo de la economía mexicana.....                              | 38            |
| 2.6 Taxonomía de los distritos de riego pertenecientes a las regiones administrativas III, VIII y XII.....    | 44            |
| <br><b>CAPÍTULO III</b>                                                                                       | <br><b>51</b> |
| <b>Cobro del agua para riego. Algunas experiencias internacionales.....</b>                                   | <b>51</b>     |
| 3.1 Algunas experiencias de los países desarrollados en relación con el cobro del agua para uso agrícola..... | 52            |

|                                                                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Australia.....                                                                                                      | 54        |
| Austria.....                                                                                                        | 54        |
| Canadá.....                                                                                                         | 54        |
| República Checa.....                                                                                                | 55        |
| Dinamarca.....                                                                                                      | 55        |
| Francia.....                                                                                                        | 55        |
| Alemania.....                                                                                                       | 56        |
| Grecia.....                                                                                                         | 56        |
| Italia.....                                                                                                         | 57        |
| Japón.....                                                                                                          | 57        |
| Nueva Zelanda.....                                                                                                  | 58        |
| Portugal.....                                                                                                       | 58        |
| España.....                                                                                                         | 59        |
| Suecia.....                                                                                                         | 60        |
| Suiza.....                                                                                                          | 60        |
| Turquía.....                                                                                                        | 60        |
| Reino Unido.....                                                                                                    | 61        |
| Estados Unidos de América.....                                                                                      | 61        |
| <br>3.2 Experiencias de algunos países no desarrollados en relación con el cobro del<br>agua para uso agrícola..... | <br>63    |
| Bangladesh, Nepal y Tailandia.....                                                                                  | 64        |
| Pakistán.....                                                                                                       | 64        |
| China.....                                                                                                          | 65        |
| Indonesia.....                                                                                                      | 66        |
| Chile.....                                                                                                          | 67        |
| <br><b>Capítulo IV</b> .....                                                                                        | <br>71    |
| <b>Marco teórico.....</b>                                                                                           | <b>71</b> |
| 4.1 Teoría de la producción.....                                                                                    | 72        |
| 4.2 Estructuras de mercado .....                                                                                    | 78        |
| 4.3 Teoría sobre la formación de los precios de los factores de<br>producción.....                                  | 83        |
| 4.3.1 Determinantes de la Demanda de un Factor Variable.....                                                        | 85        |
| 4.4. Teoría del óptimo de W. Pareto.....                                                                            | 88        |
| 4.4.1 El óptimo de Pareto y los precios.....                                                                        | 92        |

|                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.2 El óptimo condicionado.....                                                                                                                                | 94  |
| 4.5 Propiedades económicas del agua para riego .....                                                                                                             | 98  |
| 4.6 Condiciones de oferta y demanda de agua para uso agrícola en México .....                                                                                    | 104 |
| <b>Capítulo V</b>                                                                                                                                                | 113 |
| <b>Metodología .....</b>                                                                                                                                         | 113 |
| 5.1 Metodología para estimar el valor del producto físico marginal del agua utilizada en el riego .....                                                          | 113 |
| 5.2 Metodología para determinar el costo ecológico del agua utilizada en la agricultura de riego en México.....                                                  | 119 |
| <b>Capítulo VI</b>                                                                                                                                               | 130 |
| <b>Precio de eficiencia social para el agua de riego en México.....</b>                                                                                          | 130 |
| 6.1 Valor del producto físico marginal del agua en la agricultura de riego a escala nacional y en las regiones administrativas III, VIII y XII                   | 131 |
| 6.1.1 Estimación del producto físico marginal del agua para riego a escala regional .....                                                                        | 134 |
| 6.1.1.1 Producto físico marginal del agua en los Distritos de Riego de la Región Administrativa Pacífico-Norte III.....                                          | 136 |
| 6.1.1.2 Producto físico marginal del agua en los Distritos de Riego de la Región Administrativa Lerma-Santiago-Pacífico VIII.....                                | 138 |
| 6.1.1.3 Producto físico marginal del agua en los Distritos de Riego de la Región Administrativa Península de Yucatán XII .....                                   | 139 |
| 6.2 Costo por agotamiento y por degradación del agua de riego al nivel nacional y en los distritos de riego de las regiones administrativas III, VIII y XII..... | 140 |
| 6.3 Precio de eficiencia social para el agua de riego en México.....                                                                                             | 142 |
| 6.4 Cobro del agua para riego y sus efectos en los beneficios de los productores agrícolas: algunas políticas paralelas necesarias.....                          | 152 |

|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Capítulo VII</b>                                                                     | 155 |
| <b>Conclusiones y recomendaciones</b>                                                   | 155 |
| 7.1 Conclusiones.....                                                                   | 155 |
| 7.2 Recomendaciones.....                                                                | 162 |
| Referencias Bibliográficas .....                                                        | 166 |
| <b>Anexos</b>                                                                           | 170 |
| Anexo al capítulo II .....                                                              | 172 |
| Anexo al capítulo IV.....                                                               | 175 |
| IV. 1 Deducción formal del equilibrio del monopolista.....                              | 175 |
| IV. 2 Una demostración formal de la estructura de los costos del monopolio natural..... | 176 |
| Anexo estadístico del capítulo VI.....                                                  | 177 |
| Anexo estadístico del capítulo VI, inciso 6.1.....                                      | 185 |
| Anexo estadístico del capítulo VI, inciso 6.2.....                                      | 190 |
| Glosario .....                                                                          | 194 |

## LISTA DE CUADROS

|      |                                                                                                                                  |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1  | Almacenamiento de agua por región en relación con la capacidad total del país.....                                               | 19 |
| 2.2  | Dotación de tierras por periodo presidencial.....                                                                                | 20 |
| 2.3  | Proporción de la dotación de tierra de riego, de temporal y otras respecto del total por periodo presidencial.....               | 20 |
| 2.4  | Superficie de labor a escala regional, tanto de riego como de temporal (Unidades de producción).....                             | 23 |
| 2.5  | Porcentaje de las unidades de producción de riego y de temporal en el total de las unidades de producción a escala regional..... | 25 |
| 2.6  | Tipo de tenencia de la tierra (unidades de producción).....                                                                      | 27 |
| 2.7  | Destino de la producción a escala regional (unidades de producción).....                                                         | 28 |
| 2.8  | Usan sólo tractor, tenencia de la tierra sólo ejidal (unidades de producción).....                                               | 30 |
| 2.9  | Usan sólo tractor, tenencia de la tierra sólo privada (unidades de producción).....                                              | 30 |
| 2.10 | Uso de semilla mejorada por tipo de tenencia de la tierra (unidades de producción).....                                          | 31 |
| 2.11 | Uso de fertilizantes químicos y orgánicos por tipo de tenencia de la tierra (unidades de producción).....                        | 32 |
| 2.12 | Extensión territorial por región administrativa.....                                                                             | 44 |
| 2.13 | Número de habitantes por región administrativa en México.....                                                                    | 45 |
| 2.14 | Extracción bruta de agua por región administrativa.....                                                                          | 46 |
| 2.15 | Extracción bruta de agua para uso agrícola.....                                                                                  | 47 |

|      |                                                                                                                                                                                      |     |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.16 | Distritos de riego pertenecientes a la Región Administrativa Pacífico Norte III.....                                                                                                 | 48  |
| 2.17 | Distritos de Riego Pertenecientes a la Región Administrativa Lerma-Santiago-Pacífico VIII .....                                                                                      | 48  |
| 2.18 | Distritos de Riego Pertenecientes a la Región Administrativa Península de Yucatán XII .....                                                                                          | 49  |
| 2.19 | Porcentaje de infraestructura disponible en los distritos de riego agrupados por región administrativa respecto del total existente en los distritos de riego a escala nacional..... | 50  |
| 2.20 | Cultivos, lámina neta y lámina bruta en los distritos de riego.....                                                                                                                  | 50  |
| 3.1  | Usos del agua en Chile.....                                                                                                                                                          | 68  |
| 4.1  | Distintos métodos de producción.....                                                                                                                                                 | 73  |
| 4.2  | Un método eficiente de producción.....                                                                                                                                               | 73  |
| 4.3  | Métodos de producción no comparables.....                                                                                                                                            | 74  |
| 4.4  | Métodos de producción del trigo.....                                                                                                                                                 | 74  |
| 6.1  | Coeficientes de correlación de las variables involucradas en la función de producción estimada.....                                                                                  | 132 |
| 6.2  | Costo ecológico por la degradación del agua en los distritos de riego agrupados por región administrativa.....                                                                       | 142 |
| 6.3  | Costo ecológico por agotamiento del agua en los distritos de riego agrupados por región administrativa.....                                                                          | 142 |
| 6.4  | Componentes del precio del agua en un contexto de eficiencia social para la Región Administrativa Pacífico Norte III, durante 1999.....                                              | 146 |
| 6.5  | Componentes del precio del agua en un contexto de eficiencia social para la Región Administrativa Lerma-Santiago-Pacífico VIII, durante 1999.....                                    | 147 |
| 6.6  | Componentes del precio del agua en un contexto de eficiencia social para la Región Administrativa Península de Yucatán XII, durante 1999 .....                                       | 148 |

## LISTA DE FIGURAS

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1    | Las trece regiones administrativas de la Comisión Nacional del Agua.....                                                                                                                                                                                               | 1  |
| 2.1  | Disponibilidad de agua en los distritos de riego de México, 1930-1996 .....                                                                                                                                                                                            | 17 |
| 2.2  | Dotación de tierra de riego y de temporal por periodo presidencial                                                                                                                                                                                                     | 21 |
| 2.3  | Las trece regiones hidrológico-administrativas de la Comisión Nacional de Agua.....                                                                                                                                                                                    | 22 |
| 2.4  | Proporción de las unidades de producción por región administrativa respecto del total nacional.....                                                                                                                                                                    | 24 |
| 2.5  | Diagrama de dispersión entre el porcentaje de las unidades de producción de riego por región y el porcentaje de las unidades de producción por región en relación con el total nacional .....                                                                          | 25 |
| 2.6  | Diagrama de dispersión entre el porcentaje de las unidades de producción que a escala regional cuentan con riego y el porcentaje de las unidades de producción que a escala regional están bajo la modalidad de tenencia privada de la tierra .....                    | 27 |
| 2.7  | Diagrama de dispersión entre el porcentaje de las unidades de producción bajo la modalidad de tenencia privada de la tierra y el porcentaje de las unidades de producción que destinan su producto al mercado local, nacional e internacional, ambas a escala regional | 29 |
| 2.8  | Superficie cosechada en tierras de riego y de temporal.....                                                                                                                                                                                                            | 38 |
| 2.9  | Proporción del pib agrícola en el pib nacional.....                                                                                                                                                                                                                    | 39 |
| 2.10 | Participación relativa del valor de la producción agrícola de temporal en el pib total de la economía mexicana.....                                                                                                                                                    | 40 |
| 2.11 | Participación relativa del valor de la producción agrícola de riego en el pib total de la economía mexicana.....                                                                                                                                                       | 40 |
| 2.12 | Participación relativa del valor de la producción de riego y el de temporal en el valor total de la producción agrícola de México.....                                                                                                                                 | 42 |

|      |                                                                                                                                                    |     |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.13 | Rendimientos por hectárea de riego y de temporal en miles de pesos de 1993.....                                                                    | 42  |
| 3.1  | Brecha entre el costo del agua para riego y lo que recuperan las agencias encargadas de suministrar el líquido en los países miembros de OCDE..... | 63  |
| 4.1  | La $TmgsT$ .....                                                                                                                                   | 77  |
| 4.2  | Intensidad de los factores.....                                                                                                                    | 77  |
| 4.3  | El equilibrio del monopolista.....                                                                                                                 | 80  |
| 4.4  | Estructura de los costos en el monopolio natural.....                                                                                              | 82  |
| 4.5  | Deducción del $Vpfmq$ de un factor productivo.....                                                                                                 | 87  |
| 4.6  | Estructura de costos de la producción de agua para riego.....                                                                                      | 107 |

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

|          |                                                                         |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|
| $\Sigma$ | Sumatoria                                                               |
| <        | Menor que                                                               |
| >        | Mayor que                                                               |
| AGkanp   | Agotamiento de los activos no producidos                                |
| AGkanpt  | Agotamiento de los activos ambientales                                  |
| AGkenpt  | Agotamiento de los activos económicos no producidos                     |
| Akanp    | Acumulación neta de activos ambientales                                 |
| Ake      | Acumulación neta de activos económicos                                  |
| Bor      | Departamento de Reclamaciones de los Estados Unidos de América          |
| C        | Consumo final                                                           |
| Cag      | Costo por agotamiento                                                   |
| Cda      | Costo por degradación                                                   |
| CEPAL    | Comisión Económica para América Latina                                  |
| CI       | Consumo intermedio                                                      |
| CIDE     | Centro de Investigación y Docencias Económicas                          |
| Cmed     | Costo medio                                                             |
| Cmg      | Costo marginal                                                          |
| CNA      | Comisión Nacional del Agua                                              |
| CNUMAD   | Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo |

|               |                                                                           |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------|
| D             | Demanda                                                                   |
| D.C.          | Disco Compacto                                                            |
| DkGanpt       | Degradación de los activos ambientales                                    |
| D-W           | Durbin-Watson                                                             |
| E.U.A.<br>USA | Estados Unidos de América                                                 |
| FAO           | Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación |
| FCE           | Fondo de Cultura Económica                                                |
| I             | Formación bruta de capital (inversión)                                    |
| Img           | Ingreso marginal                                                          |
| In            | Inversión neta                                                            |
| INEGI         | Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática                |
| Int           | Inversión neta en el periodo t                                            |
| IT            | Ingreso total                                                             |
| K             | Capital                                                                   |
| Kenpt         | Activos económicos no producidos                                          |
| Kept          | Activos económicos producidos                                             |
| Kt            | Activos totales                                                           |
| Kt+1          | Activos totales al término de un periodo                                  |
| LIDs          | Distritos de Mejoramiento de la Tierra                                    |
| MCO           | Mínimos Cuadrados Ordinarios                                              |
| O&M           | Operación y Mantenimiento                                                 |
| OCDE          | Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico                |

|                 |                                                        |
|-----------------|--------------------------------------------------------|
| ONU             | Organización de las Naciones Unidas                    |
| P               | Precio de mercado                                      |
| P*              | Producción bruta total                                 |
| P <sub>c</sub>  | Precio de mercado en un contexto competitivo           |
| P <sub>ES</sub> | Precio de eficiencia social                            |
| P <sub>h</sub>  | Precio de la tierra                                    |
| PIB             | Producto Interno Bruto                                 |
| Piba            | Producto interno bruto del Sector Agrícola             |
| PIN             | Producto Interno Neto                                  |
| PINE            | Producto Interno Neto Ecológico                        |
| P <sub>k</sub>  | Precio del capital                                     |
| P <sub>m</sub>  | Precio de monopolio                                    |
| P <sub>mg</sub> | Producto físico marginal                               |
| PNAUM           | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| PNH             | Plan Nacional Hidráulico                               |
| P <sub>q</sub>  | Precio del producto final                              |
| P <sub>w</sub>  | Precio del agua                                        |
| Q               | Valor agregado                                         |
| Q <sub>c</sub>  | Volumen de producción en un contexto competitivo       |
| Q <sub>m</sub>  | Volumen de producción del monopolio                    |
| Q <sub>pr</sub> | Cantidad disponible de un bien privado                 |
| Q <sub>pu</sub> | Cantidad disponible de un bien público                 |
| R <sup>2</sup>  | Coeficiente de Bondad de Ajuste                        |
| Rkanpt          | Reevaluación de los activos ambientales                |

|                    |                                                                              |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Rkenpt             | Reevaluación de los activos económicos no producidos                         |
| Rkept              | Reevaluación de los activos económicos producidos                            |
| S                  | Materias primas                                                              |
| SAGARPA            | Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación |
| SCEEM              | Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México                         |
| SCN                | Sistema de Contabilidad Nacional                                             |
| SCNM               | Sistema de Cuentas Nacionales de México                                      |
| SEMARNAP           | Secretaría de Medio Ambiente, Recurso Naturales y Pesca (hoy SEMARNAT)       |
| SEMARNAT           | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales                            |
| SHCP               | Secretaría de Hacienda y Crédito Público                                     |
| siea               | Sistema de información agropecuario de consulta                              |
| SINHDR             | Sistema de Información Hidroagrícola de Distritos de Riego                   |
| TmgsT              | Tasa marginal de sustitución técnica                                         |
| TmgT               | Tasa marginal de transformación                                              |
| UNDERALES          | Unidades de Riego para el Desarrollo Rural                                   |
| UNDERES            | Unidades de Riego                                                            |
| v                  | Rendimientos de escala                                                       |
| VPfmg <sub>i</sub> | Valor del producto físico marginal del insumo i                              |
| W                  | Agua en unidades físicas                                                     |
| X-M                | Exportaciones menos Importaciones                                            |
| Y                  | Producción en términos físicos                                               |
| $\gamma$           | Parámetro de eficiencia                                                      |
| $\Delta I_{kanpt}$ | Cambios en los activos ambientales no producidos                             |

|                    |                                                 |
|--------------------|-------------------------------------------------|
| $\Delta I_{kenp}$  | Inversión en activos económicos no producidos   |
| $\Delta I_{kenpt}$ | Cambios en los activos económicos no producidos |
| $\Pi$              | Beneficios                                      |

# Capítulo I

## 1 Introducción

El objetivo central del presente trabajo es estimar el precio de eficiencia social para el agua de riego en México al nivel nacional y en los distritos de riego agrupados por región administrativa. Las regiones administrativas materia de estudio son: Pacífico Norte (III), Lerma-Santiago-Pacífico (VIII) y Península de Yucatán (XII).



Figura 1. Las trece regiones administrativas de la Comisión Nacional del Agua.

En México desde 1982 se instrumentó el pago de derechos por el uso del agua y desde entonces el sector agrícola bajo la modalidad de riego ha estado exento de dicho pago. Sin embargo, durante los últimos años del siglo pasado, organismos internacionales como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), a la cual pertenece México, han sugerido a sus países miembros recuperar todos los costos económicos en los que se incurre por suministrar el agua para riego.

Por su parte, en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio ambiente, celebrada en enero de 1992 en Dublín, se reconoció que el agua es un bien económico y por ello hay que tratarla como tal (Lee T. y A. Juravlev. 1998).

La aplicación de instrumentos de mercado al sector hidráulico durante las últimas dos décadas del siglo pasado tuvo un crecimiento considerable al nivel mundial, instrumentos tales como: impuestos a las descargas, fomento o creación de mercados de agua, tarifas (precios) al consumo y otorgamiento de derechos de propiedad, entre otros.

Actualmente en México la agricultura bajo la modalidad de riego es la actividad económica que más agua consume en relación con el resto de los usos consuntivos del país y, a diferencia del resto de los consumidores, no paga derechos por su uso y descarga, con excepción de la agroindustria.

La Comisión Nacional del Agua (CNA), que en materia hídrica es la autoridad federal en México, acorde con la tendencia mundial, desde 1989 inició la transferencia de la infraestructura de los distritos de riego a los usuarios organizados en asociaciones civiles y sociedades de responsabilidad limitada, con la finalidad de que dichas asociaciones se hagan cargo de la distribución del agua en un contexto de autosuficiencia financiera y se incremente la eficiencia en la aplicación del riego, por lo tanto, la instrumentación de una política de precios para el agua utilizada en el riego, en el corto plazo, es inevitable.

## 2 Justificación

La conservación del agua y su uso racional a escala internacional se ha convertido en una prioridad, sobre todo, porque la demanda del recurso va en rápido aumento, debido a las necesidades crecientes de la población. Al respecto, la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) estima que actualmente más de 230 millones de personas viven en 26 países clasificados *con déficit de agua* y se espera que de 2001 a 2010 el número de países en esta situación aumente<sup>1</sup>.

La misma FAO estima que la actividad agrícola bajo la modalidad de riego consume la mayor cantidad de agua dulce, en promedio el 70% de las reservas mundiales del agua de superficie<sup>2</sup>, no obstante, sólo el 16% de los campos del mundo tienen riego y producen el 36% de las cosechas<sup>3</sup>. En el África subsahariana el 4% de las tierras cultivables cuentan con sistemas de riego; en el África del Norte, el 24%; en Asia, el 37%; y en América Latina, el 15%<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). *El agua y la seguridad alimentaria. El agua: demanda creciente, recursos limitados*. En: <http://www.fao.org/wfs/fs/s/Watres-s.htm>; La Comisión para el Desarrollo Sustentable de la ONU distingue cuatro categorías de presión sobre el agua dependiendo del porcentaje de agua disponible que se utiliza en un país, a saber: menos de 13% existe baja presión, de 13% a 23% existe presión moderada, de 23% a 43% existe presión media alta y más de 43% existe presión alta y es urgente la necesidad de una administración cuidadosa de la oferta y la demanda. Con base en esta clasificación el recurso hídrico en México se considera sujeto a presión moderada. Citado en CNA. Enero de 2001. Compendio básico del agua en México. pág. 32.

<sup>2</sup> FAO. *Hacer retroceder la corriente de agua sucia de la agricultura*. En: <http://www.fao.org/NOTIAS/1997/970130-s.htm>

<sup>3</sup> FAO. *Una nueva publicación de la FAO se propone llevar riego a pequeña escala a los campos del África subsahariana*. En: <http://www.fao.org/NOTIAS/1997/970704-s.htm>

<sup>4</sup> FAO. *Las bombas de agua asiáticas podrían ayudar a los agricultores africanos*. En: <http://www.fao.org/notias/1997/970409-s.htm>

Si bien actualmente la agricultura consume más de dos tercios del agua que se extrae en el mundo, muy probablemente en el futuro cercano esta situación se modifique, debido a la creciente presión de demanda que ejercen otros sectores con mayor poder adquisitivo y, sobre todo, por ser considerados prioritarios, como el consumo humano; sin embargo, no se puede dejar de lado la cuestión agrícola, pues su producción es fundamental para la alimentación.

Por los niveles actuales de consumo de agua y por las necesidades crecientes de la población es imprescindible fomentar un uso eficiente del agua en todas las actividades, en general, y en la agricultura bajo la modalidad de riego, en particular. Así, nuevas inversiones en sistemas de irrigación deberán estar encaminadas a liberar agua y a utilizarla óptimamente.

En los países en desarrollo, según estimaciones de la FAO, el riego incrementa el rendimiento entre 100 y 400 por ciento<sup>5</sup> en la mayor parte de las cosechas. Además la introducción de riego en algunas zonas de África no sólo ha mejorado la productividad agrícola, sino también la salud y la nutrición de los habitantes<sup>6</sup>.

Asimismo, para el año 2030, según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), poblarán el planeta más de ocho mil millones de personas y su alimentación demandará un 60% más de alimentos respecto del consumo actual. Para satisfacer la demanda creciente de sustento es necesario incrementar la producción

---

<sup>5</sup> Al respecto los maizales de riego en África tienen un rendimiento medio de 3.1 toneladas por hectárea, frente a 1.2 toneladas en los de temporal. Véase: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Una nueva publicación de la FAO se propone llevar riego a pequeña escala a los campos del África subsahariana*. En: <http://www.fao.org/NOTIAS/1997/970704-s.htm>

<sup>6</sup> FAO-ONU. 22 de marzo de 2001. *El riego propicia la salud*. 3 p. En: <http://www.fao.org/noticias/2001/010305-s.htm>

agrícola, lo cual significa tomar cada vez más agua de las reservas limitadas y, sobre todo, en las que ya se ejerce mucha presión<sup>7</sup>.

La problemática del agua a escala internacional es evidente, sobre todo en el sector agrícola bajo la modalidad de riego. Sin embargo, las propuestas de los organismos internacionales, tales como la FAO y la OCDE, difieren en grado considerable, mientras la FAO propone fomentar el uso más eficiente del recurso hídrico mediante el desarrollo de nuevas tecnologías de riego; la OCDE, a la cual México pertenece, considera necesario que los irrigadores paguen por los costos que imponen a los oferentes públicos y privados, para restringir la demanda de agua en el corto plazo y promover así un marco claro, afín de elegir los proyectos de irrigación con los mayores retornos financieros y sociales.

La CNA en México ha optado por la propuesta de la OCDE. No obstante, antes de aplicarla, es necesario desentrañar las propiedades económicas del recurso hídrico, al amparo de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, sus condiciones de oferta y demanda, con la finalidad de evitar las inconsistencias externas con otras áreas del conocimiento.

La actividad agrícola en México se practica en alrededor de 20 y 25 millones de hectáreas y se cosechan entre 18 y 22 millones de ellas por año, aproximadamente. El valor de la producción agrícola representa el 6.5% del producto interno bruto del país. La población ocupada oscila entre 4 y 5 millones de personas y estimaciones oficiales

---

<sup>7</sup> FAO-ONU. 22 de marzo de 2001. *Agua para alimentar el mundo*. 3 p. En: <http://www.fao.org/noticias/2000/000306-s.htm>

calculan entre 20 y 25 millones de mexicanos los dependientes directos de esta actividad económica, que en su mayoría habitan zonas rurales con altos grados de marginación<sup>8</sup>.

La superficie de riego del país asciende a 6.3 millones de hectáreas, esto lo ubica en el séptimo lugar mundial. De estos 6.3 millones de hectáreas bajo riego, el 54% corresponde a 82 distritos de riego y el 46% restante a 39,492 Unidades de Riego (UNDERALES)<sup>9</sup>.

En México la agricultura bajo riego durante 1996 aportó el 52% del valor total de la producción agrícola del país y sus rendimientos por hectárea fueron 3.6 veces mayores que los de temporal<sup>10</sup>.

La actividad agrícola bajo la modalidad de riego extrajo alrededor de 64.8 km<sup>3</sup>/año de agua durante 1999. De los cuales 47.891 km<sup>3</sup> provinieron de corrientes superficiales y los restantes 16.913 de aguas subterráneas<sup>11</sup>.

La agricultura bajo la modalidad de riego utiliza el 76% del agua que se extrae para fines consuntivos en el país; los métodos de aplicación son tradicionales en más del 80% de la superficie regada; y la eficiencia promedio en el uso del agua se calcula en 46%<sup>12</sup>.

---

<sup>8</sup> SEMARNAT-CNA. Octubre de 2000. *El agua en México: retos y avances*. p.25.

<sup>9</sup> SEMARNAP-CNA. Octubre de 2000. *op. cit.*, p.25.

<sup>10</sup> SEMARNAP-CNA. Octubre de 2000. *op. cit.*, p.25.

<sup>11</sup> CNA. Enero de 2001. *Compendio básico del agua*. p. 24.

<sup>12</sup> SEMARNAP-CNA. Octubre de 2000. *op. cit.*, p.25.

La infraestructura hidroagrícola del país es vasta y por ello México ocupa el séptimo lugar a escala internacional, como ya se indicó. No obstante, también se enfrentan muchos y variados problemas derivados de su magnitud. Así, “la problemática que afecta al desarrollo sustentable del riego agrícola se encuentra lo siguiente: la escasa capitalización de la mayoría de los usuarios, la dificultad para controlar el volumen de agua entregado, la aplicación de tarifas insuficientes por los servicios de riego y de energía eléctrica para bombeo agrícola y la exención de pago por el uso de agua empleada en el riego”<sup>13</sup>.

El nivel de consumo de agua por parte de la agricultura bajo la modalidad de riego, el aporte que dicha actividad hace al producto interno bruto (pib) de la economía, en general y de su peso relativo superior al 50% del pib del sector al que pertenece, en particular, hacen prever que *el establecimiento de una política de precios al agua para riego tendrá efectos considerables al nivel macroeconómico*. De ahí la importancia de estimar el precio del agua para riego en un contexto de eficiencia social.

### **3 Planteamiento del problema**

Los niveles de consumo de agua por parte de la actividad agrícola con sistemas de riego en México, en relación con el consumo para uso doméstico e industrial, el abatimiento y la degradación del recurso hídrico, así como el crecimiento de la población y, en consecuencia, del resto de las actividades económicas, hacen necesario recuperar o al menos conservar los niveles actuales de disponibilidad de agua *per cápita*,

---

<sup>13</sup> SEMARNAP-CNA. Octubre de 2000. *op. cit.*, p.25.

tanto en cantidad como en calidad, para hacerlo en un contexto de eficiencia social es necesario conocer la contribución del agua al valor de la producción agrícola.

Los cuestionamientos abordados en este trabajo son:

1. ¿Cuáles son las propiedades económicas del agua para uso agrícola en México, de acuerdo con los principios teóricos de la escuela neoclásica, al amparo de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos?
2. ¿Cuáles han sido los aportes de la agricultura bajo la modalidad de riego al desarrollo económico del país?
3. ¿En qué tipo de mercado es susceptible el desenvolvimiento de la demanda y de la oferta de agua para uso agrícola?
4. ¿Cuál es el valor del producto físico marginal del agua en la agricultura de riego?
5. Si en el corto plazo se implementa una política de precios al agua para uso agrícola con la finalidad de reducir los actuales niveles de consumo y abatir el agotamiento y degradación del agua, ¿cuál será el precio del recurso hídrico, para la actividad citada, en un contexto de eficiencia social?
6. Si se llegara a implementar una política de precios al agua para uso agrícola en un contexto de eficiencia social –valor del producto físico marginal del agua más las externalidades negativas igual al costo marginal, que a su vez, es igual al precio–, ¿cuál sería el impacto en los costos de producción de los agricultores y cuáles las políticas paralelas para no afectar a la función beneficios de los productores mexicanos?

#### **4 Objetivos**

1. Investigar cuáles han sido los aportes de la agricultura bajo la modalidad de riego al desarrollo de la economía mexicana.
2. Realizar un análisis descriptivo en torno al cobro del agua para uso agrícola en los países miembros de la OCDE (desarrollados) y en algunos países no desarrollados.
3. Esclarecer las propiedades económicas del agua para riego y el tipo de mercado en el que se podría desenvolver.
4. Estimar el precio de eficiencia social del agua para riego en México a escala nacional y para los distritos de riego pertenecientes a las regiones administrativas Pacífico Norte (III), Lerma-Santiago-Pacífico (VIII) y Península de Yucatán (XII).
5. Proponer las políticas paralelas que se deben instrumentar ante la implementación del cobro del agua utilizada en el riego para no afectar la función de beneficios de los productores agrícolas.

#### **5 Hipótesis de trabajo**

1. La agricultura bajo la modalidad de riego en México ha hecho contribuciones de mercado considerables, al registrar una tendencia positiva de crecimiento durante la segunda mitad del siglo pasado y ha participado activamente en los mercados tanto interno como externo.
2. El agua para uso agrícola en la mayoría de los países del orbe, tanto desarrollados como no desarrollados, está subsidiada, es decir, con las cuotas de riego que pagan los usuarios del líquido no se alcanzan a cubrir los costos de operación y

mantenimiento y, en consecuencia, el Estado no recupera la inversión que hace en la construcción de obras hidroagrícolas.

3. La propiedad económica más importante del agua para riego es su carácter de bien intermedio, es decir, no es un bien público puro, ni un bien privado puro. Además su estructura productiva es la de un monopolio natural y, por ello, para que la producción del agua de riego se lleve a cabo en un contexto de eficiencia social debe estar en manos del Estado o regulada por él.
4. Para la teoría económica neoclásica el precio de cualquier factor productivo, como lo es el agua en la agricultura de riego, en condiciones de equilibrio equivale a su costo marginal, que a su vez es igual al valor de su producto físico marginal más las externalidades negativas. Sin embargo, para el caso del agua de riego, en ausencia de mercado, no es posible inferir el precio del recurso hídrico con base en su costo marginal, porque la producción hídrica tiene objetivos múltiples y esto no permite estimar el costo exclusivo del suministro de agua para riego. En consecuencia, el precio de eficiencia social para el agua de riego sólo se puede estimar con base en el valor de su producto físico marginal más las externalidades negativas.
5. Los productores agrícolas bajo la modalidad de riego sí tienen la capacidad para pagar por el líquido un precio equivalente al valor de su producto físico marginal más las externalidades negativas, siempre y cuando se les permita transferir el incremento de sus costos de producción al precio final de sus bienes y no sean sometidos a una competencia desleal mediante la importación de productos agrícolas que no tienen incorporado el pago del agua.

## **Capítulo II**

### **Aspectos generales de la evolución agrícola bajo la modalidad de riego en México, 1900-2000**

En este capítulo se describe el marco general sobre las condiciones legales en que se ha desarrollado la agricultura en México, principalmente la de riego, y se destaca el hecho de que en sitio el agua se considera un bien propiedad de la nación y además corresponde al Estado impulsar el desarrollo agrícola del país, generar la infraestructura necesaria para comercializar los productos del campo y capacitar a los productores.

Se inicia con el marco legal con la finalidad de poder analizar bajo qué condiciones se puede llevar a cabo el cobro del agua para riego y dejar en claro cuáles son las funciones del Estado al amparo de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos respecto del suministro de agua para uso agrícola. Asimismo, se describe la evolución del reparto agrario a lo largo del siglo XX, se destaca la calidad de las tierras entregadas y los periodos presidenciales en los que predominó la dotación de tierra de riego.

En el apartado 2.3 se estudia la estructura agraria de México con base en la última información disponible en el Censo Agrícola de INEGI (1991). El análisis se hace a escala regional, y destaca la concentración de la propiedad privada con sistemas de irrigación (que construyó el sector público) en el noroeste del país. El objetivo de este

inciso es proporcionar una visión general sobre los tipos de propiedad, los tipos de producción y su destino (autoconsumo, mercado interno o exportación), tecnología utilizada y sistemas de irrigación regionales que tiene el país.

En el apartado 2.4 se hace referencia a la infraestructura hidroagrícola con la que cuenta México, para estar en capacidad de regar 6.3 millones de hectáreas.

En los apartados 2.5 y 2.6 se hace un análisis de los aportes que la agricultura bajo la modalidad de riego ha hecho al desarrollo y crecimiento de la economía mexicana; asimismo, se presenta una taxonomía de los distritos de riego de las regiones administrativas III, VIII y XII de acuerdo con la delimitación hecha por la Comisión Nacional del Agua.

## **2.1 Agua y agricultura en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en el Artículo 25 párrafo primero dice: *Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que sea integral, que fortalezca la soberanía de la Nación y su régimen democrático y, que mediante el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales, cuya seguridad protege esta Constitución*; en el párrafo seis se señala que: *Bajo criterios de equidad social y productividad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolos a las modalidades que dicte el interés público y al uso, en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio*

*ambiente; en el párrafo siete dice: La ley establecerá los mecanismos que faciliten la organización y la expansión de la actividad económica del sector social: de los ejidos, organizaciones de trabajadores, cooperativas, comunidades, empresas que pertenezcan mayoritaria o exclusivamente a los trabajadores y, en general, de todas las formas de organización social para la producción, distribución y consumo de bienes y servicios socialmente necesarios.*

El Artículo 27, de la Constitución, párrafo primero, se señala que: *La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponden originalmente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada;* en el párrafo tres dice: *La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana;* asimismo, en el párrafo seis establece que: *Las aguas del subsuelo pueden ser libremente alumbradas mediante obras artificiales y apropiarse por el dueño del terreno, pero cuando lo exija el interés público o se afecten otros aprovechamientos, el Ejecutivo Federal podrá reglamentar su extracción y utilización y aún establecer zonas vedadas, al igual que para las demás aguas de propiedad nacional. Cualesquiera otras aguas no incluidas en la enumeración anterior, se considerarán como parte integrante de la propiedad de los terrenos por los que corran o en los que se encuentren sus depósitos, pero si se localizaren en dos o más*

*predios, el aprovechamiento de estas aguas se considerará de utilidad pública, y quedará sujeto a las disposiciones que dicten los estados. En el párrafo siete se reconoce la personalidad jurídica de los núcleos de población ejidales y comunales y se protege su propiedad sobre la tierra, tanto para el asentamiento humano como para actividades productivas, y en el párrafo tres del mismo apartado se señala que La ley, considerando el respeto y fortalecimiento de la vida comunitaria de los ejidos y comunidades, protegerá la tierra para el asentamiento humano y regulará el aprovechamiento de tierras, bosques y aguas de uso común y la provisión de acciones de fomento necesarias para elevar el nivel de vida de sus pobladores; en el párrafo veinte se establece: El Estado promoverá las condiciones para el desarrollo rural integral, con el propósito de generar empleo y garantizar a la población campesina el bienestar y su participación e incorporación en el desarrollo nacional, y fomentará la actividad agropecuaria y forestal para el óptimo uso de la tierra, con obras de infraestructura, insumos, créditos, servicios de capacitación y asistencia técnica. Asimismo, expedirá la legislación reglamentaria para planear y organizar la producción agropecuaria, su industrialización y comercialización, considerando el interés público.*

*En el Artículo 133 se dice: Esta Constitución, las leyes del Congreso de la Unión que emanen de ella y todos los tratados que estén de acuerdo con la misma, celebrados y que se celebren por el Presidente de la República, con aprobación del Senado, serán la Ley Suprema de toda la Unión. Los jueces de cada estado se arreglarán a dicha constitución, leyes y tratados, a pesar de las disposiciones en contrario que pueda haber en las Constituciones o leyes de los estados.*

En lo referente al agua para uso agrícola, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, señala que el Estado debe ayudar al desarrollo del sector primario de la economía, mediante la inversión en infraestructura, el otorgamiento de créditos, capacitar a la población para que se integre al desarrollo del país y garantizar su bienestar; además, la planeación, comercialización e industrialización de la producción agrícola, de acuerdo con nuestra carta magna, están relacionadas directamente con el interés público. Así, del aprovechamiento de los recursos naturales, entre ellos el agua, se busca la equidad y el beneficio social.

Las disposiciones reglamentarias de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos están establecidas en la Ley de Aguas Nacionales y en la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua, en esta última el Artículo 224-IV, título II, Capítulo VIII, concede que: *No se pagará el derecho a que se refiere este Capítulo, en los siguientes casos: Por usos agropecuarios, incluyendo a los distritos de riego y unidades de riego, así como a las juntas de agua, con excepción de las usadas en la agroindustria,...*

## **2.2 Evolución de la actividad agrícola de riego y de temporal en México**

En México las obras para riego se desarrollaron antes de la llegada de los españoles, los aztecas construyeron y utilizaron diques, canales, acequias y presas, con las cuales formaron sistemas de irrigación comunes a varios pueblos<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> INEGI. 1994. *Estadísticas históricas de México*. Tomo II. p. 1021.

Del siglo XVI hasta el siglo XVII se realizaron grandes esfuerzos para desarrollar obras de irrigación y se construyó en Yuriria un lago artificial, en lo que hoy es el estado de Guanajuato. Durante el siglo XVIII no hubo ningún avance considerable y en el siglo XIX los primeros gobiernos independientes no contaban con los recursos económicos necesarios, por lo que la construcción de obras para riego prácticamente se detuvo.

En 1908 se crea, bajo el gobierno de Porfirio Díaz, *la Caja de Préstamos para Obras de Irrigación y Fomento de la Agricultura*. Al finalizar la dictadura porfiriana en 1910, México contaba con una infraestructura hidroagrícola con una capacidad para regar un millón de hectáreas. Sin embargo, las obras disponibles eran muy deficientes y apenas permitían regar alrededor de 700 mil hectáreas<sup>15</sup>.

Los gobiernos emanados del movimiento revolucionario –sobre todo una vez consolidados (1925, con Plutarco Elías Calles)– desarrollaron en forma continua las obras de irrigación y el avance es tal, que la capacidad de almacenamiento de agua en los distritos de riego a escala nacional manifiesta una tendencia positiva durante el lapso comprendido entre 1945-1996<sup>16</sup> (véase Figura 2.1) con una tasa de crecimiento promedio anual de 5.71%.

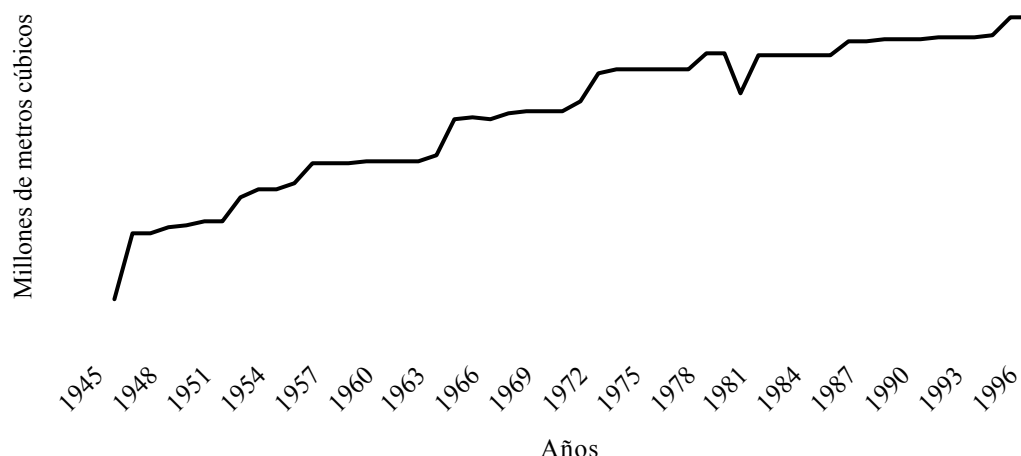
En 1926 se crea *la Comisión Nacional de Irrigación*, la cual durante el periodo presidencial 1947-1952 se transforma en la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y se encarga de *las obras de irrigación, la defensa contra inundaciones, el*

---

<sup>15</sup> INEGI. 1994. *Estadísticas... op. cit.*, p. 1021.

<sup>16</sup> El periodo de análisis está determinado por la disponibilidad de información.

*estudio del aprovechamiento del agua en la generación de energía eléctrica y la creación y mejoramiento de las vías fluviales de navegación*<sup>17</sup>.



Fuente: Elaboración propia con base en información del INEGI. 1994. *Estadísticas históricas de México*. Tomo II.

Figura 2.1. Disponibilidad de agua en los distritos de riego de México, 1930-1996 (millones de m³).

En 1989 se crea la Comisión Nacional del Agua y se erige como autoridad única en materia hidráulica. En suma, el desarrollo de la actividad agrícola de riego ha sido considerable y, a la fecha, la infraestructura hidroagrícola a escala nacional comprende dos mil doscientas presas de almacenamiento; 2,597 presas derivadoras; 54 mil millones de metros cúbicos de capacidad útil para riego y 80 mil millones de metros cúbicos de almacenamiento total. Asimismo, cuenta con 50,775 kilómetros de canales, 29,450 kilómetros de drenes y desagües; 60,826 kilómetros de caminos de operación y enlace de zonas agrícolas; 3,350 plantas de bombeo; 150 mil pozos profundos y 210 mil estructuras de canales, drenes y caminos<sup>18</sup>. Toda esta infraestructura con una capacidad para regar 6.3 millones de hectáreas.

<sup>17</sup> INEGI. 1994. *Estadística... op. cit.*, p. 1023.

<sup>18</sup> Toda la información de este párrafo fue tomada de la hoja Web de SEMARNAP, <http://www.semarnap.gob.mx/balancehn.htm>

Si bien la capacidad de almacenamiento de agua al nivel nacional ha manifestado una tendencia positiva y creciente, y la infraestructura hidroagícola es vasta, su distribución por región manifiesta diferencias considerables. La región del sur es la que menos capacidad de almacenamiento tiene para fines de riego, y el noroeste cuenta con una capacidad de almacenamiento cercana al 50% del total nacional (véase Cuadro 2.1). Si bien esto no es suficiente para caracterizar el desarrollo agrícola del país, sí es una cualidad propia de los países en desarrollo que en su afán de *incrementar la producción en el corto plazo, hicieron privilegiar esquemas de desarrollo agrícola basados en formas rápidas de modernización de las mayores unidades productivas, capaces de utilizar semillas mejoradas, abundantemente dotadas de recursos hídricos y capaces de aprovechar tecnologías de alta intensidad de capital. Muy a menudo este tipo de estrategias ha producido efectos productivos positivos contribuyendo sin embargo a profundizar aún más las distancias entre áreas de agricultura tradicional y de agricultura moderna al interior de un mismo país. La modernización ha avanzado así a menudo ensanchando dualismos y conservando los elementos básicos de la escasa integración interna de los sectores agrícolas nacionales*<sup>19</sup>.

En el Cuadro 2.2 se observa que desde 1915 hasta 1940 se repartieron 30,366,964 hectáreas, uno de los más grandes en la historia de México. Sin embargo, las hectáreas de riego representaron tan sólo el 3.9% del total, las de temporal el 15.71% y el restante 80.39% fueron otras (tierras de agostadero, monte, desértica e indefinida) (véase Cuadro 2.3). El reparto agrario que se llevó a cabo de 1915 hasta 1940 es

---

<sup>19</sup> Pipitone U. 1997. *Tres ensayos sobre desarrollo y producción: China Oriental y América Latina*. Ed. CIDE y Miguel Porrúa. pp: 111-112.

comparable, por su magnitud, con el de 1965-1976, puesto que en dicho periodo se hizo una dotación de 37,512,087 hectáreas, 7,145,123 hectáreas más que las del periodo antes citado. No obstante, la dotación de tierra de riego representó tan sólo el 0.49% del total, la de temporal 7.19% y el restante 92.32% fue de otras.

Cuadro 2.1. Almacenamiento de agua en los Distritos de Riego por región en relación con la capacidad total del país (%).

| <i>Año</i> | <i>Volumen total</i> | <i>Noroeste</i> | <i>Central</i> | <i>Norte</i> | <i>Noreste</i> | <i>Centro</i> | <i>Sur</i> |
|------------|----------------------|-----------------|----------------|--------------|----------------|---------------|------------|
| 1988       | 100.00               | 26.32           | 34.50          | 29.66        | 9.08           | 0.94          |            |
| 1989       | 100.00               | 40.48           | 26.08          | 22.18        | 7.77           | 3.49          |            |
| 1990       | 100.00               | 46.78           | 16.42          | 20.62        | 12.54          | 3.64          |            |
| 1991       | 100.00               | 48.98           | 19.10          | 15.38        | 14.71          | 1.83          |            |
| 1992       | 100.00               | 50.38           | 21.99          | 14.00        | 12.26          | 1.36          |            |
| 1993*      | 100.00               | 50.10           | 16.49          | 17.97        | 13.53          | 1.91          |            |
| 1994       | 100.00               | 49.19           | 16.15          | 16.42        | 15.41          | 2.84          |            |
| 1995       | 100.00               | 49.49           | 10.20          | 17.37        | 20.15          | 2.78          |            |
| 1996       | 100.00               | 50.57           | 9.05           | 14.99        | 21.39          | 4.00          |            |
| 1997       | 100.00               | 51.13           | 18.35          | 11.04        | 16.02          | 3.46          |            |
| 1998       | 100.00               | 47.50           | 17.01          | 14.54        | 17.74          | 3.22          |            |
| 1999       | 100.00               | 42.82           | 19.52          | 5.28         | 27.29          | 5.08          |            |
| Promedio   | 100.00               | 46.14           | 18.74          | 16.62        | 15.66          | 2.88          |            |

Fuente: Elaboración propia con base en información de la Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, tomado de la hoja de la SEMARNAP en INTERNET, <http://www.semarnap.gob.mx>

\* de 1993 a 1999 se tomó de Zedillo Ponce de León, Ernesto. Anexo estadístico del sexto informe de gobierno, disco trece.

Fuente: Elaboración propia con base en información de la SEMARNAP en INTERNET, <http://www.semarnap.gob.mx>

La mayor dotación de tierra de riego se realizó durante el periodo 1900-1914, seguido por el de 1989-1992 (véase el Cuadro 2.3).

Cuadro 2.2. Dotación de tierras por periodo presidencial (Hectáreas).

| <i>Periodo</i> | <i>Total</i> | <i>Riego</i> | <i>Temporal</i> | <i>Otras</i> |
|----------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|
| 1900-1914      | 194,495      | 27,194       | 17,976          | 149,325      |
| 1915-1934      | 11,580,833   | 247,645      | 1,387,258       | 9,945,930    |
| 1935-1940      | 18,786,131   | 937,401      | 3,382,696       | 14,466,034   |
| 1941-1946      | 7,287,697    | 95,844       | 1,007,955       | 6,183,898    |
| 1947-1952      | 4,633,321    | 62,212       | 738,268         | 3,832,841    |
| 1953-1958      | 6,056,773    | 78,618       | 902,624         | 5,075,531    |
| 1959-1964      | 8,870,430    | 158,985      | 1,354,374       | 7,357,071    |
| 1965-1970      | 24,738,199   | 71,821       | 2,039,807       | 22,626,571   |
| 1971-1976      | 12,773,888   | 111,098      | 657,243         | 12,005,547   |
| 1977-1982      | 6,397,595    | 79,654       | 871,084         | 5,446,857    |
| 1983-1988      | 5,623,227    | 83,091       | 537,843         | 5,002,293    |
| 1989-1992*     | 551,869      | 41,143       | 129,826         | 380,900      |

Nota: Otras comprende a tierras de agostadero, monte, desértica e indefinida.

\* Cifras al 21 de febrero de 1992.

Fuente: INEGI. 1994. *Estadísticas... op. cit.*, p. 375.

Cuadro 2.3. Proporción de la dotación de tierra de riego, de temporal y otras respecto del total por periodo presidencial.

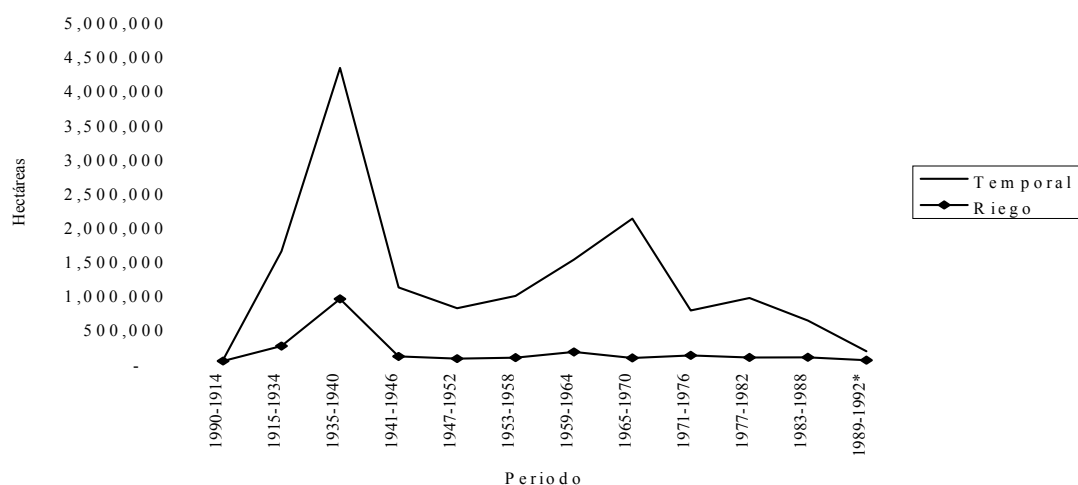
| <i>Periodo</i> | <i>Riego</i> | <i>Temporal</i> | <i>Otras</i> |
|----------------|--------------|-----------------|--------------|
| 1900-1914      | 13.98        | 9.24            | 76.78        |
| 1915-1934      | 2.14         | 11.98           | 85.88        |
| 1935-1940      | 4.99         | 18.01           | 77.00        |
| 1941-1946      | 1.32         | 13.83           | 84.85        |
| 1947-1952      | 1.34         | 15.93           | 82.72        |
| 1953-1958      | 1.30         | 14.90           | 83.80        |
| 1959-1964      | 1.79         | 15.27           | 82.94        |
| 1965-1970      | 0.29         | 8.25            | 91.46        |
| 1971-1976      | 0.87         | 5.15            | 93.99        |
| 1977-1982      | 1.25         | 13.62           | 85.14        |
| 1983-1988      | 1.48         | 9.56            | 88.96        |
| 1989-1992*     | 7.46         | 23.52           | 69.02        |

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Cuadro 2.2.

\* Cifras al 21 de febrero de 1992.

Durante el lapso 1900-1992 la dotación de tierra de agostadero, monte, desértica e indefinida siempre fue mayor a la de riego y a la de temporal. La proporción promedio, durante este tiempo, de dotación de tierra para riego representó el 3.18% respecto del total; la de temporal el 13.27% y para otros usos el 83.55%. Vale la pena destacar que la dotación de tierra de riego, en términos relativos, en ningún periodo fue mayor a la de

temporal, excepto la que se llevó a cabo durante 1900-1914 (véase Cuadro 2.3 y Figura 2.2). Es claro que la dotación de tierra de riego fue marginal y se confirma la sentencia de Apenddini, pues *la única política hacia el campesinado fue el reparto agrario que nunca implicó una transformación de sus condiciones de producción* (Apenddini. 1970. p. 181).



Fuente: Elaboración propia con base en la información del Cuadro 2.2.

Figura 2.2. Dotación de tierra de riego y de temporal por periodo presidencial.

### 2.3 Estructura agraria de México

El análisis de la estructura agraria de México se realiza a escala regional, para ello se toma la regionalización que la Comisión Nacional del Agua (CNA) ha hecho del país para fines administrativos del recurso hídrico y se utiliza la información *del Censo Agrícola, Ganadero y Ejidal, 1991, del INEGI*; de acuerdo con la CNA, el país está integrado por trece regiones hidrológico administrativas, las cuales se conforman por cuencas hidrológicas y en cada región intervienen municipios de distintos estados (en la

Figura 2.3 se muestran las regiones, que de acuerdo con la CNA, componen al país desde el punto de vista hidrológico–administrativo.



Figura 2.3. Las trece regiones hidrológico–administrativas de la Comisión Nacional del Agua.

En este punto el objetivo es dar una visión general de la estructura agraria de México a escala regional, y para ello se toman sólo algunos de los indicadores que *Appendini (op. cit.)* plasma en su trabajo de 1970, sin embargo, sí proporciona una idea muy clara acerca de la estructura agraria del país.

La agricultura se tipificará entre agricultura campesina y agricultura capitalista. La agricultura campesina será aquella donde predomina el tipo ejidal de tenencia de la tierra, la mayor parte de las unidades de producción destinan su producto al autoconsumo, el riego es escaso y el uso de tecnología reducido –la tecnología se refiere al uso de tractores, semillas mejoradas, fertilizantes químicos y fertilizantes orgánicos–.

Por otra parte, la agricultura capitalista será todo lo contrario de la campesina, es decir, la mayoría de las unidades de producción a escala regional está bajo la modalidad de tenencia privada de la tierra, cuentan con sistemas de riego, el destino del producto de las unidades de producción se destina al mercado nacional e internacional y el uso de

tecnología está ampliamente difundido. Evidentemente, en ningún momento se pretende hacer un análisis exhaustivo de la estructura agraria mexicana, sino sólo señalar algunos de sus rasgos característicos.

De acuerdo con la información del INEGI, en 1991 la superficie de labor en México ascendía a 31,104,452 hectáreas (equivalentes a 3,801,333 unidades de producción) de las cuales 5,616,757 pertenecen a la modalidad de riego y equivalen a 606,841 unidades de producción; las restantes 25,487,695 hectáreas son de temporal, y equivalen a 3,194,492 unidades de producción. La distribución regional de la superficie de labor, tanto de riego como de temporal, en unidades de producción, se presenta en el Cuadro 2.4.

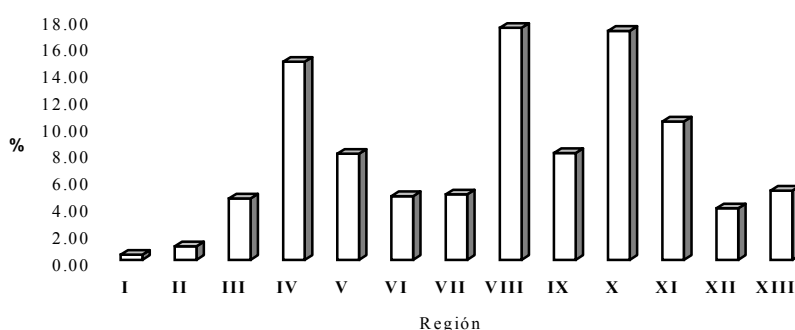
Cuadro 2.4. Superficie de labor a escala regional, tanto de riego como de temporal (Unidades de producción).

| <i>Región</i> | <i>Riego</i> | <i>Temporal</i> | <i>Total</i> |
|---------------|--------------|-----------------|--------------|
| I             | 11081.1      | 3279.5          | 14360.6      |
| II            | 26072.2      | 12618.9         | 38691.0      |
| III           | 60521.7      | 113569.9        | 174091.6     |
| IV            | 90716.5      | 470968.5        | 561685.0     |
| V             | 23690.5      | 277177.9        | 300868.4     |
| VI            | 50437.2      | 130176.1        | 180613.3     |
| VII           | 48174.3      | 137504.9        | 185679.2     |
| VIII          | 153962.0     | 503939.9        | 657901.9     |
| IX            | 41907.4      | 260882.0        | 302789.4     |
| X             | 28286.4      | 621073.2        | 649359.5     |
| XI            | 7777.6       | 384841.8        | 392619.4     |
| XII           | 8623.5       | 137683.9        | 146307.4     |
| XIII          | 55590.3      | 140775.9        | 196366.2     |
| Total Nal.    | 606,840.81   | 3,194,492.19    | 3801333.0    |

Fuente: elaboración propia con base en información del INEGI. 1994. *Sector agropecuario, resultados definitivos: censos agrícola, ganadero y ejidal. 1991*. CD.

La participación relativa de la superficie de labor en unidades de producción de cada región en el total nacional se presenta en la Figura 2.4, y vale la pena señalar que: la región con menos superficie de labor (tanto de riego como de temporal) es la uno

(0.38%), integrada por la península de Baja California; seguida por la región dos (1.02%), que a grandes rasgos está integrada por los municipios de Sonora. Por su parte, la participación de las unidades de producción en el total nacional de las regiones cinco, nueve y once son las más altas, su participación está entre 14 y 17.31%; la contribución de las unidades de producción en el total nacional del resto de las regiones está entre 3.85 y 10.33%.



Fuente: elaboración propia con base en información del INEGI. 1994. *Sector Agropecuario... op. cit.*

Figura 2.4. Proporción de las unidades de producción por región administrativa respecto del total nacional.

En el Cuadro 2.5 se presenta la composición porcentual de las unidades de producción por cada región en su modalidad de riego y de temporal. En la región I las unidades de producción que cuentan con riego, respecto del total de la región, es del 77.16%; en la II, 67.39%; en tanto que en la región V es apenas del 7.87%; en la IX el 13.84% y en la XI el 1.98% corresponden a unidades de producción bajo la modalidad de riego.

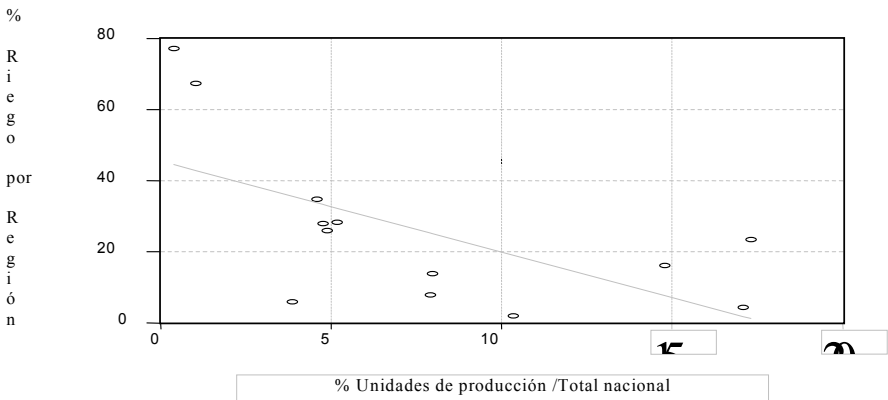
Al hacer un diagrama de dispersión entre la información referente a la participación relativa de las unidades de producción por región en el total nacional y la referida al porcentaje de las unidades de producción de riego por región, se encuentra una relación negativa entre ellas. Esto es, entre menor es la proporción de unidades de

producción por región respecto del total nacional, mayor es la proporción de unidades de producción con riego. Así, el diagrama de dispersión presentado en la Figura 2.5 tiene tendencia negativa.

Cuadro 2.5. Porcentaje de las unidades de producción de riego y de temporal en el total de las unidades de producción a escala regional.

| <i>Región</i> | <i>Riego</i> | <i>Temporal</i> |
|---------------|--------------|-----------------|
| I             | 77.16        | 22.84           |
| II            | 67.39        | 32.61           |
| III           | 34.76        | 65.24           |
| IV            | 16.15        | 83.85           |
| V             | 7.87         | 92.13           |
| VI            | 27.93        | 72.07           |
| VII           | 25.94        | 74.06           |
| VIII          | 23.40        | 76.60           |
| IX            | 13.84        | 86.16           |
| X             | 4.36         | 95.64           |
| XI            | 1.98         | 98.02           |
| XII           | 5.89         | 94.11           |
| XIII          | 28.31        | 71.69           |

Fuente: elaboración propia con base en información del INEGI. 1994. *Sector Agropecuario... op. cit.*



Fuente: elaboración propia con base en información del INEGI. 1994. *Sector Agropecuario... op cit.*

Figura 2.5. Diagrama de dispersión entre el porcentaje de las unidades de producción de riego por región y el porcentaje de las unidades de producción por región en relación con el total nacional.

El hecho de que el porcentaje de unidades de producción de riego respecto del total por región sea mayor en las regiones I y II, y menor en las regiones V, IX y XI, pone de manifiesto el dualismo característico de los países en vías de desarrollo, como lo es el caso mexicano. Además, la afirmación de *Appendini*, con base en información de 1960 y de 1970, es válida hoy con información de 1991, pues... *se manifiesta una aguda diferenciación entre unidades de producción y entre las regiones geográficas. El desarrollo se consolidó en un sector empresarial ubicado fundamentalmente en las tierras de riego del noroeste* (Appendini. 1970. p. 183). Evidentemente, la afirmación sólo es aplicable en sentido general, ya que los métodos de análisis no son comparables, sin embargo, esta sentencia se va corroborando a lo largo de los estudios contenidos en el presente trabajo.

La tenencia de la tierra a escala nacional es mayoritariamente ejidal. Del total nacional de las unidades de producción, el 71% está bajo la modalidad jurídica de tenencia de la tierra ejidal; el 21% privada; y el 3% restante mixta (comunal, de colonia y pública); aunque cabe señalar que en el ámbito regional el mayor porcentaje de las unidades de producción bajo la modalidad de tenencia privada se encuentra, nuevamente, en las regiones I y II (véase el Cuadro 2.6). Por otra parte, los menores porcentajes se identifican en las regiones III (9.25%), XII (11.38%), VII (13.56%), V (14.17%), IX (21.82%) y XI (24.46%).

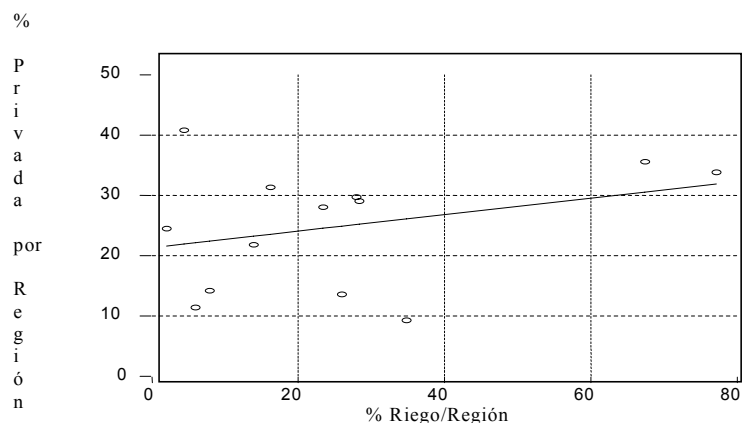
A escala regional, los mayores porcentajes de tierra que se encuentran bajo el tipo de tenencia privado son aquellas donde existe el mayor número de unidades de producción con riego.

El diagrama de dispersión entre el porcentaje de las unidades de producción que a escala regional están bajo la modalidad de tenencia privada con el porcentaje de las unidades de producción con riego, muestra una correlación positiva (véase Figura 2.6).

Cuadro 2.6. Tipo de tenencia de la tierra (unidades de producción).

| <i>Región</i> | <i>Sólo ejidal</i> | <i>Sólo privada</i> | <i>Mixta</i> | <i>Total</i> |
|---------------|--------------------|---------------------|--------------|--------------|
| I             | 9,346              | 4,858               | 157          | 14,361       |
| II            | 23,974             | 13,765              | 952          | 38,691       |
| III           | 155,478            | 16,112              | 2,502        | 174,092      |
| IV            | 362,349            | 175,967             | 23,369       | 561,685      |
| V             | 252,125            | 42,623              | 6,120        | 300,868      |
| VI            | 123,809            | 53,720              | 3,084        | 180,613      |
| VII           | 155,020            | 25,173              | 5,486        | 185,679      |
| VIII          | 455,652            | 184,579             | 17,671       | 657,902      |
| IX            | 228,488            | 66,076              | 8,225        | 302,789      |
| X             | 370,207            | 265,042             | 14,111       | 649,360      |
| XI            | 292,016            | 96,031              | 4,572        | 392,619      |
| XII           | 127,121            | 16,649              | 2,537        | 146,307      |
| XIII          | 124,421            | 57,040              | 14,905       | 196,366      |
| Total Nal.    | 2,680,006.00       | 1,017,635.00        | 103,692      | 3,801,333    |

Fuente: elaboración propia con base en información del INEGI. 1994. *Sector Agropecuario... op. cit.*



Fuente: elaboración propia con base en información del INEGI. 1994. *Sector Agropecuario... op. cit.*

Figura 2.6. Diagrama de dispersión entre el porcentaje de las unidades de producción que a escala regional cuentan con riego y el porcentaje de las unidades de producción que a escala regional están bajo la modalidad de tenencia privada de la tierra.

El destino del producto de las unidades de producción es otro elemento empleado para tipificar la actividad agrícola entre agricultura campesina y agricultura capitalista. Del Cuadro 2.7 se desprende que las regiones donde las unidades de producción destinan la mayor parte de su producto al mercado nacional son la I (61.99%), la II (61.97%) y la III (63.95%). Las regiones que más exportan (exportación, mercado local y nacional) son la I (4.68%), la II (1.68%) y la III (0.63%).

Cuadro 2.7. Destino de la producción a escala regional (unidades de producción).

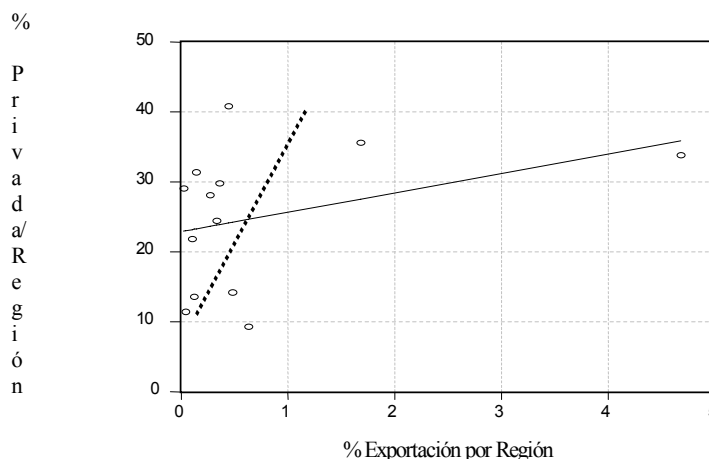
| <i>Región</i> | <i>Unidades de producción *</i> | <i>Solo consumo **</i> | <i>Solo local y nacional **</i> | <i>Local, nacional y exportación **</i> | <i>No reportó producción **</i> |
|---------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|
| I             | 14,361                          | 1,889                  | 8,902                           | 672                                     | 3,996                           |
| II            | 38,691                          | 7,696                  | 23,977                          | 649                                     | 11,125                          |
| III           | 174,092                         | 47,119                 | 111,326                         | 1,097                                   | 6,035                           |
| IV            | 561,685                         | 313,357                | 183,846                         | 797                                     | 45,637                          |
| V             | 300,868                         | 173,816                | 83,190                          | 1,431                                   | 80,099                          |
| VI            | 180,613                         | 61,645                 | 89,295                          | 646                                     | 59,895                          |
| VII           | 185,679                         | 67,317                 | 97,222                          | 214                                     | 11,709                          |
| VIII          | 657,902                         | 281,087                | 288,164                         | 1,788                                   | 365,029                         |
| IX            | 302,789                         | 134,109                | 115,849                         | 288                                     | 43,402                          |
| X             | 649,360                         | 289,549                | 284,275                         | 2,855                                   | 89,491                          |
| XI            | 392,619                         | 138,220                | 211,884                         | 1,298                                   | 171,200                         |
| XII           | 146,307                         | 65,214                 | 62,782                          | 65                                      | 10,868                          |
| XIII          | 196,366                         | 103,683                | 46,262                          | 35                                      | 25,776                          |
| Total Nal.    | 3,801,333                       | 1,684,701              | 1,606,974                       | 11,835                                  | 924,262                         |

Nota: \* Incluye todas las unidades de producción; \*\* no incluye mixta.

Fuente: elaboración propia con base en información del INEGI. 1994. *Sector Agropecuario... op. cit.*

El diagrama de dispersión (Figura 2.7) entre el porcentaje de las unidades de producción que destinan su producto a la exportación (mercado local, nacional y exportación) y el porcentaje de la tierra bajo la modalidad de tenencia privada, ambas a escala regional, pone de manifiesto la existencia de una correlación positiva entre la proporción de la tierra bajo la modalidad de tenencia privada y la exportación, —estas regiones son las ubicadas al noroeste del país (véase Figura 2.3)—. Aunque es necesario

destacar la existencia de una observación aberrante, no obstante, al eliminar dicha observación se conserva la correlación positiva (véase línea punteada de la Figura 2.7).



Fuente: elaboración propia con base en información del INEGI. 1994. *Sector Agropecuario... op. cit.*

Figura 2.7. Diagrama de dispersión entre el porcentaje de las unidades de producción bajo la modalidad de tenencia privada de la tierra y el porcentaje de las unidades de producción que destinan su producto al mercado local, nacional e internacional, ambas a escala regional.

El uso de sólo tractor en las unidades de producción que están bajo la modalidad de tenencia de la tierra ejidal (véase Cuadro 2.8) a escala regional, está concentrado en las regiones I (36.14%), II (14.14%) y III (10.95%). Por su parte, en la tierra privada (véase Cuadro 2.9) el uso de sólo tractor es mayor en las regiones I (46.44%), II (40.33%) y VII (44.55%).

Con base en la información analizada hasta el momento se puede afirmar que en las regiones donde es mayor el tipo de tenencia privada de la tierra hay más unidades de producción con riego, hay más unidades de producción que destinan su producto a la exportación y utilizan más el tractor. Todo esto ofrece una idea clara acerca del tipo de agricultura que se practica en el país. En el noroeste la actividad agrícola tiene rasgos

mayoritariamente capitalistas, en tanto que la del sur es netamente campesina, y en el centro es una mezcla de ambas, es decir, capitalista y campesina.

Cuadro 2.8. Usan sólo tractor, tenencia de la tierra sólo ejidal (unidades de producción).

| <i>Región</i> | <i>Unidades de producción</i> | <i>Propio</i> | <i>Rentado</i> | <i>Prestado</i> |
|---------------|-------------------------------|---------------|----------------|-----------------|
| I             | 9,346                         | 3,378         | 4,901          | 532             |
| II            | 23,974                        | 3,391         | 15,703         | 681             |
| III           | 155,478                       | 17,018        | 92,140         | 7,233           |
| IV            | 362,349                       | 8,729         | 137,273        | 6,727           |
| V             | 252,125                       | 1,716         | 42,669         | 1,107           |
| VI            | 123,809                       | 18,201        | 38,765         | 5,178           |
| VII           | 155,020                       | 16,897        | 74,302         | 10,074          |
| VIII          | 455,652                       | 39,042        | 218,890        | 16,687          |
| IX            | 228,488                       | 6,406         | 71,086         | 4,048           |
| X             | 370,207                       | 6,909         | 104,246        | 5,428           |
| XI            | 292,016                       | 2,603         | 49,327         | 1,400           |
| XII           | 127,121                       | 802           | 10,833         | 479             |
| XIII          | 124,421                       | 3,815         | 77,284         | 4,941           |

Fuente: elaboración propia con base en información del INEGI. 1994. *Sector Agropecuario... op. cit.*

Cuadro 2.9. Usan sólo tractor, tenencia de la tierra sólo privada (unidades de producción).

| <i>Región</i> | <i>Unidades de producción</i> | <i>Propio</i> | <i>Rentado</i> | <i>Prestado</i> |
|---------------|-------------------------------|---------------|----------------|-----------------|
| I             | 4,858                         | 2,256         | 1,248          | 294             |
| II            | 13,765                        | 5,551         | 6,261          | 723             |
| III           | 16,112                        | 5,859         | 6,645          | 1,317           |
| IV            | 175,967                       | 5,625         | 55,497         | 3,526           |
| V             | 42,623                        | 589           | 14,267         | 312             |
| VI            | 53,720                        | 23,934        | 13,882         | 2,793           |
| VII           | 25,173                        | 8,111         | 7,403          | 2,574           |
| VIII          | 184,579                       | 26,715        | 54,213         | 6,207           |
| IX            | 66,076                        | 7,149         | 12,315         | 1,540           |
| X             | 265,042                       | 7,705         | 26,476         | 2,915           |
| XI            | 96,031                        | 4,506         | 14,651         | 949             |
| XII           | 16,649                        | 617           | 888            | 124             |
| XIII          | 57,040                        | 2,261         | 24,183         | 2,648           |

Fuente: elaboración propia con base en información del INEGI. 1994. *Sector Agropecuario... op. cit.*

El uso de semilla mejorada está ampliamente difundido en las unidades de producción, tanto en la tierra que está bajo la modalidad de tenencia ejidal como en la privada. Sin embargo, las diferencias entre regiones aquí también son considerables. El

mayor uso de la semilla mejorada se presenta en las regiones I, II y III. Es decir, en el noroeste del país (véase Cuadro 2.10). Se utiliza más semilla mejorada, por unidad de producción, en las regiones en las que hay más unidades de riego en términos relativos.

Cuadro 2.10. Uso de semilla mejorada por tipo de tenencia de la tierra (unidades de producción).

| <i>Región</i> | <i>Unidades de<br/>producción, sólo<br/>privada</i> | <i>Usan semilla<br/>mejorada, sólo<br/>privada</i> | <i>Unidades de<br/>producción, sólo<br/>ejidal</i> | <i>Usan semilla<br/>mejorada, sólo<br/>ejidal</i> |
|---------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| I             | 4,858                                               | 2,831                                              | 9,346                                              | 6,815                                             |
| II            | 13,765                                              | 9,920                                              | 23,974                                             | 16,934                                            |
| III           | 16,112                                              | 8,852                                              | 155,478                                            | 88,496                                            |
| IV            | 175,967                                             | 54,941                                             | 362,349                                            | 130,918                                           |
| V             | 42,623                                              | 10,200                                             | 252,125                                            | 36,988                                            |
| VI            | 53,720                                              | 28,057                                             | 123,809                                            | 51,907                                            |
| VII           | 25,173                                              | 8,382                                              | 155,020                                            | 57,768                                            |
| VIII          | 184,579                                             | 65,997                                             | 455,652                                            | 207,096                                           |
| IX            | 66,076                                              | 18,336                                             | 228,488                                            | 59,094                                            |
| X             | 265,042                                             | 65,481                                             | 370,207                                            | 102,844                                           |
| XI            | 96,031                                              | 19,701                                             | 292,016                                            | 66,978                                            |
| XII           | 16,649                                              | 4,339                                              | 127,121                                            | 26,917                                            |
| XIII          | 57,040                                              | 14,945                                             | 124,421                                            | 38,153                                            |

Fuente: elaboración propia con base en información del INEGI. 1994. *Sector Agropecuario... op. cit.*

El uso de fertilizantes químicos está más difundido que el de los fertilizantes orgánicos (véase Cuadro 2.11), y al igual que en el uso de las semillas mejoradas, los fertilizantes químicos y orgánicos son ampliamente utilizados en las regiones I, II, III y IV, tanto en tierras bajo la modalidad de tenencia ejidal como privada. Así, existe una correlación positiva entre el uso de dichos fertilizantes y la disponibilidad de riego a escala regional. Esto es, a mayor porcentaje de unidades de producción a escala regional con riego, mayor utilización de fertilizantes.

Cuadro 2.11. Uso de fertilizantes químicos y orgánicos por tipo de tenencia de la tierra (unidades de producción).

| Región | Unidades de producción, sólo privada | Fertilizantes químicos | Fertilizantes orgánicos | Unidades de producción, sólo ejidal | Fertilizantes químicos | Fertilizantes orgánicos |
|--------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| I      | 4,858                                | 2635                   | 1494                    | 9,346                               | 6804                   | 2365                    |
| II     | 13,765                               | 9520                   | 3821                    | 23,974                              | 15089                  | 5617                    |
| III    | 16,112                               | 11119                  | 5471                    | 155,478                             | 100491                 | 35828                   |
| IV     | 175,967                              | 124761                 | 86212                   | 362,349                             | 274518                 | 144070                  |
| V      | 42,623                               | 25139                  | 22190                   | 252,125                             | 117935                 | 66208                   |
| VI     | 53,720                               | 28120                  | 16576                   | 123,809                             | 54806                  | 32567                   |
| VII    | 25,173                               | 9203                   | 8916                    | 155,020                             | 51453                  | 32836                   |
| VIII   | 184,579                              | 129,231                | 87,310                  | 455,652                             | 334898                 | 183142                  |
| IX     | 66,076                               | 21343                  | 18798                   | 228,488                             | 64636                  | 53249                   |
| X      | 265,042                              | 152391                 | 80271                   | 370,207                             | 187236                 | 95964                   |
| XI     | 96,031                               | 44299                  | 17365                   | 292,016                             | 147370                 | 55707                   |
| XII    | 16,649                               | 6074                   | 2684                    | 127,121                             | 37710                  | 14633                   |
| XIII   | 57,040                               | 19444                  | 25148                   | 124,421                             | 44767                  | 54788                   |

Fuente: elaboración propia con base en información del INEGI. 1994. *Sector Agropecuario... op. cit.*

El análisis de la información presentada en este apartado, permite afirmar que: ... *la polarización y desigualdad en el campo deben entenderse en el contexto de la acumulación de capital de la economía mexicana. El avance del capitalismo en el agro tuvo como consecuencia una rápida modernización de algunos sectores de la agricultura sin haber destruido a la economía campesina, a la cual le ha asignado funciones específicas* (Appendini. 1970. pp: 181-182). Así, el destino de la producción de la economía campesina es para el autoconsumo mayoritariamente, el mayor número de las unidades de producción es de temporal y el uso de tecnología está menos difundido, en contraste con la agricultura capitalista. En este sentido, se puede concluir, al igual que lo hizo Appendini,... *el desarrollo* (se refiere al agrícola) *se consolidó en un sector empresarial ubicado fundamentalmente en las tierras de riego del noroeste* (Appendini. 1970. p. 183), y esta es la situación que se corrobora con la información disponible para 1991, expuesta en el presente trabajo.

## 2.4 Situación prevaleciente en el sector hidroagrícola de México

México cuenta con alrededor de 10 millones de hectáreas susceptibles de explotarse con riego. A la fecha, 6.3 millones tienen infraestructura hidroagrícola, de las cuales 3.4 millones de hectáreas corresponden a Distritos de Riego, y los restantes 2.9 a Unidades de Riego para el Desarrollo Rural<sup>20</sup>.

En México la agricultura bajo riego aporta en promedio el 56% del valor total de la producción agrícola del país y su rendimiento por hectárea es 3.6 veces mayor que el de las áreas de temporal<sup>21</sup>.

De acuerdo con información de la CNA durante el año 2000, en todo el país, se extrajeron 72 km<sup>3</sup> de agua para los principales usos consuntivos (agrícola, público urbano e industrial). Dicho volumen de extracción equivale al 15% de la disponibilidad natural media nacional y se considera que el recurso hídrico está sometido a una explotación moderada. No obstante, en las zonas centro, norte y noroeste, el indicador llega a 44% (el agua está sujeta a alta presión<sup>22</sup>). Asimismo, durante el año 2000, la agricultura, el mayor consumidor de agua en el país, utilizó el 78% del total de la extracción, equivalente a 56.16 km<sup>3</sup>.

La agricultura de temporal se practica en 15.8 millones de hectáreas, de las cuales 2.3 son de temporal tecnificado. Sin embargo, en el trópico húmedo existe un

---

<sup>20</sup> CNA. Enero de 2001. *op. cit.*, p. 25; de acuerdo con el INEGI en 1991 las hectáreas bajo riego fueron 5,616,757 (véase INEGI. 1994. *VII Censo agropecuario: resultados definitivos. 1991. DC*).

<sup>21</sup> SEMARNAT-CNA. Octubre de 2000. *op. cit.*, p. 25.

<sup>22</sup> CNA. Octubre de 2001. *Programa nacional hidráulico 2001-2006*. p. 32.

potencial de 7.5 millones de hectáreas susceptibles de aprovechamiento bajo la modalidad de temporal tecnificado.

El sector agrícola bajo la modalidad de riego en México presenta varios problemas, de los cuales destacan los siguientes:

1. Insuficiente conservación y mantenimiento de obras.
2. Sistemas de bombeo con baja eficiencia.
3. Ensalitramiento de suelos.
4. Baja eficiencia en conducción y baja aplicación del agua en riego.
5. Insuficiente regularización de la tenencia de la tierra<sup>23</sup>.
6. Alrededor de setecientas presas tienen más de treinta años de haber entrado en servicio; cuatrocientas tienen entre veinte y treinta años, y el resto es de reciente creación. Además, la mayoría de ellas carecen de mantenimiento y conservación.
7. Los primeros estudios hidrológicos realizados en nuestro país para determinar las capacidades de almacenamiento, requeridas para el control de avenidas y el diseño de las obras de excedencias, fueron realizados con escasa información, por lo que se han presentado casos de que algunas avenidas de diseño han sido alcanzadas e incluso superadas.
8. La reducción en la capacidad útil de almacenamiento de las presas y de conducción de los cauces, ocasionado por los azolves, la escasa capacidad de descarga de

---

<sup>23</sup> CNA. 1997. *op. cit.*, p. 25.

algunas presas y la falta de mantenimiento del equipo de las estructuras, incrementa el riesgo de falla en las estructuras hidráulicas<sup>24</sup>.

9. 800 mil hectáreas de riego son aprovechadas parcialmente, por falta de infraestructura complementaria y poca o nula organización de los usuarios; adicionalmente, 335 mil hectáreas presentan problemas de salinidad o sodicidad<sup>25</sup>.
10. *Los problemas económicos del uso del agua en la agricultura están asociados a la baja rentabilidad de esta actividad, como lo muestra el hecho que de 7.8 millones de hectáreas estudiadas, no son rentables 2.2 millones de ellas. Los precios de los productos no son competitivos en 5.8 millones de hectáreas. En particular, de 5.8 millones de hectáreas con cultivos de maíz, frijol, trigo, arroz, soya y sorgo, no son rentables 1.2 millones de hectáreas en superficie de temporal, ni 1.8 millones de hectáreas bajo riego*<sup>26</sup>.

Respecto de la problemática medioambiental a la que se enfrenta la agricultura bajo la modalidad de riego, y que impide su integración en el marco de sustentabilidad, destacan los siguientes puntos:

1. Extensión de la frontera agrícola sin considerar la disponibilidad de agua y la vocación de la tierra.
2. Escasa capitalización de la mayoría de los usuarios.
3. Dificultad para controlar el volumen de agua entregado.

---

<sup>24</sup> Los puntos 6-8 fueron tomados de: *Programa hidráulico 1995-2000*. p. 21.

<sup>25</sup> CNA. 1997. *op. cit.*, p. 26.

<sup>26</sup> CNA. 1997. *op. cit.*, p. 26.

4. Tarifas insuficientes por los servicios de riego y de energía eléctrica para bombeo agrícola<sup>27</sup>.
5. Los métodos de riego aplicados son tradicionales en el 80% de la superficie de riego, y se estima que la eficiencia promedio es del orden de 46%<sup>28</sup>.

Derivado de los altos niveles de consumo y de la baja eficiencia en la aplicación del riego, en 1989 se inició la transferencia de la infraestructura de los distritos de riego a los usuarios. *A julio de 2001, se ha transferido una superficie de 3.3 millones de hectáreas a 525 mil usuarios de los cuales 387 mil son ejidatarios y 138 mil pequeños propietarios organizados en 444 Asociaciones Civiles y 10 Sociedades de Responsabilidad Limitada. La superficie transferida representa el 98% de la superficie total de los 82 distritos de riego del país* (CNA. Agosto de 2001. p. 36).

La transferencia de la infraestructura de riego a los usuarios organizados es la primera etapa del Programa Nacional para la Descentralización de los Distritos de Riego; la segunda, consiste en la creación de Sociedades de Responsabilidad Limitada que se haga cargo de la oferta de agua al mayoreo, en un contexto de autosuficiencia financiera<sup>29</sup>.

De los 82 distritos de riego que hay en el país, al mes de abril de 2000, 72 han sido transferidos plenamente a los usuarios, siete parcialmente y tres quedan pendientes (la información que al respecto presenta la CNA en el Programa Nacional Hidráulico 2001-2006, se mantiene sin cambio en relación con la información disponible al mes de

---

<sup>27</sup> CNA. Octubre de 2001. *Programa nacional hidráulico 2001-2006*. pp: 35-36.

<sup>28</sup> CNA. Octubre de 2001. *op. cit.*, p. 35.

<sup>29</sup> CNA. 1997. *Estrategias del sector hidráulico*. p. 25.

abril del año 2000). En el Cuadro 2.4.1 del anexo al capítulo I se puede observar el número y nombre del distrito de riego; así como la región o las regiones, a las que pertenecen, la entidad federativa en la que se encuentran, la superficie total (miles de hectáreas), superficie transferida (en porcentaje) y el número de usuarios.

La transferencia de la infraestructura hidráulica de los Distritos de Riego a los usuarios organizados se enmarca en una nueva relación entre el gobierno y la sociedad, en la cual ésta tiene mayor participación en el financiamiento, construcción y operación en la infraestructura hidroagrícola<sup>30</sup>. Sin embargo, la CNA continuará con su apoyo para la operación de la infraestructura hidráulica de todos los Distritos de Riego mediante el Programa de Operación y Conservación, en tanto se concluye su transferencia<sup>31</sup>.

El proceso de transferencia de la infraestructura de riego comprende los siguientes elementos:

1. La organización de los productores en asociaciones civiles.
2. Las asociaciones civiles reciben título de concesión de agua y permiso para la utilización de la infraestructura hidráulica.
3. Una vez que las asociaciones reciben título y permiso quedan en condiciones legales para operar, conservar y administrar la infraestructura de los distritos de riego, bajo la normatividad de la CNA, y en caso de que las condiciones climáticas dañen la

---

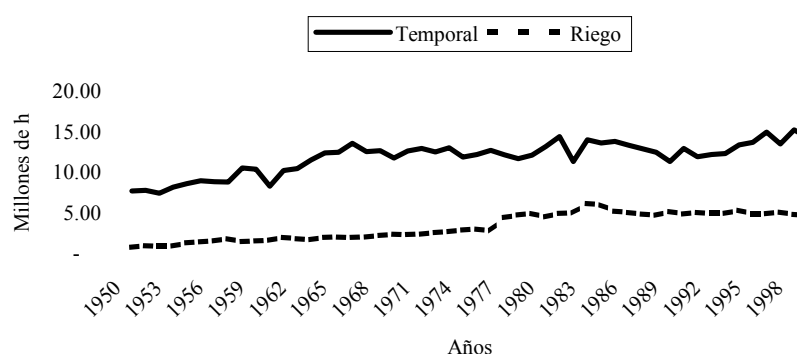
<sup>30</sup> Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación. 27-29 de octubre de 1999. *IX Congreso nacional de Irrigación*. Simposio 6. Reglamento de Sistemas de Riego. p. iii.

<sup>31</sup> CNA. 1997. *op. cit.*, p. 26.

infraestructura, la CNA apoyará a los usuarios en la reparación de la misma<sup>32</sup>. No obstante, la conservación y operación de las obras de cabeza (presas de almacenamiento) continuarán bajo la responsabilidad de la CNA.

## 2.5 Aporte de la agricultura de riego al desarrollo de la economía mexicana

El número de hectáreas cosechadas de 1950 hasta 1999 en México<sup>33</sup>, tanto de riego como de temporal, ha manifestado una tendencia positiva, tal y como se puede observar en el Figura 2.8. Sin embargo, las hectáreas cosechadas bajo la modalidad de riego tuvieron un crecimiento de 475.34% de 1950 hasta 1999; en tanto que las de temporal lo tuvieron de sólo 85.18%, durante el mismo periodo.



Fuente: Elaboración propia con base en información del INEGI. 1999. Estadísticas históricas de México. Tomo I. p. 364; y de SAGARPA. 2002. Sistema de información agropecuaria de consulta. En: siea.sagarpa.gob.mx

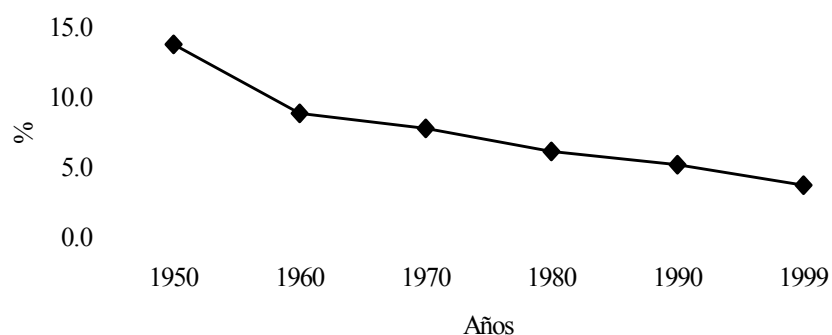
Figura 2.8. Superficie cosechada en tierras de riego y de temporal.

<sup>32</sup> Ramírez G. Luis M. 2000. *Proceso de transferencia y gestión, mesa 1*. Congreso Internacional de Transferencia de Sistemas de Riego. Enrique Palacios Vélez y Enrique Espinosa de León, editores. p. 38.

<sup>33</sup> El periodo de análisis tiene la finalidad de dar cuenta de los aportes que la agricultura de riego hizo al desarrollo de la economía mexicana durante la última mitad del siglo XX.

Si bien la tendencia de las hectáreas cosechadas de 1950 hasta 1999 fue positiva, como ya se indicó, la participación del producto interno bruto agrícola (piba) en el producto interno bruto nacional (pib) ha registrado una tendencia negativa.

Durante 1950 el piba llegó a representar el 13.82% del pib nacional, y para 1999 su participación fue de tan sólo 3.76% (véase Figura 2.9). Lo cual concuerda con lo que *Chenery y Srinivansan* señalan<sup>34</sup>, pues la sola *ley de Engel*, dicen, explica la participación decreciente de la agricultura en el pib nacional.



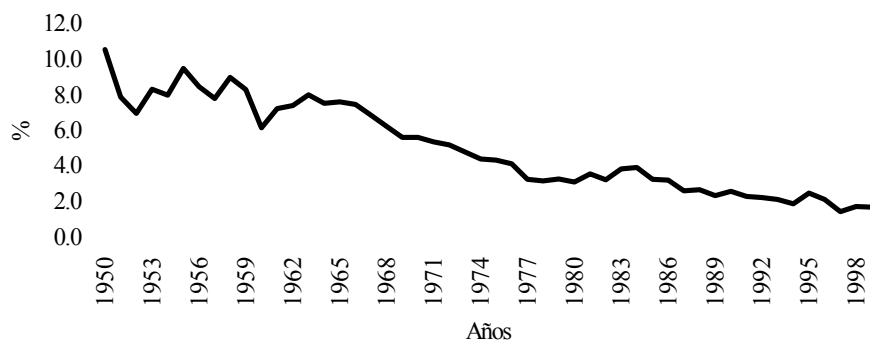
Fuente: Elaboración propia con base en información del INEGI. 1999. Estadísticas históricas de México. Tomo I. p. 364; y de SAGARPA. 2002. Sistema de información agropecuaria de consulta. En: siea.sagarpa.gob.mx

Figura 2.9. Proporción del pib agrícola en el pib nacional

*Chenery y Srinivansan* señalan que dicha *ley de Engel* es aplicable a una economía cerrada con precios constantes. Esto para el caso de México no es generalizable, por el dualismo en su desarrollo agrícola, y sólo explica el comportamiento de la agricultura de temporal, que para fines prácticos se puede considerar como cerrada (la mayor parte de su producción la destina al autoconsumo).

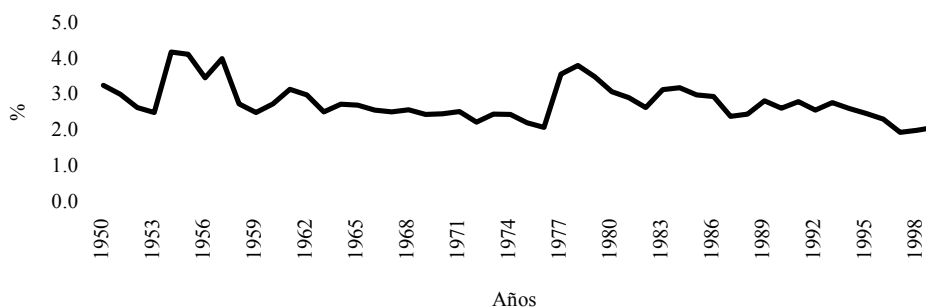
<sup>34</sup> Véase, *mimeo*, p. 4. Traducción del original de Chenery y Srinivansan (editores). 1998. *Handbook of Development Economics*. Elsevier Science Publishers. Amsterdam.

En la Figura 2.10 se observa la participación del valor de la producción agrícola de temporal en el pib total de la economía, y tiene tendencia negativa; por otra parte, el valor de la producción proveniente de tierras de riego oscila entre 1.94% y 3.81% (véase Figura 2.11).



Fuente: Elaboración propia con base en información del INEGI.1999. Estadísticas históricas de México. Tomo I. p. 364; y de SAGARPA. 2002. Sistema de información agropecuaria de consulta. En: [siea.sagarpa.gob.mx](http://siea.sagarpa.gob.mx)

Figura 2.10. Participación relativa del valor de la producción agrícola de temporal en el pib total de la economía mexicana.



Fuente: Elaboración propia con base en información del INEGI.1999. Estadísticas históricas de México. Tomo I. p. 364; y de SAGARPA. 2002. Sistema de información agropecuaria de consulta. En: [siea.sagarpa.gob.mx](http://siea.sagarpa.gob.mx)

Figura 2.11. Participación relativa del valor de la producción agrícola de riego en el pib total de la economía mexicana.

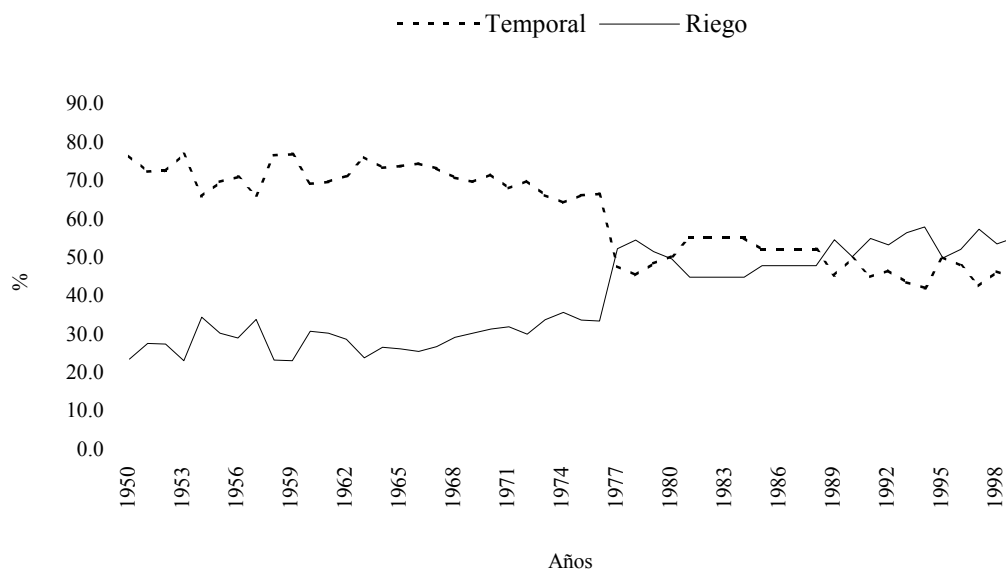
Si bien la participación relativa del valor de la producción agrícola de riego en el pib total nacional ha oscilado entre 1.94 y 3.81% de 1950 hasta 1999, su participación promedio, durante el periodo bajo estudio, ha sido de 2.78% y, en términos generales, presenta oscilaciones alrededor de dicho valor. Sin embargo, existen dos periodos claramente diferenciados, a saber: 1) de 1950 hasta 1977, con una participación relativa promedio en el pib total nacional de 2.83%; y 2) de 1978 hasta 1999, con una participación relativa promedio en el pib total nacional de 2.72% (véase Figura 2.11). Así, se puede decir que en promedio la participación del valor de la producción agrícola de riego se ha mantenido en el pib total de la economía mexicana durante el periodo 1950-1999.

La participación del valor de la producción agrícola proveniente de tierras de temporal en el valor de la producción agrícola total llegó a representar el 76.50% en 1950, en consecuencia, el de riego representó el 23.50%.

En 1999 el valor de la producción agrícola proveniente de tierras de temporal representó el 44.80% del valor de la producción agrícola total, a su vez, el de riego ascendió al 55.20%.

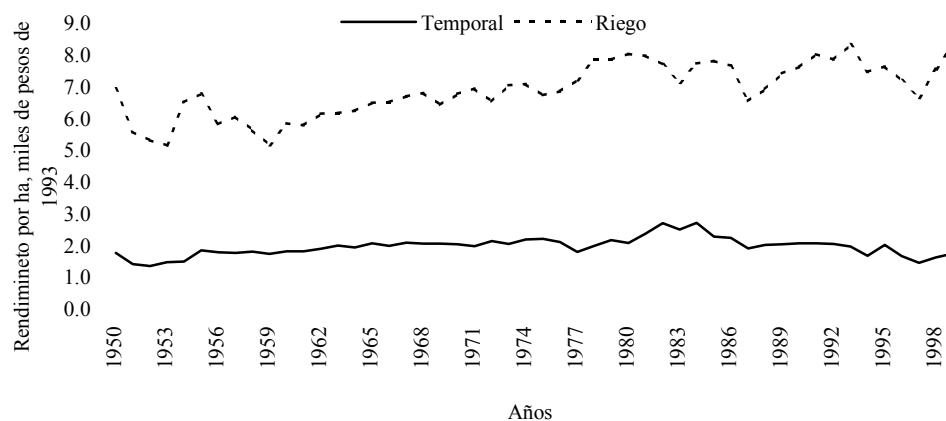
El cambio de participaciones relativas, del valor de la producción proveniente de tierras de temporal y de riego en el valor total de la producción agrícola, se explica, en parte, por la tendencia creciente de los rendimientos por hectárea de riego y, por el otro, a la casi nula variabilidad de los rendimientos por hectárea de temporal. Esto es, en tanto que el rendimiento por hectárea de temporal se mantuvo en el orden de los 1,370.00 y los 2,730.00 pesos de 1993, desde 1950 hasta 1999, el rendimiento por hectárea de riego

pasó de \$5,180.00 en 1950 a \$6,590.00 en 1999, ambos en pesos de 1993, es decir, el rendimiento por hectárea de riego aumentó 27.22% en términos reales (véase Figura 2.12 y Figura 2.13).



Fuente: Elaboración propia con base en información del INEGI.1999. Estadísticas históricas de México. Tomo I. p. 364; y de SAGARPA. 2002. Sistema de información agropecuaria de consulta. En: [sica.sagarpa.gob.mx](http://sica.sagarpa.gob.mx)

Figura 2.12. Participación relativa del valor de la producción de riego y el de temporal en el valor total de la producción agrícola de México.



Fuente: Elaboración propia con base en información del INEGI.1999. Estadísticas históricas de México. Tomo I. p. 364; y de SAGARPA. 2002. Sistema de información agropecuaria de consulta. En: [sica.sagarpa.gob.mx](http://sica.sagarpa.gob.mx)

Figura 2.13. Rendimientos por hectárea de riego y de temporal en miles de pesos de 1993.

Los rendimientos por hectárea de riego manifiestan una tendencia positiva, y los de temporal no manifiestan tendencia. Así, se puede decir que la agricultura de riego en México sí ha cumplido con la primera contribución, en el sentido de *Kuznets*, al crecimiento económico del país<sup>35</sup>.

En suma, y en términos generales, a lo largo de la segunda mitad del siglo XX la evolución de la agricultura de riego en el país, y a escala regional con base en la información *del Censo Agrícola, Ganadero y Ejidal, 1991, INEGI* (véase Cap. II, inciso 2.3, en el presente trabajo) ha cumplido, y cumple, con las funciones que debe realizar dicha actividad en el desarrollo económico de un país, a saber: crecimiento de su propio producto, propicia que emerjan nuevas actividades productivas, participa en actividades de mercado, tanto nacional como internacional, es decir, hace contribuciones de mercado (véase *Kuznets S. op. cit.*, pp: 127-132.). Además, la tesis de *Chenery y Srinivansan* no se cumple tampoco a escala regional, así como tampoco se cumple para el caso de la agricultura de riego en el ámbito nacional a lo largo del periodo considerado, tal y como se indicó líneas arriba.

Con base en los resultados obtenidos en éste inciso se acepta la hipótesis de trabajo respecto de que la agricultura bajo la modalidad de riego en México ha hecho contribuciones de mercado considerables, pues ha registrado una tendencia positiva de

---

<sup>35</sup> El primer tipo de contribución de la agricultura al crecimiento económico de una nación es el constituido por el crecimiento del producto dentro del mismo sector. Véase Eicher C. *et al.*, (Compiladores). 1968. *La agricultura en el desarrollo económico*. Ed. Limusa-Wiles, S.A. México. Cap. V. Kuznets, S. *El crecimiento económico y la contribución de la agricultura: notas sobre mediciones*. p. 122.

crecimiento durante la segunda mitad del siglo pasado y ha participado en actividades de mercado tanto interno como externo.

## 2.6 Taxonomía de los distritos de riego pertenecientes a las regiones administrativas III, VIII y XII

El objetivo central de este estudio es estimar el precio del agua en un contexto de eficiencia social para uso agrícola al nivel nacional y particularmente en las regiones administrativas III, VIII y XII. Es por ello que en este apartado se presenta una descripción detallada de las características principales tanto hidrológicas como socioeconómicas de las regiones administrativas citadas.

La región administrativa III recibe el nombre de Pacífico Norte; la VIII, de Lerma–Santiago–Pacífico; y la XII, Península de Yucatán.

La región administrativa III tiene una extensión de 150.1 miles de kilómetros cuadrados y equivale al 7.58% del territorio nacional; la VIII, 192.1, lo cual corresponde al 9.71% de nuestro territorio; y la XII, 139.5, que comprende el 7.05% del territorio nacional (véase Cuadro 2.12).

Cuadro 2.12. Extensión territorial por región administrativa.

| <i>Región Administrativa</i> | <i>Extensión territorial (miles de km<sup>2</sup>)</i> | <i>%/Nal.</i> |
|------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| III Pacífico Norte           | 150.1                                                  | 7.586         |
| VIII Lerma–Santiago–Pacífico | 192.1                                                  | 9.709         |
| XII Península de Yucatán     | 139.5                                                  | 7.050         |
| Nacional                     | 1978.6                                                 | 100.000       |

Nota: La Región Administrativa I incluye 10 municipios completos más una porción del municipio de San Luis Río Colorado, perteneciente al Distrito de Riego 014 (Río Colorado) que comprende una extensión territorial de 281.3 km<sup>2</sup> y una población de 9 016 habitantes.

Fuente: CNA. Enero de 2001. *op. cit.*, p. 8.

La población total del país asciende a 97.28 millones de habitantes (información correspondiente al año de 1999), de los cuales, el 3.978% se encuentra en la Región Administrativa Pacífico Norte III y equivale a 3.87 millones de habitantes; el 19.358% se encuentra en la Región Administrativa Lerma–Santiago–Pacífico VIII, con 18.83 millones de habitantes; y el 3.331% se encuentra en la Región Administrativa Península de Yucatán XII, equivalente a 3.24 millones de habitantes (véase Cuadro 2.13).

Cuadro 2.13. Número de habitantes por región administrativa en México.

| <i>Región Administrativa</i> | <i>Población en millones (diciembre de 1999)</i> | <i>%/Nacional</i> |
|------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|
| III Pacífico Norte           | 3.87                                             | 3.978             |
| VIII Lerma–Santiago–Pacífico | 18.83                                            | 19.356            |
| XII Península de Yucatán     | 3.24                                             | 3.331             |
| Nacional                     | 97.28                                            | 100.000           |

Nota: La Región Administrativa I incluye 10 municipios completos más una porción del municipio de San Luis Río Colorado, perteneciente al Distrito de Riego 014 (Río Colorado) que comprende una extensión territorial de 281.3 km<sup>2</sup> y una población de 9016 habitantes.

Fuente: CNA. Enero de 2001. *op. cit.*, p. 8.

La densidad de población en la región administrativa III es de 26 habitantes por km<sup>2</sup>; en la VIII, de 98; y en la XII, de 23 (CNA, enero de 2001. p. 8). Cabe señalar que la densidad de población media a escala nacional es de 49 habitantes por km<sup>2</sup>, según información correspondiente al año de 1999.

La región administrativa III está conformada por 51 municipios; la VIII, por 326; y la XII, por 124. El número total de municipios en la República Mexicana es de 2 443 (CNA, enero de 2001. p. 8).

El nivel de precipitación media anual histórica nacional de 1941 hasta 1999 ha sido de 772 mm, en la región administrativa III ha sido de 869 mm; en la VIII, de 729; y en la XII, de 1 194 (CNA. Enero de 2001. p. 12).

En la región administrativa III la extracción bruta de agua durante 1999 ascendió a los 10 200 hectómetros cúbicos (hm<sup>3</sup>). De los cuales, 9 486 hm<sup>3</sup> correspondieron al uso agrícola, es decir, el 93% de la extracción total de la región se utilizó en la agricultura (véase Cuadro 2.14).

En la región administrativa VIII la extracción bruta de agua durante 1999 ascendió a los 14 208 hm<sup>3</sup>. De los cuales, 11 840 correspondieron al uso agrícola, es decir, el 83.33% de la extracción total de la región se utilizó en la agricultura (véase Cuadro 2.14).

En la región administrativa XII la extracción bruta de agua durante 1999 ascendió a los 1 287 hm<sup>3</sup>, de los cuales, 663 correspondieron al uso agrícola, esto es, el 51.52% de la extracción total de la región se utilizó en la agricultura (véase Cuadro 2.14).

Cuadro 2.14. Extracción bruta de agua por región administrativa (hm<sup>3</sup>) (datos estimados para el año de 1999).

| <i>Región Administrativa</i> | <i>Total</i> | <i>Uso agrícola</i> | <i>Uso público</i> | <i>Uso industrial*</i> |
|------------------------------|--------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| III Pacífico Norte           | 10200        | 9486                | 612                | 102                    |
| VIII Lerma–Santiago–Pacífico | 14208        | 11840               | 1776               | 592                    |
| XII Península de Yucatán     | 1287         | 663                 | 559                | 65                     |
| Nacional                     | 78402        | 64804               | 9917               | 3681                   |

Nota: \* Incluye termoeléctricas, excepto las de Petacalco y Dos Bocas.  
Fuente: CNA. Enero de 2001. *op. cit.*, p. 23.

En la región administrativa III, del total de agua extraído para uso agrícola durante 1999, el 95.70% provino de aguas superficiales, equivalente a 9 078 hm<sup>3</sup>, el resto, es decir, el 4.30%, que equivale a 408 hm<sup>3</sup>, de fuentes subterráneas (véase Cuadro 2.15).

En la región administrativa VIII, del total de agua que se extrajo para uso agrícola durante 1999, el 60% provino de aguas superficiales y equivale a 7 104 hm<sup>3</sup>, el resto, el 40%, equivalente a 4 736 hm<sup>3</sup>, de fuentes subterráneas (véase Cuadro 2.15).

En la región administrativa XII, del total de agua extraído para uso agrícola durante 1999, el 18.10% provino de aguas superficiales, equivalente a 120 hm<sup>3</sup>, el resto, 81.90%, 543 hm<sup>3</sup>, de fuentes subterráneas (véase Cuadro 2.15).

Cuadro 2.15. Extracción bruta de agua para uso agrícola, hm<sup>3</sup>. (Datos de 1999).

| <i>Región Administrativa</i> | <i>Total</i> | <i>Origen</i>    |                  |
|------------------------------|--------------|------------------|------------------|
|                              |              | Agua Superficial | Agua Subterránea |
| III Pacífico Norte           | 9486         | 9078             | 408              |
| VIII Lerma–Santiago–Pacífico | 11840        | 7104             | 4736             |
| XII Península de Yucatán     | 663          | 120              | 543              |
| Nacional                     | 64804        | 47891            | 16913            |

Fuente: CNA. Enero de 2001. *op. cit.*, p. 24.

De los 6.3 millones de hectáreas bajo la modalidad de riego que tiene México, 3.4 millones de ellas pertenecen a los 82 distritos de riego con los que cuenta el país. En este estudio se hace referencia a 23 distritos de riego y comprende alrededor de 1.22 millones de hectáreas; esto es, abarca al 28.05% del total de hectáreas de riego y el 35.86% del total de las hectáreas de los distritos de riego. Asimismo, el área de estudio se refiere en parte o a la totalidad de los siguientes estados: Sinaloa, Durango, Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, México, Colima, Yucatán, Campeche y Quintana Roo (véase Figura 2.3).

La Región Administrativa Pacífico Norte III está conformada por ocho distritos de riego, tiene 745.2 miles de hectáreas, cuenta con 80 880 usuarios y el número de hectáreas promedio por usuario es de 9.214 (véase Cuadro 2.16).

La Región Administrativa Lerma–Santiago–Pacífico VIII está conformada por 12 distritos de riego, tiene 427.8 miles de hectáreas, cuenta con 95 073 usuarios y el número de hectáreas promedio por usuario es de 4.5 (véase Cuadro 2.17).

Cuadro 2.16. Distritos de riego pertenecientes a la Región Administrativa Pacífico Norte III.

| <i>Nº</i> | <i>Nombre</i>     | <i>Entidad(es)<br/>federativa(s)</i> | <i>Superficie<br/>total<br/>(miles de ha)</i> | <i>Superficie<br/>transferida<br/>(%)</i> | <i>Nº. De<br/>usuarios</i> |
|-----------|-------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|
| 10        | Culiacán-Humalla  | Sinaloa                              | 212.1                                         | 100                                       | 18,588                     |
| 52        | Estado de Durango | Durango                              | 20.9                                          | 100                                       | 4,189                      |
| 63        | Guasave           | Sinaloa                              | 100.1                                         | 100                                       | 14,448                     |
| 74        | Mocorito          | Sinaloa                              | 40.7                                          | 100                                       | 5,767                      |
| 75        | Río Fuerte        | Sinaloa                              | 227.5                                         | 100                                       | 21,378                     |
| 76        | Valle del Carrizo | Sinaloa                              | 51.7                                          | 100                                       | 6073                       |
| 108       | Elota-Piaxtla     | Sinaloa                              | 22.8                                          | 100                                       | 1,911                      |
| 109       | San Lorenzo       | Sinaloa                              | 69.4                                          | 100                                       | 8,526                      |

Fuente: CNA. Enero de 2001. *op. cit.*, pp: 26-28.

Cuadro 2.17. Distritos de Riego Pertenecientes a la Región Administrativa Lerma–Santiago–Pacífico VIII.

| <i>Nº.</i> | <i>Nombre</i>      | <i>Entidad(es)<br/>federativa(s)</i> | <i>Superficie Total<br/>(miles de ha)</i> | <i>Superficie<br/>Transferida (%)</i> | <i>Nº. De<br/>usuarios</i> |
|------------|--------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| 1          | Pabellón           | Aguascalientes                       | 11.9                                      | 100                                   | 1,987                      |
| 11         | Alto Río Lerma     | Guanajuato                           | 112.8                                     | 100                                   | 22,676                     |
| 13         | Estado de Jalisco  | Jalisco                              | 59                                        | 90.5                                  | 13,668                     |
| 20         | Morelia            | Michoacán                            | 20.7                                      | 100                                   | 5,920                      |
| 24         | Ciénega de Chapala | Michoacán                            | 45.2                                      | 100                                   | 14,881                     |
| 33         | Estado de México   | México                               | 17.5                                      | 17.8                                  | 3,891                      |
| 53         | Estado de Colima   | Colima                               | 32.1                                      | 100                                   | 2,448                      |
| 61         | Zamora             | Michoacán                            | 18                                        | 100                                   | 4,168                      |
| 85         | La Begoña          | Guanajuato                           | 10.8                                      | 100                                   | 2,898                      |
| 87         | Rosario-Mezquite   | Michoacán                            | 63.1                                      | 100                                   | 16,816                     |
| 93         | Tomatlan           | Jalisco                              | 19.8                                      | 100                                   | 2,864                      |
| 94         | Jalisco Sur        | Jalisco                              | 16.9                                      | 100                                   | 2,856                      |

Fuente: CNA. Enero de 2001. *op. cit.*, pp: 26-28.

La Región Administrativa Península de Yucatán XII está conformada por tres distritos de riego, tiene 46.4 miles de hectáreas, cuenta con 14, 336 usuarios y el número de hectáreas promedio por usuario es de 3.24 (véase Cuadro 2.18).

De acuerdo con información de la CNA correspondiente a 1999, la infraestructura hídrica en los distritos de riego en México, al nivel nacional, está compuesta por 233 derivadoras; 114 diques; 7 585 pozos; 751 plantas de bombeo; 27 766.254 km. de canales revestidos; 30 587.25 km. de canales no revestidos y 2 126.209 km. de canales entubados (CNA–IMTA. CINHDR. 2000).

Cuadro 2.18. Distritos de Riego Pertenecientes a la Región Administrativa Península de Yucatán XII.

| <i>Nº</i> | <i>Nombre</i>      | <i>Entidad(es)<br/>federativa(s)</i> | <i>Superficie total<br/>(miles de ha)</i> | <i>Superficie<br/>transferida (%)</i> | <i>Nº. De<br/>usuarios</i> |
|-----------|--------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| 48        | Ticul              | Yucatán                              | 9.7                                       | 100                                   | 6,949                      |
| 81        | Estado de Campeche | Campeche                             | 29.5                                      | 100                                   | 6,377                      |
| 102       | Río Hondo          | Quintana Roo                         | 7.2                                       | 100                                   | 1,010                      |

Fuente: CNA. Enero de 2001. *Compendio básico del agua en México, 2001*. pp: 26-28.

Del total de la infraestructura hidroagrícola disponible en los distritos de riego al nivel nacional, los distritos de riego pertenecientes a la Región Administrativa Pacífico Norte III tienen el 6.44% de las derivadoras; 38.60% de los diques; 5.10% de los pozos; 15.98% de las plantas de bombeo; 11.37% de los kilómetros de canales revestidos; 19.65% de los canales no revestidos; y el 3.85% de los canales entubados (véase Cuadro 2.19).

Del total de la infraestructura hidroagrícola disponible en los distritos de riego al nivel nacional, los distritos de riego de la Región Administrativa Lerma–Santiago–Pacífico VIII tienen el 27.90%; 0.88% de los diques; 26.90% de los pozos; 18.91% de las plantas de bombeo; 12.36% de los kilómetros de los canales revestidos; 12.79% de los canales no revestidos; y el 3.78% de los canales entubados (véase Cuadro 2.19).

Del total de la infraestructura hidroagrícola disponible en los distritos de riego al nivel nacional, los distritos de riego pertenecientes a la Región Administrativa Península

de Yucatán XII tienen el 13.30% de los pozos; 6.79% de las plantas de bombeo; 1.20% de los kilómetros de los canales revestidos; 1.86% de los canales no revestidos; y el 51.41% de los canales entubados (véase Cuadro 2.19).

Cuadro 2.19. Porcentaje de infraestructura disponible en los distritos de riego agrupados por región administrativa respecto del total existente en los distritos de riego a escala nacional.

| <i>Concepto</i>                        | <i>Región III</i> | <i>Región VIII</i> | <i>Región XII</i> |
|----------------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Derivadoras                            | 6.44              | 27.90              | 0                 |
| Diques                                 | 38.60             | 0.88               | 0                 |
| Pozos                                  | 5.10              | 26.90              | 13.30             |
| Plantas de bombeo                      | 15.98             | 18.91              | 6.79              |
| Longitud de canales revestidos (km)    | 11.37             | 12.36              | 1.20              |
| Longitud de canales no revestidos (km) | 19.65             | 12.79              | 1.86              |
| Longitud de canales entubados (km)     | 3.85              | 3.78               | 51.41             |

Fuente: CNA-IMTA. 2000. *SINHDR. Sistema de información hidroagrícola de distritos de riego*. D.C.

Los cultivos representativos de los distritos de riego durante 1990-1999 fueron los siguientes: frijol, maíz, trigo, algodón, alfalfa y caña de azúcar. En Cuadro 2.20 se presenta el ciclo de cada uno de dichos cultivos, así como la lámina neta y la lámina bruta de agua empleada.

Cuadro 2.20. Cultivos, lámina neta y lámina bruta en los distritos de riego (1990-1999).

| <i>Ciclo</i>     | <i>Cultivo</i> | <i>Lámina (cm)</i> |                |
|------------------|----------------|--------------------|----------------|
|                  |                | <i>Neta*</i>       | <i>Bruta**</i> |
| Otoño–invierno   | Frijol         | 32                 | 55             |
|                  | Maíz           | 66                 | 111            |
|                  | Trigo          | 68                 | 98             |
| Primavera–verano | Algodón        | 97                 | 132            |
|                  | Maíz           | 54                 | 92             |
|                  | Sorgo          | 30                 | 52             |
| Perennes         | Alfalfa        | 138                | 208            |
|                  | Caña de Azúcar | 88                 | 155            |

\* Lámina considerada a nivel toma granja del usuario.

\*\* Lámina considerada al nivel fuente de abastecimiento.

Fuente: CNA. Enero de 2001. *op. cit.*, p. 25.

## **Capítulo III**

### **Cobro del agua para riego. Algunas experiencias internacionales**

En este capítulo se hace una descripción de la política que en materia de precio del agua para uso agrícola han implementado los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), así como algunos países en vías de desarrollo.

Si bien uno de los objetivos de la OCDE es que todos los países miembros de ella recuperen la totalidad de los costos en los que incurren por el suministro de agua para riego, a la fecha, en el mejor de los casos, apenas alcanzan a recuperar el 100% de los costos de operación y mantenimiento, tal es el caso de Japón y de Nueva Zelanda. En el resto de los países el agua para riego sigue subsidiada.

En contraste con los países miembros de la OCDE, los países en vías de desarrollo, como Chile y China, han aplicado reformas radicales en torno al suministro de agua y a la inversión en obras de infraestructura hidroagrícola. En Chile, por ejemplo, se ha llegado a privatizar toda la infraestructura hidroagrícola y otorgar el agua en propiedad, mediante derechos de propiedad. En China se ha entregado a los usuarios toda la infraestructura de riego y la administración de la misma, al tiempo que el gobierno ha retirado todo tipo de subsidio.

La implementación de políticas radicales en torno al agua para riego en países subdesarrollados lleva naturalmente a la pregunta siguiente: ¿por qué los países

desarrollados no hacen lo mismo? La pregunta se deja abierta, pues su respuesta está fuera del alcance del objetivo de este trabajo.

### **3.1 Algunas experiencias de los países desarrollados en relación con el cobro del agua para uso agrícola**

En los países miembros de la OCDE, el cobro del agua para uso agrícola no está muy difundido. Una de las razones que explica dicho comportamiento es la intervención del gobierno en la construcción de instalaciones de agua y proyectos de irrigación<sup>36</sup>.

Para la OCDE, el precio del agua denota cualquier cargo o impuesto que los agricultores pagan con el fin de tener acceso al recurso hídrico.

El agua para uso agrícola en la mayoría de los países desarrollados ha estado y está subsidiada, sin embargo, durante los últimos años, dicho subsidio ha disminuido, las reformas de precios más radicales en algunos países pertenecientes a la OCDE (Australia, Nueva Zelanda y el Reino Unido) ponen el énfasis en hacer responsables a los agricultores de los costos derivados de sus demandas de agua. De manera que cualquier reforma de precios debe basarse en alguna definición de los costos recuperables, mediante los cobros por el suministro del recurso para uso agrícola. Por ejemplo, la Unión Europea se ha centrado en la recuperación del costo de oportunidad del capital, la depreciación de la inversión, operación y mantenimiento (*O&M*), valores de escasez y el valor de las externalidades ambientales causadas por los usuarios del agua en la agricultura.

---

<sup>36</sup> OCDE. 1998. Agricultural water pricing in OECD countries. Group on economic and environment policy integration. Paris. p. 6.

En los países miembros de la OCDE la medición de los servicios de agua es un procedimiento excepcional en la mayoría de los distritos de riego. Asimismo, el cobro de los costos marginales raramente se encuentran en los precios del agua para riego, y normalmente, los mencionados precios, sólo pretenden hacer responsables a los agricultores por todos los costos variables en los que se incurre por suministrarles el agua, mientras que parte o la totalidad de los costos fijos, son sufragados por las agencias públicas.

El cobro del agua en los países miembros de la *OCDE* se lleva a cabo mediante alguna de las siguientes modalidades:

1. Precios por volumen. Se basan en los registros actuales de consumo o en la medición de tiempo de uso de un flujo de agua conocido.
2. Precio por área. Se cobra el agua utilizada por unidad de área irrigada.
3. Tarifa en dos partes. Los agricultores pagan por volumen, por cada unidad de agua utilizada y un cargo anual (usualmente basado en el costo fijo por recuperar).
4. Precio de cargo por mejora. El cobro del agua se basa en el incremento del valor de la tierra debido a la provisión de agua para riego.
5. Precio por volumen con base en un bono. Se hace que los agricultores paguen por cualquier cantidad de agua que exceda cierto volumen y son premiados económicamente si su consumo es menor a una cantidad previamente determinada.

Los países miembros de la *OCDE* desde principios de la década de los 90 han implementado una serie de reformas relacionadas con el precio del agua para uso agrícola y su finalidad es recuperar la totalidad de los costos de producción del recurso

hídrico utilizado en la mencionada actividad económica. Sin embargo, en la actualidad, año 2003, sólo han logrado recuperar parte de los costos de operación y mantenimiento.

A continuación se expone la evolución y situación actual respecto de la implementación de una política de precios al agua para uso agrícola en algunos países miembros de OCDE, así como a la superficie irrigada, en algunos casos.

### **Australia**

En Australia se da un trato especial a los irrigadores con el fin de relajar los requerimientos de cobro. En 1992 se estimó que el cobro tendría que incrementarse 250%, y el incremento fue de sólo 30-50%.

### **Austria**

En Austria el agua para riego rara vez se requiere para complementar la precipitación natural. El agua para riego, generalmente, se bombea de los acuíferos y para ello los agricultores necesitan contar con un permiso que expide la autoridad competente.

### **Canadá**

La política canadiense en relación con el precio del agua para uso agrícola ha permitido suministrar el recurso a tasas altamente subsidiadas y, no obstante los últimos incrementos en el precio del recurso, todavía no se logra recuperar los costos de operación y mantenimiento. Empero, la economía del agua en Canadá está muy lejos de sufrir las presiones de demanda registrados en otros países, y su política se centra más en cuestiones de calidad que de cantidad. En Alberta se inició la operación de mercados de agua (provincia con el 70% de la tierra irrigada de ese país).

## **República Checa**

En la República Checa sólo el 3.6% del total de su superficie cultivable cuenta con sistemas de riego y utiliza el 6% de los recursos acuíferos disponibles. El suministro de agua para llevar a cabo la actividad agrícola la proporcionan los organismos estatales y hasta que los sistemas de riego no sean completamente privatizados, el gobierno continuará sufragando todos los costos relacionados con su producción, sin pretender siquiera recuperar los costos de operación y mantenimiento.

## **Dinamarca**

En Dinamarca el consumo de agua por parte de la agricultura de riego representa cerca del 35% del total de los usos consuntivos, los agricultores que utilizan agua para riego están sujetos a la “*Green Tax Reform*” (1994), la cual impone un precio (tasa) de US \$0.71 por metro cúbico; sin embargo, los campesinos pueden deducir del pago de sus impuestos los costos en los que incurren por el uso del agua.

## **Francia**

En Francia, el nuevo *Código de Agua* (1992) ha reforzado el interés público en los recursos hidráulicos, la administración de cuencas y ha propiciado, simultáneamente, un progreso sustancial en la búsqueda de políticas orientadas al medio ambiente.

Las agencias de agua francesas tienen un alcance considerable en el diseño de los planes de administración y en el establecimiento de cobros, la mayoría de los usuarios y las partes implicadas están representadas en las autoridades que administran el recurso. El agua se suministra a las asociaciones de agricultores por compañías oferentes

(públicas y privadas). El criterio utilizado por estas compañías para fijar los cobros por el agua varía sustancialmente entre cuencas y para ello utilizan los siguientes principios: probabilidad de sequía, tipo de suelo, costos de capital y composición de propiedad, otro factor clave ampliamente considerado es si el suministro del recurso hídrico se origina en ríos llenos, en corrientes de agua poco abundantes, en acuíferos o en lagos.

### **Alemania**

En Alemania la agricultura de riego no está muy extendida. La administración del agua es responsabilidad de los *Länders*, tradicionalmente los precios del agua se basan en los costos de extracción del recurso de su ciclo natural, del saneamiento y transportación de la misma.

### **Grecia**

En Grecia el 38% de la tierra cultivable es de riego y representa el 10% de la superficie del país, su agricultura de riego consume poco más del 80% del total de los usos consuntivos, el acceso a los recursos hidráulicos aún no está completamente regulada, el marco institucional y la complejidad hidráulica existentes explican por qué no es posible encontrar tendencias comunes en el establecimiento de precios al agua. Otro elemento conformador de dicha heterogeneidad es que más del 40% de la demanda de agua es satisfecha mediante la extracción del subsuelo, en consecuencia, las cuotas (precios) dependen totalmente de los costos de extracción. Los *Consejos Locales de Mejoramiento de la Tierra (TOEV's)* cobran cuotas para cubrir los gastos de administración y de *O&M* de las instalaciones colectivas, durante 1994 los ingresos que obtuvieron, por estos cargos, representaron el 44% de sus gastos totales.

## **Italia**

En Italia el consumo de agua por parte de la agricultura de riego representa el 61% del total de los usos consuntivos; en términos estrictamente cuantitativos el agua está ampliamente disponible en el valle del *Po* (norte del país), pero es escasa y vulnerable a la sequía en el sur (región de la *Capitanata*); el gobierno ha reducido los subsidios a las instalaciones de suministro de agua, no obstante, los agricultores aún pagan menos que otros usuarios (uso industrial o uso doméstico, entre otros) y sus pagos no incluyen costos por depreciación, y el reemplazo del capital todavía depende del presupuesto gubernamental; algunas estimaciones al respecto indican que los pagos hechos por los agricultores apenas cubren el 60% de los costos fijos y variables (costo total).

## **Japón**

El sector agrícola japonés está altamente estructurado y, con frecuencia, dicha estructuración ha sido utilizada para justificar la intervención gubernamental. Al Estado se le ha asignado una función relevante para promover y subsidiar los proyectos de riego.

El cultivo de arroz ocupa el 80% de los 2.8 millones de acres de tierra irrigada y cerca del 55% de los acres cultivados. Actualmente la agricultura de riego utiliza el 64% del agua obtenida (principalmente de fuentes superficiales).

El riego en el Japón está organizado a través de *Distritos de Mejoramiento de la Tierra* –*LIDs*, por sus siglas en inglés–, los cuales tienen la responsabilidad de administrar las instalaciones comunes y organizar la rotación de agua entre los agricultores. Los *LIDs* pueden ordenar solicitudes para nuevos proyectos de irrigación o

ampliar los ya existentes y, en última instancia, pueden disponer de subsidios de entre 50 y 60% de los gobiernos locales y del gobierno central.

Los agricultores pagan tasas fijas a sus *LIDs* en relación con los costos de *O&M* e inversión en proyectos de irrigación. Las cuotas de *O&M* están en el rango de US \$ 246/ha y representan alrededor del 2.5% de los costos totales de la producción agrícola. Si bien las cuotas de los agricultores compensan los costos de *O&M* y reparación de las *LIDs*, no cubren los costos de capital.

### **Nueva Zelanda**

Desde la adopción del *Acta de Administración de Recursos* (1991) Nueva Zelanda se ha convertido en el país líder de la OCDE, por la forma en que valora y toma en cuenta el uso y acervo de sus recursos naturales y por la promoción de políticas sustentables.

En Nueva Zelanda el sector agrícola contribuye con el 10% de la producción nacional, cuenta con 234 mil hectáreas de riego, de las cuales cerca de 105 mil han sido desarrolladas por el sector público y los servicios de suministros de agua están totalmente privatizados; no obstante, los distritos de riego privados coexisten con los públicos y, generalmente, estas compañías son propiedad de los usuarios, las cuales fijan los precios con base en los costos de suministro. El precio por volumen se está implementado sobre los consumidores urbanos y es probable que pronto se aplique también a los agricultores bajo la modalidad de riego.

### **Portugal**

En Portugal la tierra bajo riego consume cerca del 60% de la oferta total de agua, y a diferencia de la mayoría de los países miembros de la OCDE, la función del Estado en la

promoción de proyectos de irrigación ha sido muy reducida, pues los proyectos de irrigación puramente públicos representan el 14% de las 630 mil hectáreas que cuentan con sistemas de riego.

La Ley de Agua portuguesa combina propiedad pública y privada de los recursos hídricos. La obtención de agua está libre de cobro, siempre y cuando los usuarios no generen niveles significativos de contaminación. Las cuotas por riego pretenden recuperar la totalidad de los costos, sin embargo, el sistema portugués tiene la peculiaridad de calcular cuotas *pagables* con base en diferentes tasas de interés, que pueden variar de acuerdo con la calidad del suelo y del crecimiento del cultivo en cada región.

## **España**

De los países miembros de la OCDE España posee una de las mayores áreas irrigadas. La distribución natural de los recursos hídricos es tal que las cuencas del norte reciben nueve veces más agua respecto de las cuencas del sudeste; tiene 3.3 millones de hectáreas con riego y consumen entre el 75% y el 80% del agua destinada a los usos consuntivos.

En España los agricultores que utilizan agua superficial para riego están obligados a pagar dos tipos de cargos, a saber: uno regulatorio, el cual intenta rembolsar al Estado las inversiones hechas en capital en grandes obras hidráulicas; y una tarifa diseñada para cubrir los costos de *O&M* de los sistemas de almacenamiento y transportación del agua, ambos cargos se calculan de acuerdo con criterios estrictamente establecidos en decretos acordes con la Ley de Agua. No obstante, las autoridades de las

cuencas frecuentemente fracasan al recaudar los ingresos dictados por los estatutos y no todos los usuarios que están legalmente obligados a pagar lo hacen; además de los cargos fijos, se requiere que los agricultores pertenecientes a los distritos de riego contribuyan con los costos de manejar y mantener los sistemas de recolección y distribución del agua.

### **Suecia**

Los agricultores suecos que necesitan agua para regar pueden obtenerla libremente de las fuentes cercanas.

### **Suiza**

En Suiza el suministro de agua al sector agrícola se provee por medio de agencias regionales, las cuales tienen un amplio rango de precios. La extracción de agua para riego representa el 4% del total de los usos consuntivos y el área irrigada es muy pequeña. Los agricultores deben pagar por el suministro del recurso y por el tratamiento de las aguas residuales.

### **Turquía**

Turquía cuenta con 4.6 millones de hectáreas bajo riego. Su constitución política confiere al Estado la responsabilidad de los recursos hídricos. La administración del agua la desempeñan agencias estatales y los cobros por el uso del agua en la agricultura están diseñados para recuperar los costos de *O&M* y parte de los costos de capital. Las cuotas se fijan cada año y se basan en proyecciones de los costos de *O&M*, sin dejar de lado los retornos netos de los agricultores, así como los tipos de cultivos; asimismo, los cargos se dividen en dos componentes: i) uno que pretende recuperar los costos de

*O&M*, su monto depende del tipo de cultivo y de las técnicas de irrigación empleadas; y  
ii) otro que tiene por base los costos de capital.

### **Reino Unido**

El Reino Unido tiene un poco más de 100 mil hectáreas de riego. En Escocia e Irlanda del Norte los recursos hídricos son abundantes y los agricultores pueden tomar agua de los ríos cercanos mediante un permiso, el cual no tiene costo alguno, en estas regiones el agua está regulada por la tradicional *Ley Común*.

En Gales e Inglaterra los recursos hidráulicos se están tornando escasos, pero la extracción para riego representa sólo el 3% de las extracciones totales. Desde 1993 cada región está facultada para fijar cargos acordes con sus costos de control del agua y a su disponibilidad específica. Los agricultores pagan un cargo anual cuyo monto depende de la ubicación, de los flujos de retorno generados por cada tecnología de riego, de la calidad del agua y de la estación en la que se hace la extracción.

### **Estados Unidos de América**

En Estados Unidos de América los precios del agua para irrigación se basan en dos principios básicos: i) el precio del agua para uso agrícola no debe pretender recuperar la totalidad de los costos y para ello, el congreso hace posible que los agricultores paguen parte de los costos en un largo periodo de tiempo a tasas que no excedan su capacidad de pago y ii) los contratos de repartición entre el *Departamento de Reclamaciones* y los distritos de riego deben establecer condiciones firmes respecto de las cantidades y precios por periodos de 25 a 50 años.

A manera de conclusión, se puede decir que en la mayoría de los países citados el agua utilizada en la actividad agrícola está subsidiada. No obstante los esfuerzos por parte de los gobiernos y de las agencias encargadas de suministrarla por recuperar la totalidad de los costos de producción del recurso; además, no existe ningún esfuerzo sistemático por internalizar los costos por el agotamiento y por la degradación del recurso hídrico.

En los países de la OCDE el precio del agua para la agricultura tiende a distinguir entre: i) cargos por los recursos acuíferos (costos de oportunidad), y ii) cargos para cubrir parte o la totalidad de los costos en los que se incurre por suministrar el agua para riego. El primer componente busca racionar el uso del recurso; el segundo, por su parte, pretende garantizar la autosuficiencia financiera de los sistemas de suministro.

En la Figura 3.1 se muestra la situación actual en relación con la recuperación de los costos de producción del agua para uso agrícola y sus perspectivas para los países miembro de la *OCDE*.

Uno de los objetivos de la OCDE es que en todos sus países miembros se cobre por el agua de riego. México, como ya se indicó, pertenece a dicha organización y deberá implementar una política de cobro. Sin embargo, también puede instrumentar medidas similares a las de los Estados Unidos de América o las de Dinamarca. Es decir, implantar precios (tarifas) que no sobrepasen la capacidad de pago de los agricultores y, a la par, una política de subsidio indirecto mediante el reintegro total de sus pagos por concepto de agua.

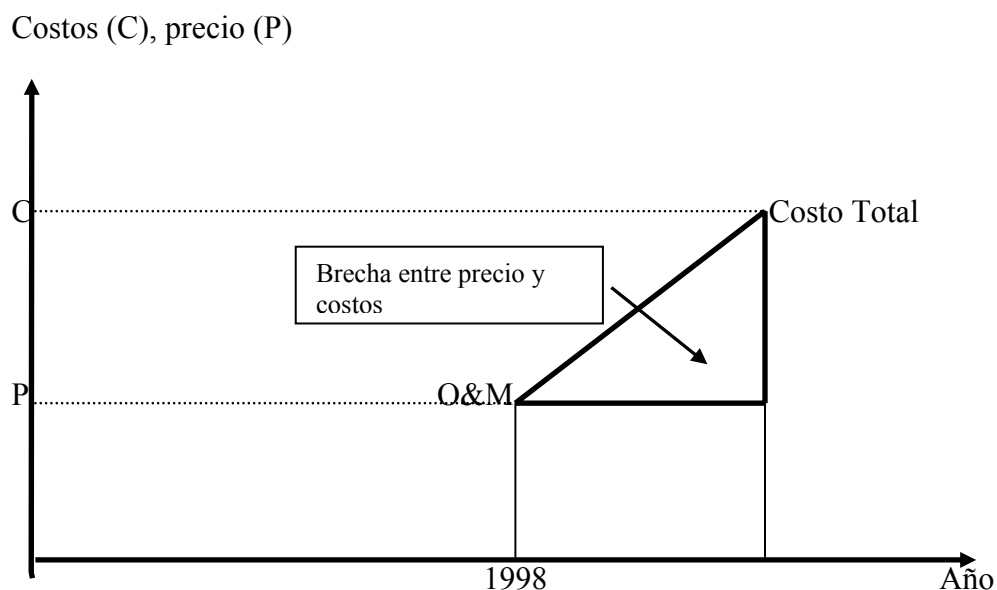


Figura 3.1. Brecha entre el costo del agua para riego y lo que recuperan las agencias encargadas de suministrar el líquido en los países miembros de la OCDE.

### 3.2 Experiencias de algunos países no desarrollados en relación con el cobro del agua para uso agrícola

En los últimos años en muchos países en vías de desarrollo se implementaron, y se siguen implementando, una serie de reformas encaminadas a la liberalización comercial, con la finalidad de eliminar la intervención del gobierno en la fijación de los precios de insumos y productos finales y dejar que los mercados los establezcan con base en los costos de oportunidad. No obstante, en la mayoría de estos países, dichas medidas dejaron de lado los recursos hídricos, por eso actualmente el agua se suministra mediante instancias públicas centralizadas a un precio subsidiado<sup>37</sup>.

<sup>37</sup> Véase: Muchnik E., et al. 1997. *Comercialización de los derechos de agua en Chile*. Serie Desarrollo Productivo 47. Naciones Unidas. División de Desarrollo Productivo y Empresarial. p. 7.

Si bien los organismos internacionales, como la *OCDE*, promueven el cobro del agua para uso agrícola a costo marginal, en casi todos sus países miembros no se cobra tal concepto y no se recuperan ni siquiera los costos de *O&M*, en la mayoría de los casos. Sin embargo, en los países no desarrollados se han implementado políticas de precios del agua más radicales, tal es caso de Chile.

### **Bangladesh, Nepal y Tailandia**

Se estima que durante el año de 1987 en Bangladesh, Nepal y Tailandia, el costo total del suministro de agua para uso agrícola fue equivalente al 1000% de los recursos recaudados por ese concepto (Panayotou. 1994); además, en dichos países, no existen mecanismos financieros eficaces para la recuperación de los costos de operación, lo cual propicia un bajo o nulo nivel de mantenimiento de las obras hidroagrícolas y sólo una fracción de los costos de *O&M* se cubren con las cuotas que pagan, en algunos casos, los usuarios del agua para riego; Rogers, P., estima que dichas rentas cubren el 20% de los costos en Bangladesh; el 27% en Tailandia; y el 60 en Nepal. (Citado por Panayotou, 1994).

### **Pakistán**

*The World Resources Institute* estima que si la eficiencia del sistema de riego de Pakistán aumentara un 10%, con el agua así ahorrada, se podrían regar otros dos millones de hectáreas, porque la falta de mantenimiento en la infraestructura hidráulica se traduce en infiltración y evaporación en los canales de hasta un 75%.

## **China**

El *Asian Development Bank* y el *International Irrigation Management Institute* consideran que en China, a partir de la Revolución Comunista de 1949, el área de las tierras de riego se han triplicado y el 75% de la producción de alimentos de ese país se obtiene de tierras irrigadas, lo cual ha contribuido al logro de la autosuficiencia alimentaria.

En julio de 1985 el gobierno de la República Popular China reformó su política agraria con la finalidad de otorgar mayor autonomía financiera y administrativa a las agencias que gestionan el agua en las provincias de ese país. En las reformas implementadas por el gobierno de la República Popular China se hizo énfasis en los siguientes puntos:

1. Que el agua es un producto básico y no es un regalo de la naturaleza.
2. Que el consumo dispendioso del agua por parte la actividad agrícola se debía a los pagos irracionalmente bajos que los usuarios hacían.
3. Que el desequilibrio entre la oferta y la demanda de agua para riego se debía a los pagos ínfimos que los usuarios hacían.

Para abatir el consumo dispendioso y restablecer el equilibrio entre la oferta y la demanda de agua para uso agrícola, se implementó un precio para el agua de riego acorde a su costo *real*, con lo cual han disminuido los problemas ocasionados por el consumo excesivo y la distribución ineficaz del recurso hídrico; asimismo, a principios de la década de 1980, el gobierno chino dejó de financiar la construcción de nuevos sistemas de riego por medio de donaciones y lo hizo mediante el otorgamiento de créditos a las agencias encargadas de administrar el agua para riego.

El presupuesto de las agencias encargadas de administrar el agua para riego, hoy, depende de las cuotas que pagan los usuarios por el servicio y de los ingresos de las actividades paralelas, tales como: la cría de ganado y la pesca.

En China el monto de las cuotas por el servicio de riego cubren:

1. Costos de operación.
2. Mantenimiento de las instalaciones hidroagrícolas.
3. Amortización del capital.
4. Costos de oportunidad, tanto del agua como de los recursos financieros.
5. Nivel de disponibilidad del recurso hídrico.
6. Un porcentaje de utilidad (para los productos no básicos).

La cuota del agua para el riego de granos básicos sólo incluye los costos de conducción, sin ganancia (utilidad) alguna, los cultivos más comerciales se riegan a un precio un poco mayor, es decir, al costo medio por unidad producida de agua ( $C_{med}$ ) más un porcentaje de utilidad. Así, el precio del agua para el cultivo de granos básicos ( $P_a$ ) es:

$P_a = \text{Costo promedio de bombeo por unidad producida.}$

El precio del agua para cultivos comerciales es:

$$P = C_{med} + \varepsilon$$

donde  $\varepsilon$  = porcentaje de utilidad

## **Indonesia**

En 1980 en Indonesia se creó el Parque Nacional *Dumoga-Bone*, con la finalidad de evitar la destrucción total de un bosque (Jeffrey A. 1987). La creación del parque tuvo

como objetivo conservar el bosque y una cuenca. La construcción del parque permitió alcanzar los dos objetivos. Las disposiciones del proyecto para la administración del bosque también contribuyeron a mejorar el sistema de riego (redujo la sedimentación) y ha permitido garantizar un flujo de agua continuo y previsible. Se cobran cuotas por el uso del agua para riego y lo recaudado se utiliza para:

1. Proveer el agua para riego de manera permanente y garantizada.
2. La conservación de la flora y de la fauna del parque.

## **Chile**

En el *paper The World Bank* N°.285, elaborado por Ríos M. y Jorge Quiroz (1995), se analiza el mercado de derechos de agua en Chile y los autores destacan que muchos economistas consideran a la comercialización de derechos del agua como el medio más eficiente para reasignar el líquido en varios usos alternativos; asimismo, señalan que dicha comercialización maximiza el valor económico del recurso hídrico, porque ayuda a reducir los costos de inversión en la infraestructura hidroagrícola por parte del sector público y propicia la inversión del sector privado en infraestructura de irrigación.

Del Código Chileno de Aguas de 1981 destacan los siguientes puntos:

1. Los derechos de agua están separados completamente de la propiedad de la tierra y pueden ser transferidos (vendidos). Las garantías de la propiedad privada (del agua) se basan en el Código Civil.
2. La asignación de nuevos derechos de agua no se condiciona a algún tipo de uso.
3. Los derechos de propiedad del agua son otorgados por el Estado y no se especifica gravamen alguno por la tenencia de estos derechos.

4. La función del Estado es resolver conflictos cuando se presentan.
5. En los derechos de propiedad no existe distinción entre uso consuntivo y no consuntivo<sup>38</sup>.

En Chile, al igual que en México, la actividad agrícola es la que más agua consume, como se observa en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Usos del agua en Chile.

| <i>Usos del agua</i>        | <i>Volumen de agua</i>              |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| <b>Usos consuntivos</b>     | <b>700 m<sup>3</sup>/seg (100%)</b> |
| Agricultura                 | 623 m <sup>3</sup> /seg (89%)       |
| Doméstico                   | 42 m <sup>3</sup> /seg (6%)         |
| Minas - Industrias          | 35 m <sup>3</sup> /seg (5%)         |
| <b>Usos no consuntivos*</b> | <b>1500 m<sup>3</sup>/seg</b>       |
| <b>Total</b>                | <b>2200 m<sup>3</sup>/seg</b>       |

\* Generación de hidroelectricidad.

Fuente: Ríos M. y Jorge Quiroz. *The market for water rights in Chile: Major issues*. World Bank N°. 285. p. 9.

En lo referente al agua para uso agrícola existen diversas organizaciones consideradas en el código de aguas chileno, ellas son:

1. Juntas de vigilancia. Supervisan y monitorean el uso natural del agua en las riveras.
2. Asociaciones de canaleros. Son asociaciones de los usuarios de canales para riego y administran la infraestructura primaria de los canales de irrigación.
3. Comunidades de agua. Son responsables de la infraestructura secundaria, tales como canales de distribución y no tienen *estatus* legal.

En Chile existe la Comisión Nacional de Riego. Es una agencia del Estado que se encarga de planear, evaluar, aprobar o rechazar los nuevos proyectos de inversión en

<sup>38</sup> El uso consuntivo se refiere al consumo del agua; por su parte, el uso no consuntivo utiliza el agua pero no la consume, por ejemplo, la industria hidroeléctrica, turística y recreativa, entre otras.

infraestructura de riego, a la vez, coordina las actividades tanto de agencias públicas como privadas relacionadas, ambas, con la infraestructura de irrigación.

En la Ley de Fomento al Riego se contempla la inversión en proyectos de desarrollo e incluye embalses, y revestimiento de canales. La preparación final de los términos de referencia, para llevar a cabo dichas inversiones, deberá estar aprobada expresamente por escrito y demostrar que los beneficios alcanzarán por lo menos al 33% de las tierras o de los poseedores de derechos de agua.

En el periodo 1990-1993 se invirtieron aproximadamente 156 millones de dólares en obras nuevas, se beneficiaron 113,500 hectáreas; por otro lado, se gastaron 3.8 millones de dólares en la rehabilitación de obras ya existentes, con ello se beneficiaron 28,500 hectáreas.

La Ley de Fomento a Obras Menores de Riego promueve la inversión privada en la construcción y mejoramiento de la infraestructura de irrigación, siempre y cuando la inversión no exceda los 690 mil dólares, aproximadamente, y el subsidio, por parte del Estado, es superior al 75% de los costos de diseño, construcción, revestimiento y otros. En los últimos años se han invertido alrededor de 105 millones de dólares en dichos rubros y el subsidio ha cubierto en promedio entre el 50 y el 60% de dicho monto. Con esas acciones se beneficiaron alrededor de 40 y 60 mil hectáreas por año.

En Chile existe tradición sobre la asignación del agua por medio de derechos, particularmente, para propósitos de riego. La asignación del agua se lleva al cabo con base en la comercialización de los derechos (títulos de propiedad) del agua, los cuales datan de 1920. Sin embargo, sólo entre el 35 y 50% del total de las asignaciones por medio de derechos son legales, esto es, entre el 50 y 65% de dichos derechos no han sido

legalizados y no cuentan con el título de propiedad correspondiente. Sin embargo, en Chile se considera, a pesar de todo, que una forma alternativa para determinar los costos de oportunidad del agua es el desarrollo pleno de los derechos de propiedad<sup>39</sup>.

De acuerdo con la exposición y la información presentada en éste capítulo respecto de las cuotas de riego que pagan los agricultores tanto en los países miembros de la OCDE como de los países no desarrollados es posible concluir que a la fecha el agua para riego está subsidiada tanto en unos como en otros, con lo cual nuestra segunda hipótesis de trabajo queda confirmada.

---

<sup>39</sup> Véase: Muchnik E. et al. 1997. *Comercialización de los derechos de agua en Chile*. Serie Desarrollo Productivo 47. Naciones Unidas. División de Desarrollo Productivo y Empresarial. 27 p.

## **Capítulo IV**

### **Marco teórico**

Este capítulo tiene por finalidad presentar los fundamentos teóricos, metodológicos y conceptuales necesarios que servirán de guía en la estimación del precio del agua en un contexto de eficiencia social para uso agrícola. Es por ello que la teoría de la producción se presenta de manera formal y se explica con ilustraciones a fin de facilitar el análisis de la tecnología productiva de los oferentes y de los demandantes de agua.

Los conceptos de monopolio natural y mercado competitivo son fundamentales en esta investigación, por ello, se abunda en el tema, se presentan ilustraciones y demostraciones formales. Demostraciones que serán indispensables para comprender los resultados que se exponen en el Capítulo VI del presente trabajo.

Se expone la teoría sobre la formación de los precios de los factores productivos en diferentes tipos de mercado. Se fundamenta que el precio del agua estimado con base en el valor del producto físico marginal (precio propio) del insumo hídrico es el único capaz de permitir el crecimiento del sector agrícola en un contexto de eficiencia social. Es aquí donde interviene lo presentado en el apartado 2.1 del Capítulo II, puesto que el precio propio del agua debe implementarse en un marco de legalidad y al amparo de una teoría económica que permita fundamentar las condiciones de oferta y de demanda del agua para riego en México.

Se hace una exposición breve de la teoría del óptimo de Pareto, del óptimo de Pareto y los precios, y del óptimo condicionado (*second best*). Todo ello permite sostener la forma en que el costo ecológico puede introducirse en el precio del agua.

Se abordan las propiedades económicas del agua para riego y se demuestra que es un bien intermedio, en consecuencia, no se puede tratar como un bien privado puro ni como un bien público puro. Por ello, el Estado está obligado a participar en la producción del agua, pues las libres fuerzas del mercado no son capaces de producir los volúmenes demandados por el sector agrícola de riego.

Se demuestra que las condiciones de oferta de agua para riego recaen en un monopolio natural y las ineficiencias registradas en el sector hidroagrícola de México se desprenden de la condición de monopolio natural del productor del líquido.

#### **4.1 Teoría de la producción**

La teoría económica de la producción, desde la perspectiva de la escuela neoclásica, dice que la función producción es una relación puramente técnica capaz de enlazar insumos factoriales y volúmenes de producción. Representa la tecnología de una actividad económica en particular o de toda la economía en general<sup>40</sup>.

Una unidad de la mercancía y puede ser producida mediante diferentes métodos, por ejemplo, los que se muestran en el Cuadro 4.1.

---

<sup>40</sup> Para un análisis detallado sobre la teoría de la producción véase: Koutsoyiannis A. 1979. Microeconomía moderna. Trad. Leandro Wolfson y Elsa Kraisman. Ed. Amorrortu. Cap. 3. pp: 79-111; también puede ver Robinson J. y John Eatweell. 1992. Introducción a la economía moderna. Trad. Marcial Suárez. Ed. FCE. pp: 109-112; Asimismo, Nicholson W. 1983. Microeconomía moderna y su aplicación. Trad. Agustín Cortin Sanz. Ed. Nueva editorial interamericana. pp: 133-150.

Cuadro 4.1. Distintos métodos de producción.

| <i>Insumos</i>  | <i>Método 1</i> | <i>Método 2</i> |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| Trabajo         | 15              | 60              |
| Capital         | 40              | 5               |
| Materias primas | 20              | 19              |
| Agua            | 60              | 20              |

Nota: Todos los factores están expresados en unidades físicas.

Es necesario destacar que la teoría económica de la producción se centra en los métodos productivos técnicamente eficientes. Así, el método de producción *A* es técnicamente eficiente con respecto al método *B*, por que *A* utiliza menos de uno de los factores productivos y no utiliza mayores cantidades de los factores restantes que *B* (véase Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2. Un método eficiente de producción.

| <i>Insumos</i>  | <i>Método A</i> | <i>Método B</i> |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| Trabajo         | 20              | 20              |
| Hectáreas       | 100             | 100             |
| Materias primas | 15              | 15              |
| Agua            | 35              | 40              |

Nota: Todos los factores están expresados en unidades físicas.

De acuerdo con los datos del Cuadro 4.2 el método *B* es técnicamente ineficiente con respecto al método *A*, porque el *B* utiliza más unidades físicas de agua que el método *A*.

De acuerdo con el criterio de eficiencia técnica dos o más procesos productivos no son comparables si un proceso utiliza menos de algún factor –por ejemplo, agua– y más de algún otro –digamos, trabajo–, en comparación con otro proceso. De este modo, los siguientes procesos (véase Cuadro 4.3) son no comparables; sin embargo, ambos son

considerados técnicamente eficientes<sup>41</sup>, la elección de cualquiera de ellos depende del precio de mercado de los factores.

Cuadro 4.3. Métodos de producción no comparables.

| <i>Insumos</i>  | <i>Método 1</i> | <i>Método 2</i> |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| Trabajo         | 50              | 60              |
| Capital         | 80              | 70              |
| Materias primas | 200             | 190             |
| Agua            | 60              | 70              |

Nota: Todos los factores están expresados en unidades físicas.

El caso de los distritos de riego N°. 09 Ciudad Juárez, Chihuahua, y el N°. 05 Delicias, Chihuahua, que pertenecen a la región centro norte, ilustran adecuadamente lo anterior, en relación con los criterios de eficiencia (véase Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4. Métodos de producción del trigo.

| <i>Insumos</i>                             | <i>Distrito de riego N°. 09</i> | <i>Distrito de riego N°. 05</i> |
|--------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Lámina neta media (cm)                     | 65.6                            | 99.8                            |
| Hectáreas sembradas Periodo otoño-invierno | 630                             | 22,227                          |
| Método de riego                            | Melga                           | Melga                           |

Fuente: CNA-IMTA. 1990. *Características de los distritos de riego, año agrícola 1990*. pp: 176-177 y 181-187.

Con base en los principios teóricos sobre la eficiencia técnica de la teoría de la producción, se puede decir que el proceso de producción de trigo, en los distritos de riego N°. 09 Ciudad Juárez, Chihuahua y N°. 05 Delicias, Chihuahua, es eficiente en cada uno de ellos y son no comparables, por que utilizan diferentes cantidades de

<sup>41</sup> En este sentido, el trabajo de Castillo Gala G., no concuerda con los principios de la teoría de la producción, pues para estimar el valor del agua en el Distrito de Riego de Tula, Hidalgo, compara el rendimiento por hectárea de riego con el de temporal (con el mismo tipo de cultivo durante el mismo periodo), y como el de riego es mayor, la diferencia se la atribuye al agua y concluye que ese es el valor del recurso hídrico. Evidentemente, este procedimiento pasa por alto el hecho de que la producción de riego ocupa un insumo que no utiliza el de temporal, agua y, por lo tanto, son procesos productivos no comparables. Véase: Castillo G. 2000. *Metodología para la determinación del valor del agua para uso agrícola y su aplicación al distrito de riego de Tula, Hidalgo*. Mimeo. 6 p.

insumos, a pesar de estar, ambos, en el mismo estado de la República Mexicana y en la misma región centro norte.

Un método eficiente desde la perspectiva técnica puede ser ineficiente desde el punto de vista económico. Para que ambos aspectos coincidan la curva de isocosto debe ser tangente a la isocuanta.

Una isocuanta representa el lugar geométrico de todos los métodos técnicamente eficientes (o todas las combinaciones de factores de la producción) para producir un determinado nivel de producto.

La función producción contiene los siguientes elementos:

- 1) La productividad marginal de los factores.
- 2) La tasa marginal de sustitución y la elasticidad de sustitución.
- 3) La intensidad de los factores.
- 4) La eficiencia de la producción.
- 5) Los rendimientos de escala.

La representación formal de la función producción es la siguiente:

$$Y = F(L, K, T_i, W, S, v, \gamma) \quad (4.1.1)$$

Donde  $Y$  representa la producción;  $L$ , al trabajo;  $K$ , al capital;  $T_i$ , a la tierra;  $W$ , al agua;  $S$ , a las materias primas;  $v$ , los rendimientos de escala y  $\gamma$  al parámetro de eficiencia.

Cabe destacar que todas las variables de la ecuación (4.1.1) son variables de flujo, se las mide por unidad de tiempo. Si bien todos estos elementos se incluyen en la

función producción, se ha observado, y es evidente, que las materias primas tienen una relación constante con la producción en todos los niveles de la misma; por ejemplo, el número de kilos de semilla de maíz por hectárea es constante, independientemente del número de hectáreas que se siembren, esto permite restar el valor de las materias primas del valor de la producción y medirla en términos de valor agregado ( $Q$ ).

$$Q = Y - S \quad (4.1.2)$$

Así, la función producción, al utilizar los precios de las materias primas y el precio de la producción, pierde su naturaleza tecnológica pura.

$$Q = F(L, K, Ti, W, v, \gamma) \quad (4.1.3)$$

El producto físico marginal de los factores ( $Pmg_i$ ) se define como el cambio en la producción debida al cambio en uno de dichos factores<sup>42</sup>. Su representación formal es:

$$Pmg_i = \frac{\delta Q}{\delta x_i} \geq 0 \quad (4.1.4)$$

La pendiente ( $-\delta K/\delta L$ ) de la isocuanta define el grado de sustitución entre los factores de la producción. La pendiente de dicha isocuanta disminuye (en términos absolutos) a medida que los valores se desplazan hacia abajo a lo largo de la curva, lo cual muestra la dificultad de sustituir un factor por otro. A esa pendiente se le denomina *tasa marginal de sustitución técnica* ( $TmgsT$ ) entre factores [ $-\delta K/\delta L = TmgsT_{L,K}$ ] (véase Figura 4.1).

---

<sup>42</sup> Se asume que la función es continua y diferenciable hasta el grado n.

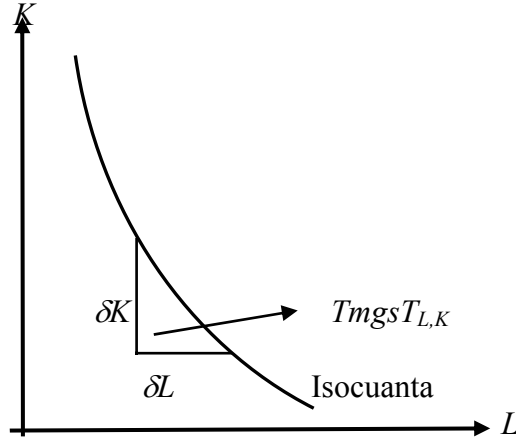


Figura 4.1. La  $TmgsT$ .

La elasticidad de sustitución ( $\sigma$ ) se define como el cambio ( $\Delta$ ) porcentual entre la razón capital–agua (u otro factor), dividido por el cambio porcentual en la tasa de sustitución técnica de factores.

$$\sigma = \frac{\Delta\%(K/W)}{\Delta\%(TmgsT_{K/W})} \quad (4.1.5)$$

La intensidad de los factores, en un proceso productivo cualquiera, viene dada por la pendiente del vector que parte del origen en un plano de dos dimensiones. En la Figura 4.2 el proceso productivo uno ( $q_1$ ) es intensivo en capital; y el dos ( $q_2$ ) en agua.

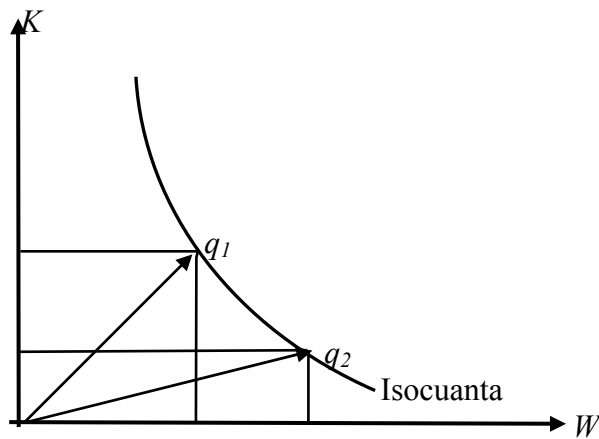


Figura 4.2. Intensidad de los factores.

En suma, la función producción ( $Q$ ) es:

1. Una función de valores reales de  $N$  variables definidas en el espacio no negativo  $\Theta = [\mathbf{x}: \mathbf{x} \geq \mathbf{0}]$ ; esto es, para llevar a cabo la producción, se requiere necesariamente de cierta cantidad de insumos, y dichos insumos determinan el volumen de producto.
2. Una función creciente. Si  $\mathbf{x}^{**} > \mathbf{x}^* \geq \mathbf{0} \Rightarrow Q(\mathbf{x}^{**}) > Q(\mathbf{x}^*)$ , así, si el productor es capaz de obtener el volumen de producción  $Q$  con el nivel de insumos  $\mathbf{x}^*$ , también debe ser capaz de producir el mismo volumen  $Q$  si llegara a contar con más insumos<sup>43</sup>, es decir, con el nivel  $\mathbf{x}^{**} > \mathbf{x}^*$ .
3. Una función *cuasi-cóncava*. Si el conjunto de insumos  $\mathbf{x}^*$  permite obtener el volumen de producto  $Q$ , entonces cualquier promedio ponderado de  $\mathbf{x}^*$  y  $\mathbf{x}^{**}$ , donde  $\mathbf{x}^* < \mathbf{x}^{**}$ , también debe permitir producir, al menos, el mismo volumen  $Q$ . Esto garantiza la existencia de isocuantas convexas al origen con pendiente negativa y entre más alejadas estén del origen denotarán mayores volúmenes de producción.

## 4.2 Estructuras de mercado

En los modelos teóricos acerca de los tipos de mercado más representativos destacan dos. Por una parte, está el modelo referente a la competencia perfecta y, por la otra, el relacionado con mercados imperfectos, dentro del cual, por ser un caso extremo, destaca el monopolio puro.

---

<sup>43</sup> Si para llevar a cabo la producción se aumentara el nivel de insumos, la implicación directa e inmediata sería que la isocuanta se alejaría del origen, y la isocuanta “original” (primigenia) quedaría dentro de las posibilidades de producción (conjunto interior de requerimientos productivos) pero, si a pesar de contar con más insumos se obtuviera el mismo volumen de producción, se estaría en una situación de ineficiencia.

El modelo de competencia pura, por su conjunto de supuestos, es muy restrictivo, sin embargo, es capaz de proporcionar respuesta a varias cuestiones relevantes para oferentes y demandantes.

Los supuestos del modelo de competencia pura son:

1. Homogeneidad de los productos. Las características del producto y los servicios relacionados con su venta y entrega son idénticas.
2. Existe libre entrada y salida de las empresas al mercado.
3. El objetivo del productor es maximizar sus beneficios.
4. No existe ningún tipo de control o regulación estatal.

Si a los supuestos de la competencia pura se les agregan los referentes a la movilidad de los factores productivos y el del conocimiento perfecto, se obtiene el modelo de competencia perfecta.

**Sea cual fuere el modelo, de competencia pura o perfecta, aquí interesa el precio –que está dado por el mercado– tanto en el corto como en el largo plazos, siempre es igual al costo marginal y equivale al ingreso marginal del productor.**

Los mercados donde oferentes o demandantes consideran su capacidad para influir en el precio de mercado son imperfectamente competitivos y el caso más extremo es el monopolio puro. En un monopolio puro sólo hay un vendedor de un bien o servicio en un mercado determinado. Sin embargo, en la realidad el monopolio es una cuestión de grado, no obstante, un monopolio puro no tiene ningún rival identificable, es decir, su producto no tiene sustituto.

El monopolista, a diferencia del competidor perfecto, determina el precio ( $P$ ) de mercado, al considerar fija toda la curva de demanda ( $D$ ) cuya pendiente es negativa. Así, si un monopolista decide producir, debe fijar un precio al cual la cantidad demandada se iguale a su nivel de producción positivo óptimo. El monopolista maximiza sus beneficios al cobrar un precio superior al costo marginal ( $Cmg$ ), esto se representa mediante la Figura 4.3.

Como el objetivo del monopolista es maximizar sus beneficios y considera dada la curva de demanda, el precio ( $P_m$ ) que establece, es el que se determina en la intersección de la curva del ingreso marginal ( $Img$ ) con la curva de costo marginal ( $Cmg$ ); lo cual, determina el volumen de producción  $Q_m$  en un nivel inferior al que sería en un contexto de competencia perfecta ( $Q_c$ ).

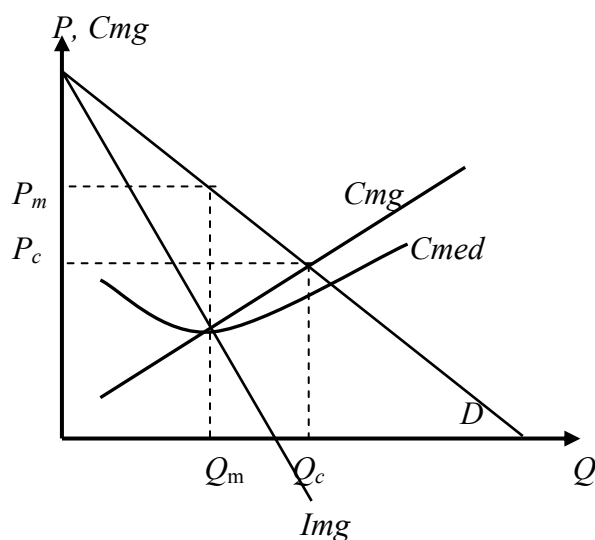


Figura 4.3. El equilibrio del monopolista.

En suma, en el monopolio  $Q_m < Q_c$  y  $P_m > P_c$ , donde  $P_c$  representa al precio de competencia perfecta; además el monopolio, en relación con la competencia perfecta,

limita la producción y eleva el precio, en el anexo al Capítulo cuatro se encuentra la demostración formal del equilibrio del monopolista.

El costo social de la restricción monopolística de la producción es igual a la diferencia acumulativa entre la variación marginal y el costo marginal, entre el nivel de producción monopolístico y el competitivo.

Las principales razones por las que existen los monopolios, desde la perspectiva de la teoría económica, son:

1. La posesión de materias primas estratégicas.
2. El conocimiento exclusivo de una técnica de producción (patente).
3. El otorgamiento de licencias especiales por parte del Estado.
4. El tamaño de mercado. Pues hay mercados que sólo toleran una planta de tamaño óptimo y dicha planta manifiesta sustanciales economías de escala<sup>44</sup>. En este caso se dice que el monopolio es natural.

Las economías de “escala” hacen alusión al tamaño de la planta, medidas por su nivel de producción, y se dice que una planta manifiesta economías de escala cuando el costo medio ( $C_{med}$ ) de largo plazo disminuye al aumentar el volumen de producción. Las economías de escala pueden ser reales o pecuniarias (no son excluyentes) su existencia se puede originar en la indivisibilidad de la producción, la especialización o por la presencia de economías técnicas.

---

<sup>44</sup> Véase Koutsoyiannis. *op. cit.*, p. 183; Fischer. *et. al.*, *op. cit.*, pp: 245-268; Gould J. y Edward Lazear. 2000. Teoría microeconómica. Trad. Eduardo L. Suárez. Ed. FCE. Argentina. pp: 403- 433.

Las economías de escala reales pueden tener su origen en: (i) la producción; (ii) las ventas o la comercialización; (iii) la gerencia o administración; y (iv) el transporte y almacenamiento.

Las economías de escala pecuniarias se desprenden de las operaciones de gran magnitud. La planta por su volumen de operación puede conseguir: (i) reducciones de precios por las materias primas que adquiere; (ii) créditos preferentes; y (iii) reducciones en las tarifas de transporte.

El monopolio natural se presenta cuando existen sustanciales economías de escala, como ya se indicó, y su característica principal es que su nivel de producción, cual fuere, se puede obtener de una forma más barata por una planta en lugar de dos o más plantas.

En el monopolio natural existen economías de escala en todos los niveles de producción, cuanto más alto el nivel de producción, menor es el costo medio y, por lo tanto, el costo marginal es menor al costo medio en todos los puntos, o al menos hasta cierto nivel de producción (véase Figura 4.4). La demostración formal de la estructura de los costos del monopolio natural está en el anexo IV punto 2 del presente trabajo.

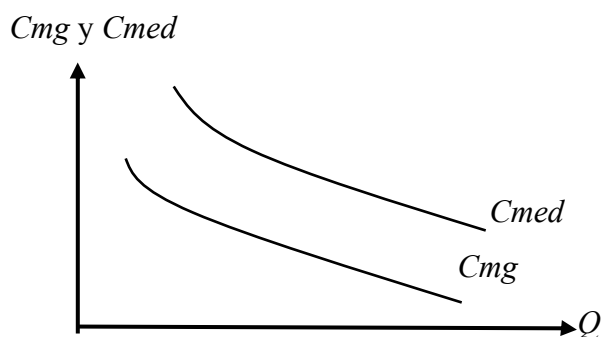


Figura 4.4. Estructura de los costos en el monopolio natural.

### 4.3 Teoría sobre la formación de los precios de los factores de producción

El precio de cualquier factor productivo se determina en el mercado al amparo de la oferta y la demanda. Su determinación se puede dar en mercados competitivos o en mercados con grados variables de imperfección. No obstante, independientemente del tipo de mercado en el que se determine, la demanda de los factores productivos es una demanda derivada<sup>45</sup>.

El precio de un factor productivo que se desenvuelve en un contexto competitivo, de eficiencia en el sentido de Pareto, es igual al valor de su producto físico marginal (precio producto), el cual se desprende de la función producción de la cual forma parte. En este sentido, si  $Q$  representa el volumen físico de la producción agrícola de riego;  $W$  al agua;  $H$  las hectáreas de riego;  $P_q$  al precio del producto final;  $P_w$  al precio del agua y  $P_H$  al precio de la tierra (renta), se tiene la siguiente función producción:

$$Q = \gamma H^\alpha W^\beta \quad (4.3.1)$$

La primera derivada de la función 4.3.1 con respecto de  $W$  y de  $H$  equivale al producto físico marginal del agua y de la tierra, respectivamente, esto es:

$$\frac{\partial Q}{\partial W} = \gamma H^\alpha \beta W^{\beta-1} \quad (4.3.1.1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial H} = \gamma \alpha H^{\alpha-1} W^\beta \quad (4.3.1.2)$$

---

<sup>45</sup> Véase Fuss M., D. McFadden y Yair Mundlak. 1978. A survey of functional forms in the economic analysis of production. In: Production economics a dual approach to theory an application. M. Fuss y D. McFadden, eds. (Amsterdam North-Holland, 1978); y Madden P. 1986. Concavidad y optimización. Trad. Luis Bou. Madrid. Ed. Alianza. pp:177-202.

Para obtener el valor del producto físico marginal ( $VPmg_i$ ) de  $W$  y de  $H$ , respectivamente, se multiplican por  $P_q$  a las ecuaciones 4.3.1.1 y 4.3.1.2, y el resultado equivale al precio de mercado de dichos factores productivos bajo un contexto de eficiencia paretiano.

$$P_W = (\gamma H^\alpha \beta W^{\beta-1}) P_q \quad (4.3.1.3)$$

$$P_H = (\gamma \alpha H^{\alpha-1} W^\beta) P_q \quad (4.3.1.4)$$

Una vez que se ha obtenido el precio producto de cada uno de los insumos considerados en la función de producción, se puede analizar el comportamiento del productor respecto de la demanda de los factores ante variaciones del precio de estos últimos. Para eso es necesario obtener la función de la demanda derivada, como se expone enseguida.

De las ecuaciones 4.3.1.3 y 4.3.1.4 se despeja  $W$  y  $H$ , respectivamente.

$$W = \left[ \frac{P_W}{\gamma H^\alpha \beta P_q} \right]^{\frac{1}{\beta-1}} \quad (4.3.1.3.1)$$

$$H = \left[ \frac{P_H}{\gamma W^\beta \alpha P_q} \right]^{\frac{1}{\alpha-1}} \quad (4.3.1.4.1)$$

Se sustituye  $H$  en la ecuación 4.3.1.3.1 y se obtiene:

$$W = P_W^{\frac{1}{\beta-1}} (\beta \gamma)^{-\frac{1}{\beta-1}} P_H^{-\frac{\alpha}{(\alpha-1)(\beta-1)}} (\alpha \gamma)^{\frac{\alpha}{(\alpha-1)(\beta-1)}} W^{\frac{\alpha \beta}{(\alpha-1)(\beta-1)}} P_q^{\frac{\alpha}{(\alpha-1)(\beta-1)}} P_q^{-\frac{1}{(\beta-1)}}$$

Se sacan factores comunes y se agrupan términos para obtener la demanda derivada o condicionada de  $W$ , a saber:

$$W = \left[ \frac{(P_q)^{1/(\alpha-1)(\beta-1)}}{(P_w)^{1/(1-\beta)} (\beta\gamma)^{1/(\beta-1)} (P_H)^{\alpha/(1-\alpha)(1-\beta)} (\alpha\gamma)^{\alpha/(1-\alpha)(1-\beta)}} \right]^{1/\alpha\beta} \quad (4.3.1.5)$$

De la ecuación 4.3.1.5 se desprende que si se incrementa  $P_w$ , y se mantienen constantes los precios restantes, la demanda de agua ( $W$ ) se reduce; asimismo, si se incrementa el precio del producto final  $P_q$ , *ceteris paribus*, se incrementa la demanda de  $W$ . Lo cual es propio de una función de demanda bien comportada (con pendiente negativa).

#### 4.3.1 Determinantes de la demanda de un factor variable

Al llevar a cabo una actividad productiva se demandan varios factores<sup>46</sup>, unos son fijos (los que no se pueden cambiar en el corto plazo) y otros variables. Los factores variables más importantes son:

- 1) Las materias primas.
- 2) Los bienes intermedios.
- 3) La mano de obra.

La teoría económica considera que en la determinación de la demanda de los factores variables intervienen muchos elementos, sin embargo, para efectos de este trabajo se conviene en que los más relevantes son:

---

<sup>46</sup> Véase Koutsoyiannis A. *op. cit.*, pp: 449-495; Nicholson W. *op. cit.*, pp: 381-404; Becker G. 1997. Teoría económica. Trad. Ana Catalina Mayoral. Ed. FCE. pp: 149-198; y Gould J. y Edward P. L. *op. cit.*, pp: 569-618.

- 1) El precio del insumo. Desde el punto de vista teórico se espera que cuanto mayor sea el precio de un factor menor será la demanda de él.
- 2) El producto físico marginal del factor que interviene en la producción.
- 3) El precio de la mercancía producida con el factor.
- 4) El monto invertido en el resto de los factores productivos que también intervienen en la producción.
- 5) El precio individual de todos los factores productivos.
- 6) El progreso tecnológico, porque hace variar el producto físico marginal de todos los insumos y, por lo tanto, altera el nivel de demanda de cada uno de ellos.

Es necesario enfatizar que la demanda de mercado de un factor productivo variable no es la suma horizontal de las curvas de demanda de los productores (empresas) individuales.

La pendiente de la función producción es el producto físico marginal ( $Pmg_i$ ) del factor  $i$ , y éste disminuye a mayores niveles de utilización. Si se multiplica el producto físico marginal del insumo  $i$ , en cada nivel de ocupación, por el precio unitario del producto  $P_q$ , se obtiene la curva del valor del producto físico marginal ( $VPfmg_i$ ) del factor  $i$ . Dicha curva muestra el valor de la producción que se obtiene por utilizar una unidad adicional del insumo  $i$  (véase Figura 4.5).

La condición de equilibrio de un productor maximizador de beneficios en el mercado del factor  $i$  es: que el costo medio del insumo  $i$  ( $Cmed_i$ ) sea igual al valor de su producto físico marginal ( $VPfmg_i$ ).

$$Cmed_i = VPfmg_i$$

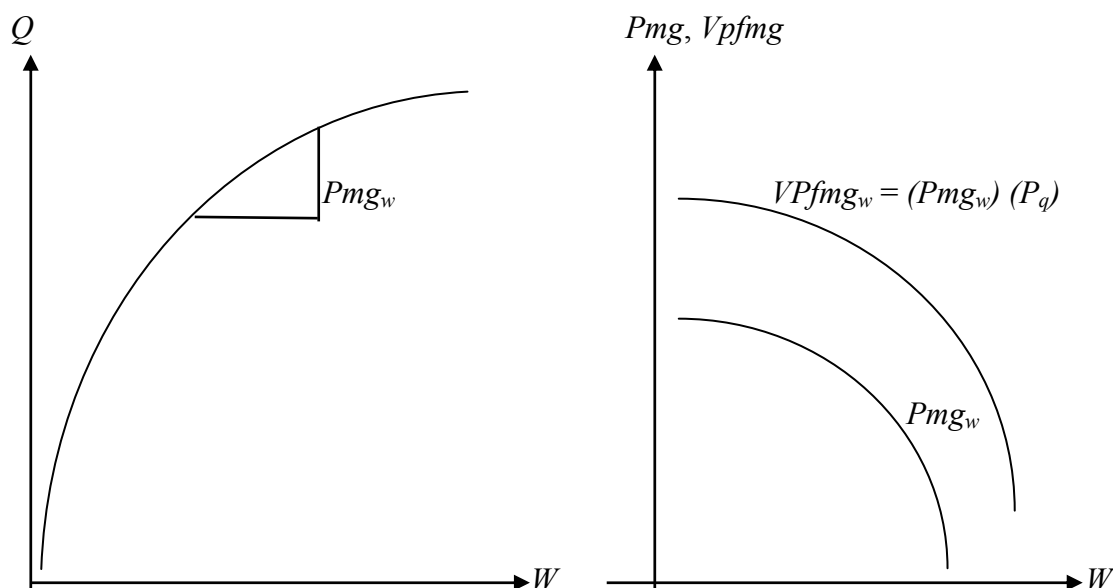


Figura 4.5. Deducción del  $VPfmg$  de un factor productivo.

**La demanda de un factor variable  $i$  está representada por la curva del valor de su producto físico marginal.** Existen varios modelos para estimar dicha curva. No obstante, el productor demanda algún tipo de insumo en la medida en que el precio de éste sea igual al aporte que hace al valor de la producción.

En todo proceso de producción se utilizan varios factores productivos de manera conjunta, ello hace que el  $VPfmg$  del insumo  $i$  no sea más su curva de demanda. Sin embargo, ante la variación del precio de uno de los insumos, el efecto sustitución, producción y maximización de beneficios hacen que la pendiente de la curva de demanda de un insumo en particular, utilizado de manera conjunta con los otros, sea negativa.

El precio de un factor variable en un mercado no perfecto se determina mediante la interacción de la demanda con la oferta, al igual que en un mercado competitivo. Sin embargo, los determinantes de la demanda y de la oferta son diferentes en el caso de

mercados no perfectos. Al respecto se han desarrollado varios modelos<sup>47</sup> y cabe destacar los siguientes puntos:

1. Si la empresa tiene poder monopolístico en el mercado del producto, pero no posee poder alguno en el mercado del insumo, el factor percibe un pago menor al valor de su producto físico marginal.
2. Si la empresa tiene poder monopsónico (en el mercado del producto y en el mercado del insumo) el factor percibe un precio inferior al valor de su producto físico marginal.

#### **4.4 Teoría del óptimo de W. Pareto**

El abordar la teoría del óptimo de W. Pareto tiene por finalidad proporcionar un soporte teórico y riguroso al concepto de eficiencia social. Así, a lo largo de éste trabajo eficiencia social tiene la connotación de Pareto.

El óptimo de Pareto está estrechamente relacionado con la teoría del equilibrio general. En este sentido, a continuación se exponen las condiciones necesarias y suficientes para la existencia de dicho equilibrio. Es necesario aclarar que nuestro objetivo no es hacer una reseña o dar una explicación detallada de la teoría del equilibrio general –al respecto existen muchos libros de análisis económico que lo tratan muy bien, tales como: Varian, Mass Colel, *et. al.*, y Layard; asimismo, las obras de Debreu y la de Arrow y Hann. En consecuencia, nos centraremos en cuestiones que permitan llegar a nuestro objetivo sin caer en detalles técnicos o teóricos.

---

<sup>47</sup> Véase Nicholson W. *op. cit.*, pp: 408-421; y Friedman M. *op. cit.*, pp: 193-238.

La eficiencia económica en el sentido de Pareto se refiere a una eficiencia global, la eficiencia se alcanza tanto en la producción como en el consumo y entre ambos. Esta eficiencia conlleva al equilibrio general, se puede presentar en una economía perfectamente competitiva o en una con competencia monopólica (Arrow y Hann. 1977). No obstante, comúnmente se asume la existencia de una economía competitiva y todo lo que ello implica –rendimientos constantes de escala, divisibilidad de los factores productivos y de los productos, información perfecta, funciones de demanda y de oferta bien comportadas, etcétera–.

Las condiciones que la economía debe cumplir para lograr la eficiencia son:

1. Una asignación eficiente de los factores productivos.
2. Una distribución eficiente de la producción.
3. Una combinación eficiente entre las dos anteriores, esto es, una eficiencia simultánea.

La asignación eficiente de los factores productivos en toda la economía se alcanza cuando la tasa marginal de sustitución técnica ( $TmgsT$ ) entre dichos factores es igual al cociente de sus precios. Por ejemplo, si en la producción solo se utilizan dos factores, agua y tierra, donde  $w_w$  representa el precio del agua y  $w_H$  al de la tierra –esto sólo es un ejemplo, porque existe el modelo teórico del equilibrio general conocido como **HxMxN** (Koutsoyiannis, 1985)–, la  $TmgsT$  es:

$$TmgsT = \frac{w_w}{w_H} \quad (4.4.1)$$

La  $TmgsT$  se presenta donde las isocuantas son tangentes y todos los puntos de tangencia conforman la curva de transformación de los productos o curva de posibilidades de producción. Su nombre se debe a que de ella se desprende cómo se transforma un bien en otro mediante la reasignación de los factores productivos. Así, la tasa marginal de transformación entre los bienes  $x$  e  $y$  ( $TmgT_{x,y}$ ) es:

$$TmgT_{x,y} = -\left(\frac{dy}{dx}\right) \quad (4.4.1.1)$$

Igualmente

$$TmgT_{x,y} = -\left(\frac{dy}{dx}\right) = \frac{Cmg_y}{Cmg_x} \quad (4.4.1.2)$$

y como en competencia perfecta el productor maximiza sus utilidades cuando el precio de su producto es igual al costo marginal de largo plazo, se tiene que:

$$Cmg_y = P_y$$

$$Cmg_x = P_x$$

En consecuencia

$$TmgT_{x,y} = \frac{Cmg_y}{Cmg_x} = \frac{P_y}{P_x} \quad (4.4.2)$$

Esto es, la pendiente de la curva de posibilidades de producción también es igual al precio de los bienes que se producen en cada una de las actividades económicas.

La eficiencia en el consumo se logra cuando la tasa marginal de sustitución entre los bienes  $x$  e  $y$  ( $Tmgs_{x,y}$ ) de los distintos consumidores es igual al cociente de los precios de dichos bienes. Es decir,

$$Tmgs_{x,y} = \frac{P_x}{P_y} \quad (4.4.3)$$

La eficiencia simultánea entre producción y consumo se desprende de las ecuaciones 4.4.2 y 4.4.3. Así, se tiene que:

$$TmgT_{x,y} = Tmgs_{x,y} = \frac{P_x}{P_y} \quad (4.4.4)$$

La ecuación 4.4.4 resume las condiciones para alcanzar la eficiencia económica en el sentido de Pareto o las condiciones de equilibrio general en un contexto competitivo.

La  $TmgT_{x,y}$  indica la tasa a la cual un bien puede transformarse en otro y la  $Tmgs_{x,y}$  señala la tasa a la cual los consumidores están dispuestos a intercambiar un bien por otro, y ambas son iguales al cociente de los precios de mercado de dichos bienes. Sin embargo, lo importante en este punto es la igualdad entre ambas tasas de sustitución, porque ellas garantizan la existencia de la eficiencia social o del equilibrio general. Los precios son tema del siguiente apartado.

La eficiencia en el sentido de Pareto se define como aquella situación en la que es imposible mejorar a alguien sin empeorar a otro y esta situación se presenta cuando se cumplen las tres condiciones anteriores. Es decir, cuando se satisface la ecuación 4.4.4.

La competencia perfecta no existe en el mundo real, pero es una situación deseable, pues en ella no hay productores monopolistas obteniendo ganancias provenientes de su poder de mercado a costa del bienestar social. Estos hechos son fundamentales para el tema de la presente investigación, pues la producción del agua en México para riego está en manos de un monopolio natural (véase inciso 4.6 en el

presente Capítulo) y esta situación será determinante ante la eventual implementación de una política de precios al agua para uso agrícola, como se expone en el capítulo V del presente trabajo.

El punto de eficiencia social que se alcanza con el cumplimiento de las tres condiciones de la ecuación 4.4.4 no dice nada sobre si esa situación es deseable o no por la sociedad.

El cumplimiento de las tres condiciones de marginalidad (ecuación 4.4.4) para la existencia de la eficiencia social es un conjunto necesario pero no suficiente para su existencia. Sin embargo, la eficiencia social en el sentido de Pareto proporciona una manera objetiva de medir o determinar si la economía es eficiente o no, y si no lo es, sugiere las medidas pertinentes para lograrlo; además, dichas condiciones garantizan la obtención del máximo nivel de bienestar social.

#### **4.4.1 El óptimo de Pareto y los precios**

El cumplimiento de las condiciones para alcanzar la eficiencia social o el óptimo de Pareto permiten obtener el precio de todos los bienes producidos en la economía y de todos los insumos utilizados en la producción. No obstante, para los fines de este trabajo, sólo son necesarios los precios de los insumos, por que estamos abordando la formación del precio del agua como insumo en la agricultura de riego, en ellos se centra la atención.

Los productores de cualquier bien o servicio demandan insumos para llevar a cabo la producción de manera eficiente con la finalidad de maximizar sus utilidades. La maximización de las utilidades implica producir al menor costo posible y esto se logra

cuando la  $TmgsT$  es igual al cociente del precio de los insumos. Es decir, cuando se cumple la ecuación 4.4.1 del apartado 4.4, que se desprende de la maximización de las utilidades del productor.

Si al igual que en el apartado anterior, para simplificar, se asume la existencia de sólo dos insumos, donde  $\Pi$  se refiere a los beneficios;  $Q$  al volumen físico de la producción;  $P_q$  al precio del producto;  $H$  y  $W$  son los insumos productivos tierra y agua, respectivamente; y  $w_i$  es el precio de los insumos  $i$ , donde  $i = H$  y  $W$ . Entonces, el problema de la maximización de  $\Pi$  se plantea de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \max_{Q, H, W} \Pi &= P_q Q - w_W W - w_H H \\ \text{s.a. } Q &= f(W, H) \end{aligned} \quad (4.4.1.a)$$

La ecuación 4.4.1.a se puede plantear como:

$$\max_{Q, H, W} \Pi = P_q f(W, H) - w_W W - w_H H \quad (4.4.1.b)$$

De acuerdo con el supuesto de competencia pura, se tiene que  $P_q$ ,  $w_W$  y  $w_H$  están dados por el mercado. Así, las condiciones de primer orden para la maximización de los beneficios son:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial W} = P_q \frac{\partial f}{\partial W} - w_W = 0 \rightarrow P_q \frac{\partial f}{\partial W} = w_W \quad (4.4.1.b.1)$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial H} = P_q \frac{\partial f}{\partial H} - w_H = 0 \rightarrow P_q \frac{\partial f}{\partial H} = w_H \quad (4.4.1.b.2)$$

Es necesario destacar que  $\frac{\partial f}{\partial x_i}$  representa el producto físico marginal del insumo

$i$  ( $Pmgi$ ), de este modo, de las ecuaciones 4.4.1.b.1 y 4.4.1.b.2 se desprende que, en

equilibrio, dicho  $Pmg_i$  es igual al cociente entre el precio del factor  $i$  y el precio ( $P_q$ ) del producto final y por ello el  $Pmg$  de cada insumo es igual a su precio real y equivale a la tasa marginal de sustitución técnica ( $TmgsT$ ), esto es:

$$TmgsT \equiv \frac{Pmg_W}{Pmg_H} = \frac{w_W}{w_H} \quad (4.4.1.c)$$

Por su parte, debido al supuesto de la existencia de una economía desenvuelta en un contexto competitivo, los precios, tanto de los productos como de los insumos, están dados por el mercado y el productor demandará cada insumo productivo hasta donde el valor de su producto físico marginal sea igual al precio del insumo. Lo cual está representado por las ecuaciones 4.4.1.b.1 y 4.4.1.b.2.

Si se instrumentara una política de precios aplicable al agua para uso agrícola en un contexto de eficiencia social, sería necesario que su precio se infiriera de las contribuciones hechas a la conformación del valor total de la producción, lo cual es igual al producto físico marginal del agua en la actividad agrícola multiplicado por el precio de mercado del producto. Sólo así se fomentará la eficiencia tanto en el uso del recurso hídrico como en su producción.

#### **4.4.2 El óptimo condicionado**

Es claro, y sin lugar a dudas, que no hay economía en el mundo real capaz de cumplir con todas y con cada una de las condiciones de marginalidad exigidas por el principio de la eficiencia económica desde el punto de vista social según Pareto. Por que en toda economía existen distorsiones de precios derivadas de políticas impositivas, de la presencia de monopolios, de la fijación del precio de algunos productos por parte del

gobierno, de efectos externos derivados de la producción y del consumo tanto positivos como negativos, entre otros. Todo ello trae consigo o profundiza alguna ineficiencia, es decir, la  $TmgsT$  difiere de la  $TmgT$ .

La teoría de la segunda opción pretende dar respuesta a la siguiente cuestión: ¿Si algún agente de la economía –consumidor, productor o ambos– no es eficiente, es posible llevarlo hacia la eficiencia poco a poco mediante la instrumentación de políticas económicas específicas? Esta pregunta rompe con la tradicional inconsistencia externa de la teoría económica (Bunge. 2000) y da un paso encaminado a la maximización del bienestar social mediante la instrumentación de políticas acordes con el marco jurídico, antropológico, etcétera, de la sociedad.

De acuerdo con Lipsey y Lancaster, a la cuestión de la segunda opción, *parece que una política que consista en buscar poco a poco las mejoras de la eficiencia no sería confiable en absoluto* (Randall. 1985. p. 160). Así las cosas, el establecimiento de una política de *poco a poco* para eliminar las ineficiencias parece no tener fundamento alguno. Sin embargo, no todo está perdido, pues, Davis y Whinston sostienen que el problema de la segunda opción se desprende de los supuestos subyacentes a las relaciones económicas.

De manera general se puede decir, de acuerdo con Davis y Whinston, que sí, es posible avanzar hacia a la eficiencia de Pareto con una política económica de *poco a poco* si las funciones matemáticas utilizadas para definir las interacciones económicas son separables. *En general, las funciones matemáticas que describen las interacciones entre los sectores económicos serán separables cuando todas las interacciones que se*

*realizan entre los sectores económicos estén definidas por relaciones eficientes de precios* (Randall. 1985. p. 161). Entonces, sí, es posible avanzar hacia la eficiencia al aplicar las condiciones necesarias de Pareto a un solo aspecto de la economía, si este no es eficiente, en el sentido ya indicado.

No obstante la respuesta de Davis y Whinston al problema de la segunda opción, sí existen situaciones en las que no se cumple la condición de separabilidad, es decir, cuando las relaciones de precios están distorsionadas. Las relaciones de precios están distorsionadas en situaciones de monopolio, de externalidades y ante la instrumentación de políticas impositivas o tarifarias no óptimas.

El problema de la segunda opción se presenta en el caso de monopolio, versa la teoría, la producción de agua para uso agrícola en México, y en cualquier país, es producida por un monopolio natural.

El problema de la segunda opción se presenta cuando existen externalidades. La actividad agrícola bajo la modalidad de riego en México, y en cualquier país, produce externalidades considerables, tanto positivas (alimentos para la población) como negativas (descargas contaminadas con fertilizantes químicos, por citar un ejemplo).

El problema de la segunda opción se presenta cuando se instrumentan políticas tarifarias o impositivas no óptimas. La política tarifaria en torno al agua para uso agrícola en México no es óptima, por que actualmente el sector agrícola está exento del pago de derechos (tarifas) por el uso de agua (véase el apartado 1.1 del capítulo I en el presente trabajo).

En suma, de acuerdo con los orígenes del problema de la segunda opción, independientemente de la separabilidad de las funciones matemáticas, en México el sector hidroagrícola es ineficiente.

Ante el problema de la segunda opción no se tiene certeza de que una política bien intencionada conlleve a la eficiencia, pero sí, es cierto, la reducción de las distorsiones de precios provenientes del grado de monopolio aumenta el bienestar social; además, *la introducción del uso eficiente de los insumos o de la distribución eficiente de los productos, dentro de un sector, da lugar siempre a un mejoramiento de la eficiencia económica general* (Randall. 1985. p. 162).

La instrumentación de una política de precios del agua para uso agrícola debe pretender aumentar la eficiencia económica del país y, en consecuencia, maximizar el bienestar social. Para ello, el precio del agua debe reflejar el valor que dicho insumo agrega a la producción y no el costo marginal del proveedor; asimismo, la actividad agrícola bajo la modalidad de riego debe internalizar sus externalidades negativas.

Si se instrumenta un precio para el agua de riego con base en el valor que el insumo hídrico agrega a la producción y el sector internaliza sus externalidades, no habrá necesidad de implementar políticas impositivas, ni de instrumentar precios para el agua que alejen a la economía del óptimo de Pareto o de la eficiencia social. Por que *la experiencia de los países industrializados muestra que en la aplicación de instrumentos económicos del tipo cargos, tarifas e impuestos, el objetivo recaudación ha prevalecido sobre el objetivo de creación de incentivos para mejorar la calidad ambiental. Igualmente, en países en vías de desarrollo el principal rol histórico de los instrumentos*

*económicos ha sido la recaudación de fondos. Otros objetivos potenciales como la reducción de impactos y mejoras del desempeño ambiental, o el aumentar la eficiencia de la regulación, no han contado con el mismo énfasis.* (Acquatella J. Enero de 2000. p. 20).

#### **4.5 Propiedades económicas del agua para riego**

De acuerdo con los postulados de la teoría económica neoclásica los bienes y servicios disponibles<sup>48</sup> (producidos o no producidos) en una economía de mercado, pueden ser clasificados como:

1. Públicos puros.
2. Privados puros.
3. Intermedios<sup>49</sup>.

La referencia de esta clasificación solo responde a los fines de exposición del presente trabajo y bajo ninguna circunstancia pretende ser total y exhaustiva.

Los bienes y servicios públicos puros se caracterizan por su propiedad técnica de ser no excluyentes y de no-rivalidad<sup>50</sup>. Son no excluyentes por que una vez producidos nadie puede quedar omitido de los beneficios proporcionados por su existencia y son no

---

<sup>48</sup> Los bienes no producidos son todos aquellos disponibles para su consumo sin haber sido sometidos a un proceso productivo, tales como: el aire, las playas y los rayos del sol, entre otros.

<sup>49</sup> Estos también reciben el calificativo de bienes preferentes. Los bienes preferentes son todos aquellos que la sociedad considera deben consumir o recibir todos sus miembros (salud, educación, alimentos y agua, entre otros), independientemente de sus rentas.

<sup>50</sup> Otra característica se desprende del tamaño de la población a la que beneficia. Para un análisis detallado sobre las propiedades y formas de determinar los volúmenes de producción de los bienes públicos, así como algunos modelos desarrollados, véase Cornes R. y Todd Sandler. 1989. *The theory of externalities, public goods, and club googs*. Cambridge University Press. 303 p.

rivales, por que el consumo de él, por parte de una persona, no afecta el nivel de consumo de las demás<sup>51</sup>.

Un bien o servicio público por excelencia es la seguridad nacional; también lo son las obras encaminadas a evitar inundaciones, pues ya construidas resulta imposible excluir a un individuo de los beneficios que ellas proporcionan y el nivel de consumo de una persona no afecta el nivel de consumo de las otras. Además, este tipo de bienes y servicios no pueden ser comercializados, por su propiedad técnica de no-exclusión, en mercados organizados.

Los mercados no son las instituciones adecuadas para llevar a cabo la producción de los bienes públicos puros, pues no son capaces de producirlos en las cantidades demandadas por la sociedad.

Si un individuo adquiere un bien o servicio público puro (lo compra) no se puede apropiar de todos los beneficios, él no tiene la capacidad para excluir del consumo de dicho bien al resto de los individuos. En consecuencia, los beneficios sociales obtenidos por los recursos dedicados a la producción de un bien o servicio público puro son mayores a la utilidad obtenida por el individuo que paga directamente por él. Por ello, la

---

<sup>51</sup> Siempre y cuando no se presente el fenómeno de la aglomeración. Sobre este fenómeno, véase Boumol y Oates W. 1982. *La teoría de la política económica del medio ambiente*. Trad. Ana Martínez Pujana. Ed. Antoni Bosch. pp: 232-236.

producción de dichos bienes y servicios debe ser financiada con recursos públicos, lo cual no implica deban ser producidos necesariamente por entidades públicas<sup>52</sup>.

Los bienes y servicios privados puros tienen, a diferencia de los bienes públicos puros, la propiedad técnica de la exclusión. En consecuencia, de manera general y con riesgo de simplificación extrema, pueden ser definidos como todos aquellos bienes y servicios producidos por organismos públicos, privados o sociales en los que el consumo por parte de un individuo excluye a los demás individuos del consumo del mismo bien o servicio<sup>53</sup>. Es decir, son excluyentes y rivales.

Los bienes privados puros, al menos desde el punto de vista teórico, son comercializados en mercados organizados y, generalmente, el precio unitario de venta representa el costo marginal de producción y es equivalente a la utilidad marginal obtenida por el consumidor. Asimismo, los bienes y servicios privados son ofrecidos comúnmente por empresas privadas. El objetivo de dichas empresas es maximizar sus beneficios y responden a demandas de mercado.

---

<sup>52</sup> Para una visión general acerca de la participación privada en la prestación de algunos servicios públicos, como el agua potable en Reino Unido, así como los mecanismos de regulación implementados véase: Vicker J. y George Yarrow. 1991. Un análisis económico de la privatización. Trad. Eduardo L. Suárez. México. Ed. FCE. 529 p. Para una visión específica sobre la regulación véase: Pérez Arata M. A. (compilador). 1993. Teoría de incentivos y sus aplicaciones: regulación de empresas y subastas. México. Lecturas del trimestre económico. Ed. FCE. 487 p. Asimismo, Greer D. 1992. Industrial organization and public policy. USA. Macmillan Publishing Company. pp: 628-653.

<sup>53</sup> Véase Nicholson W. 1983. Microeconomía intermedia y su aplicación. Trad. Agustín Contin S. México, D.F. Ed. Interamericana. pp: 506-587.

Entre los extremos de los bienes y servicios públicos puros y privados puros existen una infinidad de bienes y servicios denominados intermedios, preferentes o de acceso limitado<sup>54</sup>.

Los bienes y servicios de acceso limitado son todos aquellos que –por razones morales, constitucionales, humanas o políticas, por mencionar algunas– la sociedad considera deben tener acceso todos sus miembros, tales como: educación, salud, vivienda y alimentación, entre otros, independientemente de su ingreso. Evidentemente, el adjetivo preferente o deseable contiene un alto grado de subjetividad, sin embargo, tienen cualidades económicas que les permiten ostentar ese título y, por lo tanto, ser tratados como tales.

Los bienes preferentes, de acceso limitado o intermedios tienen propiedades tanto de los bienes y servicios privados puros, como de los públicos puros. Sus cualidades de bienes y servicios privados derivan de sus propiedades de rivalidad y de exclusión, en el sentido que ya se indicó. Por otro lado, sus cualidades de bienes y servicios públicos puros se desprenden de su incapacidad de exclusión y de la ausencia de rivalidad y, con frecuencia, su producción recae en un monopolio local (natural). Por esto el Estado los produce o concesiona su producción y regula los precios de venta.

Por otro lado, el que todos los miembros de una sociedad puedan obtener la cantidad mínima indispensable de los bienes intermedios genera beneficios a toda la población, y estos pueden ser: una comunidad más educada y apta para el trabajo,

---

<sup>54</sup> Véase Varian H. 1992. *op. cit.*, pp: 488-489; Fischer S. *et. al.*, 1991. *Economía*. Trad. Luis Toharian y Esther Rabasco. México. Ed. McGraw-Hill. pp: 74-94; Nicholson W. 1983. *op. cit.*, pp: 506-587; y Boumol y Oates W. 1982. *op. cit.*, pp: 283-322.

además de sana, potenciando con ello las posibilidades de crecimiento y desarrollo de la sociedad bajo un contexto de equidad.

La naturaleza “dual” de los bienes y servicios intermedios –privados puros, por una lado, y públicos puros, por el otro–, sufren el problema del *colero*, *cabalgador libre*, *el parásito*, *el gorrón*, como se le quiera nombrar; lo destacable es que en la jerga económica un *colero*, *cabalgador libre*, *gorrón* o un *parásito* consume un bien costoso de producir sin pagar por él. Así, la producción de estos bienes y servicios, por lo menos en su parte considerada como pública, presentan los problemas siguientes:

1. Cómo financiar su producción.
2. Qué cantidad producida, y por tanto consumida por la sociedad, se considera como pública.

El financiamiento de la producción de los bienes y servicios intermedios considerada como pública, por lo general, se lleva a cabo mediante políticas impositivas<sup>55</sup> (como la educación básica en la mayoría de los países del mundo). La producción de estos bienes y servicios representan una mejora en el sentido de *Pareto*<sup>56</sup>. La condición necesaria y suficiente para llevar a cabo la producción es que la recaudación impositiva para tal fin sea mayor o igual al costo de producción, pues el mercado no es capaz de producirlos en la cuantía requerida.

---

<sup>55</sup> Para un modelo discreto acerca de la provisión de un bien público véase: Varian H. 1992. *op. cit.*, pp: 488-490.

<sup>56</sup> Puesto que las preferencias de la sociedad se desprenden de las preferencias individuales, *el óptimo débil de Pareto* (no es posible que todos mejoren) no aplica, de manera que estamos ante el principio de unanimidad, el cual se puede parafrasear como sigue: si un miembro de la sociedad prefiere a *x* en lugar de a *y*, entonces la sociedad también prefiere a *x* en lugar de a *y*. Véase Shubik M. 1992. Teoría de juegos en las ciencias sociales: conceptos y soluciones. Trad. Catalina Domínguez R. México. Ed. FCE., pp: 111-174.

La demostración sobre la incapacidad del mercado para producir los bienes intermedios en la(s) cantidad(es) requerida(s) por la sociedad se basa en el siguiente modelo.

1. Se asume, por razones expositivas, la existencia de sólo dos agentes económicos<sup>57</sup>.
2. La suma de las disposiciones individuales a pagar ( $\sum d_i$ ) es mayor a los costos de producción ( $c$ ). Es decir,  $\sum d_i > c$ .
3. Las decisiones de un agente son independientes de las del otro. Pero como se trata de un bien intermedio, una vez producido dicho bien ningún agente puede excluir al otro del consumo.
4. Si  $d_i = \$100$ ,  $i = 1, 2$ , y  $c = \$150$ . Entonces  $\sum d_i = \$200 > c$ . Esta situación se puede representar mediante la matriz de pagos siguiente:

| <b>Agente 2</b> | <b>Agente 1</b> |             |
|-----------------|-----------------|-------------|
|                 | Compra          | No compra   |
| Compra          | -50, -50        | -50 100     |
| No compra       | 100, -50        | <b>0, 0</b> |

En la matriz de pagos se observa que si el agente 1 compra el bien, y el agente 2 no lo compra, entonces, el agente 1 obtiene beneficios por valor de \$100. Sin embargo, paga \$150 por ellos y su beneficio neto es de -\$50. Así, el agente 2 obtiene “gratuitamente” unos beneficios de \$100. Se presenta el caso contrario si el agente 2 sí lo compra y el agente 1 no. Si ambos lo compran, el beneficio neto de cada uno es de -\$50. En consecuencia, la ausencia de producción del bien o servicio (**0, 0**) es la solución eficiente. Lo cual no es una solución óptima en el sentido de *Pareto*.

<sup>57</sup> Pese a que para generalizar, bien se puede pensar en dos conjuntos de agentes económicos.

Pese a la sencillez del modelo, pone de manifiesto lo limitado de las decisiones independientes respecto de su incapacidad para propiciar la producción de un bien intermedio en la cantidad demandada por la sociedad. De este modo, se puede decir que la forma adecuada de financiar su producción es mediante la instrumentación de una política impositiva<sup>58</sup>. Aunque es necesario aclarar que para el caso analizado en este trabajo, no son viables los impuestos tipo *Lindhal*<sup>59</sup>.

De todo lo anterior se desprende que el suministro de agua para uso agrícola en México es un bien intermedio, es decir, no es un bien público puro ni un bien privado puro<sup>60</sup>. En consecuencia, se acepta la primera parte de la hipótesis de trabajo número tres, pues la característica económica más importante del agua para riego es su cualidad de bien intermedio.

#### **4.6 Condiciones de oferta y demanda de agua para uso agrícola en México**

El suministro de agua para todos los sectores usuarios, según la teoría económica, se enmarca en el contexto de la producción de servicios y de la calidad de vida, la cual depende, entre otros aspectos, significativamente de una amplia gama de bienes y servicios ofrecidos por el sector público, entre ellos el agua.

---

<sup>58</sup> No está de más aclarar que la política impositiva puede ser aplicada al gasto, o al ingreso. Esto es independientemente de qué se grave, se obtienen los mismos resultados, tanto en lo referente al monto recaudado, como a los efectos en el bienestar del consumidor. Aunque, hasta la fecha, se ha pensado que el impuesto a la renta es superior con relación al impuesto al consumo. Véase: Friedman M. 1993. Teoría de los precios. Trad. José Vergara y José Vergara de San Román. Barcelona, España. Ediciones Altaya. Cap. 3., pp: 91-103.

<sup>59</sup> Los impuestos de *Lindhal* son equivalentes al cociente resultante de dividir la variación de la utilidad del bien público entre la variación de la utilidad del bien privado. Véase Cornes R. y Todd Sandler. *op. cit.*, pp: 98-102; asimismo, Varía H. 1992. *op. cit.*, 500 p.

<sup>60</sup> Para ver las consecuencias (desastrosas para la sociedad y para la ecología), al menos de un caso, de la propiedad privada del agua véase: Aguilera-Klink F. et al. 2000. The social construction of scarcity. The case of water in Tenerife (Canary Islands). In: Ecological economics. 34 pp: 233-245.

La mayoría de los bienes y servicios ofrecidos por el sector público se consumen colectivamente y, con frecuencia, enfrentan graves y crecientes dificultades financieras asociadas a la provisión de muchos de estos servicios (Baumol y Oates. 1982. p. 288). El sector agua en México no es ajeno a esta problemática y estos fenómenos son manifestaciones de las relaciones estructurales de largo plazo existentes en nuestra economía y no simples fenómenos transitorios.

Para abordar al sector agua en México desde un punto vista económico, en relación con el establecimiento del precio del servicio para riego, es conveniente esclarecer las propiedades económicas tanto del bien bajo estudio (que ya se hizo líneas arriba) como de los agentes participantes en la producción y consumo del líquido.

Los agentes participantes en la producción y consumo del agua para riego en México son: la Comisión Nacional del Agua (CNA) y los productores agrícolas. La estructura productiva de la CNA nos proporciona las condiciones de oferta, y el número de consumidores del líquido las condiciones de demanda. En consecuencia, a continuación se presentan las características económicas de la CNA y, posteriormente, las de los consumidores del agua para riego.

La Comisión Nacional del Agua es el organismo público descentralizado encargado de *Administrar y Custodiar las Agua Nacionales y sus Bienes Públicos Inherentes*; así como, *Manejar y Controlar el Sistema Hidráulico*” y *“Promover e Inducir el Desarrollo Social* (CNA. Estrategias del Sector Hidráulico 1997. p. 1).

De las funciones de la CNA se desprenden varias atribuciones que, para fines analíticos, se separan de la forma siguiente:

1. Administra y custodia las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes.
2. Maneja y controla el sistema hidráulico.
3. Promueve e induce el desarrollo social.

La primera y segunda de las funciones las realiza de manera “única”. En el sentido de que ningún otro organismo público o privado puede administrar y custodiar las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes; asimismo, manejar y controlar el sistema hidráulico. Estas atribuciones le dan, desde el punto de vista estrictamente económico, el carácter de “monopolio”; además, las características físicas de las obras de riego dan lugar a un monopolio natural, debido a que geográficamente (tamaño de “mercado”) es más barato (económico) producir el agua mediante una obra hidráulica en lugar de dos; adicionalmente, el agua para riego no tiene ningún sustituto ni lejano ni cercano. Sin embargo, la CNA debe “promover e inducir el desarrollo social” y ello impide que se comporte como un monopolista maximizador de beneficios.

Las obras hidráulicas de cabeza (presas) generalmente tienen objetivos múltiples, dentro de los cuales se pueden citar, por su importancia, los siguientes:

1. La generación de energía eléctrica.
2. Protección a centros de población.
3. Protección de áreas productivas.
4. El suministrar agua para uso doméstico.

Los objetivos múltiples de las obras de cabeza no permiten imputar todos los costos en los que se incurren por su construcción, operación y mantenimiento, a la actividad agrícola bajo riego. No obstante, los costos de las derivadoras, canales y obras menores sí lo son.

Por la envergadura económica de las obras de cabeza y por las razones que dan lugar a su construcción, sólo se puede construir una presa en determinada zona o región, estado(s) o municipio(s); asimismo, por sus objetivos múltiples se construyen con capacidades excedentes de almacenamiento –de aquí en adelante se califica a la actividad de la CNA con el término “producción”, reconociendo, desde luego, que nadie tiene la capacidad de producir agua en las cantidades ofrecidas por la naturaleza–. Estas capacidades excedentes de producción dan lugar a economías reales de escala y a que el costo medio de *producción* siempre esté por encima del costo marginal hasta el punto donde la presa es utilizada a su capacidad total. Lo cual se puede presentar de manera formal como se muestra a continuación.

$C_{med} > C_{mg}$ , si  $Q < Q^*$ , donde  $Q^*$  representa la capacidad máxima de producción de la presa. La representación gráfica de esta situación se muestra en la Figura 4.6.

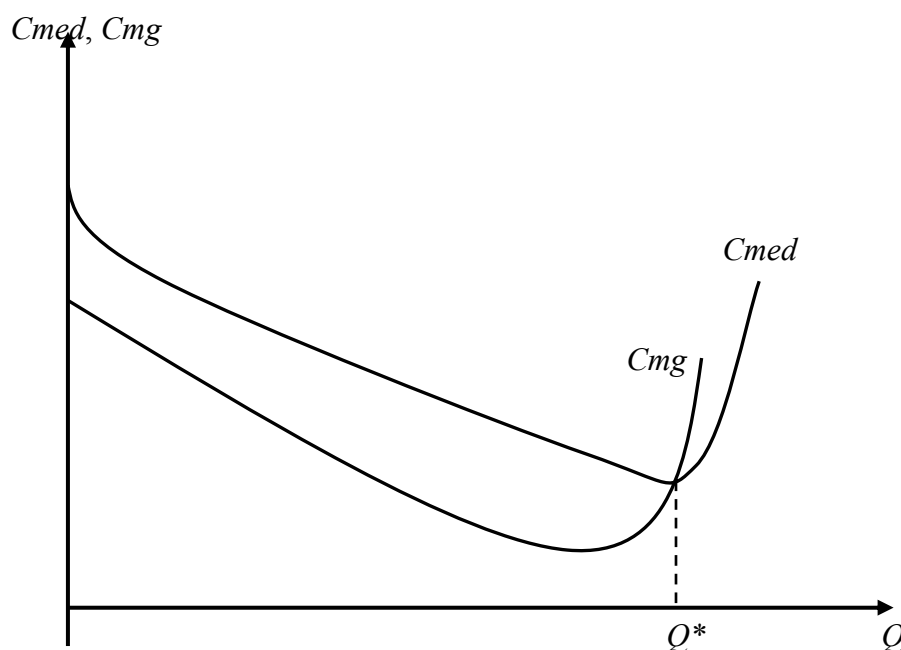


Figura 4.6. Estructura de costos de la producción de agua para riego.

El que la producción de agua para riego se lleve a cabo por medio de un monopolio natural hace que  $C_{med} > C_{mg}$ , si  $Q < Q^*$ , como ya se indicó<sup>61</sup>, y ello explica, al menos en parte, la difícil situación financiera del sector hidroagrícola (véase Capítulo II, inciso 2.4).

La determinación del precio del agua para la actividad económica en cuestión – incluso, si se asume que el usuario debe pagar todos los costos– bajo el principio de costo marginal igual al precio, no permitiría al productor del agua, recuperar sus costos de producción.

Las formas posibles de estimar el precio del agua para riego son:

1. Ponderar cada uno de los objetivos por los que se construyó la obra y de ahí desprender la parte del costo correspondiente al riego, es un método cargado de subjetividad e impide obtener resultados óptimos.
2. Estimar, con base en la función de producción del usuario de riego, el  $VPfmg_w$ , equivale al precio producto del recurso hídrico. Este método no es subjetivo e impide que el productor del agua se desligue de la evolución de la agricultura bajo la modalidad de riego.

Las obras de cabeza tienen objetivos múltiples y por eso la estimación de los costos de producción del agua exclusivamente para riego pierde toda relevancia o si se hace, acaba llena de subjetividad y por lo tanto, queda sujeta a polémicas permanentes

---

<sup>61</sup> Para un análisis de los costos del agua de riego en los distritos 011 y 085, Alto Río Lerma y la Begoña, respectivamente, véase, Santos Ana Laura. 1998. *Metodología para evaluar la distribución de costos e ingresos relacionados con el servicio de riego*. Colegio de Postgraduados. Tesis de maestría. 128 p. + anexos.

normalmente improductivas, y no considera al agua para riego que no depende de las grandes obras hidráulicas, tal es el caso de los pozos particulares.

Si, para el establecimiento del precio del agua para riego, el Estado interviene bajo el principio de igualar el precio con el costo medio, tal y como lo señala la teoría económica en un contexto no de monopolio natural, propiciará la subutilización de la capacidad instalada –por la presencia de las economías de escala hasta el punto  $Q^*$  de la Figura 4.6–, o bien, utilizar la capacidad productiva hasta  $Q^*$ , lo cual está en función de los niveles de precipitación pluvial que evidentemente el Estado no controla.

En suma, el precio del agua para riego que coadyuve al logro de la eficiencia social estará conformado por el producto físico marginal del recurso hídrico más las externalidades negativas; asimismo, el Estado está obligado a asumir los costos subyacentes a sus funciones –protección de áreas productivas y centros de población, y suministro de agua para uso doméstico, por razones de salud pública–, y no atribuir todos los costos a la actividad agrícola bajo riego.

El riego, para llevarse a cabo, aparte de las obras de cabeza, necesita también de otras obras, y por ello se puede argumentar que sí se puede estimar el costo marginal del agua atribuible al riego, al menos en lo referente a esta parte de la infraestructura hidroagrícola, sin embargo, no es necesario –además, se prestaría a subjetividad–, porque en un contexto de equilibrio –de eficiencia social, con la externalidades internalizadas–, el valor del producto físico marginal del agua (por el lado del agricultor)

es igual al costo marginal (por el lado del productor), al amparo del teorema de Euler<sup>62</sup>. El resto de los costos deben ser imputables a las obligaciones del Estado.

Los usuarios de riego demandarán agua mientras el líquido agregue valor a la producción, en consecuencia, el precio, que los usuarios del agua están dispuestos a pagar, depende del precio del producto final, es decir, del precio de los productos agrícolas<sup>63</sup>.

Los demandantes de agua en los distritos de riego en México ascienden a 525 mil usuarios y de manera “individual”, se enfrentan al único oferente: la CNA. Por la cantidad de usuarios de riego, de acuerdo con los postulados de la teoría económica, se puede decir que su comportamiento en torno a la demanda de agua se asemeja al de la competencia pura. En este sentido, el demandante individual no tiene capacidad para influir en el precio. En consecuencia, los usuarios del agua para riego están dispuestos a pagar un precio por el agua equivalente al valor del producto físico marginal del líquido (más el costo de las externalidades), este resultado se desprende de su condición de demandante desenvuelto en un contexto de mercado competitivo.

Sin embargo, la mayoría de los planteamientos de los organismos internacionales como la OCDE y la CEPAL, y al nivel nacional de la CNA, proponen cobrar el agua para riego a costo marginal. Este planteamiento no pretende llevar a la economía en su conjunto a un punto de equilibrio o de eficiencia social, ni llevar al sector hidráulico a un

---

<sup>62</sup> El teorema de Euler dice que la economía está en equilibrio (eficiencia social) cuando se agota el producto mediante la retribución a los factores productivos de acuerdo con el valor de su producto físico marginal.

<sup>63</sup> Para ver los resultados que se obtuvieron al aplicar ésta metodología en un experimento en los Estados Unidos de América véase Gibbons D. 1987. The economic value of water. 1987. pp: 23-44.

contexto de autosuficiencia financiera. Asimismo, la producción de agua para riego siempre recae en un monopolio natural y cobrar el recurso hídrico a costo marginal equivale a incrementar las distorsiones de la economía, y a minar las posibilidades de desarrollo hidroagrícola del país. Porque el cobro a costo marginal no permitiría recuperar los costos totales de producción, **por la presencia de capacidad instalada excedente no utilizada (economías de escala)** en la forma que se mostró en la Figura 4.6 líneas arriba.

En suma, si mediante el establecimiento del precio del agua para uso agrícola se quiere desarrollar el sector hidráulico y simultáneamente superar sus permanentes dificultades financieras e impulsar el desarrollo del sector agrícola bajo la modalidad de riego en un contexto de eficiencia social, es necesario que el Estado asuma sus responsabilidades en torno a la protección de zonas habitadas, etcétera y el precio del agua para el uso en cuestión se debe determinar con base en el aporte que el insumo hídrico hace al valor de la producción, más los costos de las externalidades, ya sean positivas o negativas, de esta forma el país se ubicará en un contexto de equilibrio general o de eficiencia social.

Con base en lo desarrollado en éste capítulo, en general, y en éste último inciso, en particular, queda demostrado que la estructura productiva de la CNA respecto del suministro de agua para riego es propia de un monopolio natural y que debe estar en manos del Estado o regulado por él para que el riego se desenvuelva en un contexto de eficiencia social. Así, se acepta la segunda parte de la hipótesis de trabajo número tres del presente trabajo.

Por su parte, no se rechaza la hipótesis de trabajo número cuatro, una vez habiendo demostrado que el precio de eficiencia social para el agua de riego no se puede obtener del costo marginal de la CNA, toda vez que la producción hídrica tiene objetivos múltiples, sino del valor de su producto físico marginal.

## Capítulo V

### Metodología

En este capítulo se expone la metodología empleada en la estimación del  $VPfmg_w$ ; en la estimación del costo por agotamiento (abatimiento de los mantos freáticos); y en el costo por degradación (contaminación) del agua utilizada en la producción agrícola bajo la modalidad de riego.

En la estimación del  $VPfmg_w$  se aplicó el método de los Mínimos Cuadros Ordinarios (MCO) lineales y no lineales, y aquí se expone en su forma matricial. Asimismo, se detalla el método utilizado en la estimación del costo ecológico del agua para riego. El costo ecológico es el resultado de sumar los costos por agotamiento y por degradación del agua.

#### **5.1 Metodología para estimar el valor del producto físico marginal del agua utilizada en el riego**

En el marco teórico del presente trabajo se expuso la función de producción del tipo *Cobb-Douglas* (véase ecuación 4.3.1) tal cual lo marca la teoría económica convencional. Sin embargo, dicha representación es determinística o matemática, y las estimaciones econométricas son estadísticas –no proporcionan valores únicos para la variable explicada respecto de la(s) variable(s) explicativa(s), pero sí es precisa en

términos probabilísticos—. De ahí que a la ecuación 4.3.1 del capítulo IV se le agregue un término de error o perturbación ( $\varepsilon$ ) para calcular sus parámetros. Esto es:

$$Q = \gamma H^\alpha W^\beta \varepsilon^u \quad (5.1.1)$$

$$\alpha > 0 \text{ y } \beta > 0$$

donde  $Q$  representa la producción (variable explicada);  $H$ , al número de hectáreas (variable explicativa);  $W$ , al volumen de agua suministrado para riego (variable explicativa);  $\gamma$ , al parámetro de eficiencia;  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de la función de producción y la suma de ellos dan cuenta de los rendimientos de escala<sup>64</sup> (se espera que ambos sean positivos),  $\varepsilon$ , es un término de perturbación o error con media cero y varianza constante<sup>65</sup>.

La función producción de *Cobb-Douglas* si bien tiene limitaciones tales como el supuesto de competencia perfecta, rendimientos constantes de escala y la elasticidad de sustitución unitaria entre los factores productivos, principalmente, su elección y el número de variables explicativas incorporadas en el presente trabajo, a parte de las limitaciones de información disponible para el sector agrícola bajo la modalidad de riego en México, responden a los criterios de elección de la forma funcional, a saber: parsimonia en los parámetros, facilidad en la interpretación, robustez interpolativa y robustez extrapolativa.

---

<sup>64</sup> Véase apartado 3.1 en el presente trabajo.

<sup>65</sup> Véase Maddala. 1996. Introducción a la econometría. Trad. Juan Carlos Jolly Vallejo. Ed. Prentice Hall. pp: 70-74.

La parsimonia en los parámetros se refiere a que la cantidad de ellos no debe exacerbar el problema de dependencia lineal, muy común en la estimación de las funciones de producción, sobre todo si el tamaño de la muestra es pequeño.

Es más fácil analizar los resultados cuando los parámetros tienen una interpretación económica intrínseca e intuitiva, para ello la estructura funcional debe ser clara.

La robustez interpolativa exige que la forma funcional sea bien comportada manteniendo consistencia con las hipótesis, tales como un producto marginal positivo o convexidad de la función producción. Además, si los resultados se quieren corroborar numéricamente, la forma funcional debe admitir las transformaciones de cálculo para dicho propósito.

La robustez extrapolativa pide que la forma funcional sea compatible con el mantenimiento de las hipótesis más allá del tamaño de muestra considerada. Este es un criterio particularmente importante en la aplicación de proyecciones (*forecasting*)<sup>66</sup>.

La ecuación 5.1.1 es no lineal –se puede estimar tal cual<sup>67</sup> (de manera no lineal)– pero se puede linealizar al aplicarle logaritmos naturales, al sacar logaritmos neperianos se tiene:

$$q = g + \alpha h + \beta w \quad (5.1.2)$$

---

<sup>66</sup> Respecto de los criterios de elección de la forma funcional véase Fuss M., y D. McFadden, 1978., *op. cit.*, pp: 224-225.

<sup>67</sup> La estimación del modelo propuesto en su forma lineal, o no lineal, depende de la prueba referente a la forma funcional (de Ramsey) y, en este caso, al cumplimiento de los principios teóricos referentes a la teoría de la producción.

donde  $q$  es el logaritmo natural de  $Q$ ;  $h$  el de  $H$ ;  $w$  el de  $W$ ;  $g$  el de  $\gamma$ ; y  $u$  es el de  $\varepsilon$  y está normalmente distribuida con varianza constante. En este caso, los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  se pueden interpretar como elasticidades<sup>68</sup>. Es decir,  $\alpha$  nos indica en cuánto varia la producción en términos porcentuales al cambiar el insumo  $h$  en 1% manteniendo constante a  $w$ ; y  $\beta$  en cuánto varia la producción en términos porcentuales al modificar el insumo  $w$  en 1%, manteniendo constante a  $h$ .

En el método de los MCO el objetivo es minimizar los errores (dentro de la muestra) elevados al cuadrado, es decir, minimizar  $u^2$ . Para ello, la ecuación 5.1.2 se puede representar en notación matricial como:

$$u^* = q - X\varphi^* \quad (5.1.3)$$

donde  $u^*$  (el asterisco significa estimado) es un vector columna de  $n \times 1$ ;  $q$ , de  $n \times 1$ ;  $X$ , de  $n \times 2$  (contiene las variables explicativas  $h$  y  $w$ );  $\varphi^*$  es un vector columna de  $2 \times 1$  (contiene los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ ). En consecuencia, la minimización de los errores al cuadrado, en notación matricial, es:

$$u^{*'}u^* = (q - X\varphi^*)'(q - X\varphi^*) = q'q - 2\varphi^{*'}X'q + \varphi^{*'}X'X\varphi^* \quad (5.1.3.1)$$

La  $'$  significa transpuesta. Se deriva la ecuación 5.1.3.1 respecto de  $\varphi^*$  y se obtiene:

$$\frac{\delta u^{*'}u^*}{\delta \varphi^*} = -2X'q + 2X'X\varphi^* \quad (5.1.3.2)$$

La ecuación 5.1.3.2 se iguala a cero y se eliminan términos comunes para obtener la ecuación (5.1.3.3)

$$(X'X)\varphi^* = X'q \quad (5.1.3.3)$$

---

<sup>68</sup> Véase Gujarati D. 1997. Econometría. Trad. Gladys Arango Medina. Ed. McGraw-Hill. pp: 211-214.

En consecuencia, si la matriz inversa de  $(X'X)$  existe  $[(X'X)^{-1}]$ , los parámetros de interés se obtienen de la ecuación (5.1.3.4).

$$\varphi^* = (X'X)^{-1} X'q \quad (5.1.3.4)$$

La estimación de los parámetros de la ecuación 5.1.1 se puede realizar mediante MCO no lineales. Sin embargo, antes de aplicar MCO a la ecuación 5.1.3 se hace una expansión de Taylor con la finalidad de encontrar un polinomio que replique la ecuación original y hallar así la dirección de mayor pendiente (vector gradiente), de allí en adelante el proceso de estimación es el ya descrito a partir de la ecuación 5.1.3.1.

El desarrollo de Taylor consiste en expandir la ecuación de producción propuesta mediante un polinomio que coincida con la ecuación original y sus primeras  $n$  derivadas evaluadas en un punto  $(x + d)$ ,  $d$  representa la desviación alrededor del punto de evaluación. Es decir, hacerla lineal<sup>69</sup>.

Las estimaciones econométricas que se presentan en el capítulo VI del presente trabajo se hicieron con el paquete E-Views versión 3.1, y los modelos no lineales los estima con el método de Newto-Raphson y/o con el de Goldfeld-Quandt<sup>70</sup>.

El método de Newton-Raphson aplica un desarrollo de Taylor de segundo orden.

Sea  $\Phi = \frac{\delta F}{\delta x_i}$  la matriz de primeras derivadas y  $\Theta = \frac{\delta^2 F}{\delta x_i \delta x_j}$  la matriz de segundas

derivadas. Entonces, la expansión de Taylor de segundo orden es:

---

<sup>69</sup> Véase Apostol T. (1982). Calculus. Cálculo con funciones de una variable, con una introducción al álgebra lineal. Trad. Francisco Vélez Cantarell. Ed. Reverté. Volumen I. pp: 333-340.

<sup>70</sup> Véase Johnston J., y John DiNardo. 1997. Econometric methods. Ed. McGraw-Hill. pp: 288-290 y 619-622.

$$F(x_1 + d_1, x_2 + d_2, \dots, x_n + d_n) - F(x_1, x_2, \dots, x_n) \approx \Phi + \Theta d \quad (5.1.3.5)$$

Si la aproximación es exacta, entonces el punto  $x_1 + d_1, x_2 + d_2, \dots, x_n + d_n$  es el óptimo buscado, si y sólo si  $\Phi + \Theta d = 0$ , y la solución será  $d = -\Theta^{-1}\Phi$ . La aplicación es iterativa cambiando los valores de  $x_i$  a  $x_i + d_i$  hasta que el valor converja al punto óptimo. Sin embargo, si los valores iniciales están alejados de dicho punto óptimo, el proceso iterativo puede no converger. En este caso se aplica el método de Goldfeld-Quandt.

El método de Goldfeld-Quandt sustituye  $\Theta$  por  $(\Theta - \kappa I)$ , donde  $\kappa \geq 0$  e  $I$  es la matriz identidad. Así, la solución es:

$$d = -(\Theta - \kappa I)^{-1}\Phi \quad (5.1.3.6)$$

En consecuencia, si  $\kappa = 0$  se tiene la solución de Newton-Raphson y si  $\kappa \neq 0$  se alcanza el óptimo con pocas iteraciones<sup>71</sup>.

Para que el modelo estimado, lineal o no lineal, sea no rechazado debe ser sometido a una batería de pruebas que muestren evidencia acerca de su robustez. Dentro de ellas están: la de homoscedasticidad, multicolinealidad, autocorrelación de primero y segundo ordenes, especificación funcional, estacionariedad y normalidad, entre otras<sup>72</sup>.

Una vez estimados los parámetros de la función<sup>73</sup>  $Q = \gamma H^\alpha W^\beta$  se saca la primera derivada de dicha función respecto de  $W$  para obtener el valor del producto físico marginal del agua. Esto es:

---

<sup>71</sup> Véase Maddala. 1985. *Econometría*. Trad. Javier Contreras García. Ed. McGraw-Hill. pp: 178-183.; y Greene W. 1993. *Econometric analysis*. Ed. Prentice Hall. pp: 343-357.

<sup>72</sup> Véase Maddala. 1996. *op. cit.*, 715 p.; Koutsoyiannis. 1985. *Theory of econometrics*. MacMillan Publishers. pp: 48-68.; Johnston J., y John DiNardo. 1997. *Econometric methods*. Ed. McGraw-Hill. pp: 69-108 y 162-203.; y Maddala. 1985., *op. cit.*, pp: 79-136, 192-230 y 269-305.

<sup>73</sup> Si la ecuación se linealizó mediante logaritmos, primero se obtienen los antilogaritmos.

$$\frac{\delta Q}{\delta \beta} = \beta \left( \frac{\bar{Q}}{\bar{W}} \right) \quad (5.1.4)$$

Donde Q “raya” representa el promedio de la producción agrícola de riego durante el periodo o la región bajo estudio; y W “raya” el promedio de agua suministrado. Así, la ecuación 5.1.4 proporciona la contribución del agua al valor de la producción agrícola bajo la modalidad de riego en términos porcentuales.

## **5.2 Metodología para estimar el costo ecológico del agua utilizada en la agricultura de riego en México**

En la actualidad la atención de los gobiernos de todo el mundo y de la sociedad en general, se ha centrado en la relación economía–medio ambiente. La problemática del desequilibrio ecológico mundial ha influido para considerar en diversos foros internacionales los problemas ambientales que demandan solución. Sin embargo, existen dos diferentes enfoques principales para abordar la cuestión economía–medio ambiente, a saber: i) considera a la contaminación como un problema técnico (modificar los procesos productivos); y ii) considera dicho problema, como resultante de las relaciones sociales propias del modo de producción dominante.

Si aceptamos que los actuales niveles de contaminación se pueden explicar por las técnicas productivas, entonces las soluciones sugeridas versan en torno a:

1. La implementación de tecnologías limpias.
2. La generación del mercado de bienes ambientales.

### 3. El desarrollo de los derechos de propiedad<sup>74</sup>

Por otro lado, si se considera que los actuales niveles de contaminación se desprenden de las relaciones sociales de producción, entonces la causa es la maximización de la tasa de ganancia, en consecuencia, los dueños de los medios de producción utilizarán recursos naturales *sin precio* en sus procesos productivos y ello traerá la consecuente destrucción del medio ambiente. Además, para este enfoque buena parte de la situación global actual, en relación con la contaminación, no es técnico, sino social, y dice: *las leyes sociales que guían el reparto de los medios de producción condicionan un acceso diferenciado a la riqueza natural*<sup>75</sup>. Así, el análisis del fenómeno en consideración, para que tenga sentido, no debe dejar fuera las relaciones entre congéneres como una categoría fundamental para su explicación<sup>76</sup>.

No obstante los diversos enfoques sobre la problemática economía-medio ambiente, se han llevado a cabo reuniones convocadas por la Organización de las Naciones Unidas. “La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano” (1972), de la cual surgió el “Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente” (PNAUM), y la “Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo” (1984).

En 1992 se celebró otra reunión a escala mundial encaminada al análisis de la problemática ambiental denominada: “Conferencia de las Naciones Unidas Sobre el

---

<sup>74</sup> Al respecto, y para el uso del agua de riego en México véase Roemer A. 2000. *Derecho y economía: políticas públicas del agua*. Ed. Miguel A. Porrúa-CIDE-Centro de Estudios de Gobernabilidad y Política Pública, A. C. 311 p.; y Muchnik E. *op. cit.*

<sup>75</sup> Foladori G. 1999. *Los límites del desarrollo sustentable*. Ed. Banda Oriental. Revista Trabajo y Capital, p. 200.

<sup>76</sup> Foladori G. 1999. *op. cit.*, p. 224.

Medio Ambiente y Desarrollo” (CNUMAD). El objetivo de esta reunión fue hacer compatible la protección ambiental con el crecimiento y el desarrollo económico. Su logro principal fue colocar en el centro de la discusión al desarrollo sustentable<sup>77</sup>.

Debido a la importancia que tomó el tema economía-medio ambiente, los países asistentes a las reuniones citadas se abocaron a la elaboración de las cuentas económicas satélites (cuentas económicas que giran alrededor de la contabilidad nacional tradicional), cuyo objetivo es la elaboración de un conjunto de instrumentos que permitan tomar decisiones económico ambientales dentro de un contexto de sustentabilidad, al mostrar la dimensión y la evolución física de los recursos naturales y el deterioro ambiental e incorpora al Producto Interno Neto los costos del agotamiento y la degradación provocados por el hombre (INEGI. 1996. p. XI).

En México se elabora el Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas y se apega a las pautas metodológicas propuestas por las Naciones Unidas en el marco de las “Cuentas Satélites” del medio ambiente.

En la elaboración del Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México (SCEEM) se amplió el concepto de los activos. Los activos se dividieron en activos económicos producidos (instalaciones, maquinaria y equipo); activos económicos no producidos (petróleo, yacimientos mineros, etc.) y activos ambientales no producidos (aire, agua y suelo).

---

<sup>77</sup> Véase Foladori G. *op. cit.*, pp: 108–113; e INEGI. 1996. *Sistema de cuentas económicas y ecológicas de México, 1985 – 1992*. pp: IX-XI.

Son **activos económicos producidos** todos aquellos bienes surgidos de procesos comprendidos dentro de la frontera de producción del sistema económico y se refiere a las construcciones, a la maquinaria y al equipo, así como al ganado reproductor, mejoras de tierra, tratamiento de aguas, etcétera.

Los **activos económicos no producidos** son todos aquellos utilizados en la producción, pero no provenientes de proceso productivo alguno y comprende a los activos de origen natural, como el suelo, los bosques, los depósitos de minerales, etcétera.

Los **activos ambientales no producidos** son de origen natural y comprenden a todos aquellos que sin formar parte del proceso productivo sí son afectados por él. Además, poseen características tales que no es posible establecer algún derecho de propiedad sobre ellos, por ejemplo, el aire y los océanos.

En el SCEEM se vinculan los agregados económicos con los recursos naturales y el medio ambiente, a estos últimos se les asignó la categoría de activos no producidos. El concepto tradicional de activo adquiere nuevas dimensiones al reconocer que los recursos naturales y el medio ambiente están interrelacionados con la actividad económica. Pues la capacidad de una economía disminuye o aumenta, según la dirección en la que se alteren sus activos ambientales no producidos. Así, al considerar a los recursos naturales y al medio ambiente como activos no producidos, dejan de ser activos libres de oferta ilimitada y adquieren la categoría de bienes escasos.

En el SCEEM los activos totales ( $K_t$ ) están conformados por los activos económicos producidos ( $Kept$ ) más los activos económicos no producidos ( $Kenpt$ ) y los activos ambientales no producidos ( $Kanpt$ ). Esto es:

$$K_t = Kept + Kenpt + Kanpt \quad (5.2.1)$$

El tratamiento de los activos naturales y del medio ambiente (no producidos) en el SCEEM es similar al otorgado a los activos económicos producidos, (véase contabilidad nacional, SCN, INEGI). De ahí que tanto a los activos no producidos como a los ambientales se les asigne una valoración monetaria con base en la estimación de los costos por agotamiento y degradación, respectivamente, con la finalidad de integrarlos a los demás flujos monetarios de la economía.

Para obtener los balances de los activos no producidos se calculan los cambios producidos entre el activo al inicio del periodo (balance de apertura) y su disponibilidad al final del periodo (balance de cierre), igual que en los balances de los activos económicos producidos. Los balances de los activos no producidos se integran cuando existe una cuantificación o se puede estimar su cuantía, lo cual hace necesario conocer su disponibilidad total, así como los cambios que sufren, ya sea como resultado de la actividad del hombre o por la presencia de fenómenos naturales.

Para los activos ambientales no producidos (aire y agua superficial, principalmente), cuya disponibilidad total no puede ser acotada, se estima el daño o deterioro que sufren, lo cual se refleja en las alteraciones de su calidad.

El balance total de los activos económicos producidos y no producidos al término de un periodo ( $K_{t+1}$ ), es igual al total de activos al inicio del periodo  $t$  ( $K_t$ ), más el agotamiento de los activos económicos no producidos ( $AGkenpt$ ), más el agotamiento de los activos ambientales ( $AGkanpt$ ), más la degradación de los activos ambientales ( $DkGanpt$ ), más los cambios en los activos económicos no producidos ( $\Delta Ikenpt$ ), más los cambios en los activos ambientales no producidos ( $\Delta Ikanpt$ ), más la reevaluación de los activos económicos producidos ( $Rkept$ ), más la reevaluación de los activos económicos no producidos ( $Rkenpt$ ) y la reevaluación de los activos ambientales ( $Rkanpt$ ). Su representación algebraica es:

$$K_{t+1} = K_t + (I_t - \delta K_{ept}) - (AGkenpt + AGkanpt + DGkanpt) + (\Delta Ikenpt + \Delta Ikanpt) + Rkept + Rkenpt + Rkanpt \quad (5.2.2)$$

En esta identidad se incluyen de manera explícita los cambios que sufren los activos económicos no producidos como resultado del agotamiento de los recursos naturales y de la degradación del medio ambiente, al igual que sus cambios por su aumento o disminución, lo cual los pone casi a la par de la formación bruta de capital ( $I_t$ ) y muestra cómo los activos económicos no producidos pasan a la categoría de activos económicos.

La acumulación neta incluye dos elementos adicionales que corresponden al balance de los activos económicos no producidos:  $\Delta Ikenp$  representa las inversiones en los activos económicos no producidos y se refiere a la transferencia de activos ambientales hacia las actividades económicas, tales como la cesión de suelo y reservas minerales;  $AGkenp$  representa el agotamiento de los activos económicos no producidos,

tal es el caso de la disminución de los recursos naturales por su explotación y que prácticamente no es posible recuperar (recursos naturales no renovables); por ejemplo, el agotamiento de las minas y del petróleo.

El concepto de acumulación neta de activos económicos (*Ake*) comprende los cambios económicos producidos y las modificaciones que sufren los activos económicos no producidos. Lo cual se expresa como:

$$Aket = Int + (\Delta Ikenpt - AGenpt) \quad (5.2.3)$$

El concepto de acumulación neta también se puede referir a los activos ambientales que aún cuando no forman parte del proceso de producción se ven afectados por él. La referencia incluye un concepto adicional denominado *acumulación neta de activos ambientales* (*Akanp*), el cual representa los cambios o afectaciones en la cantidad y calidad de los activos ambientales (no económicos) que resultan de la actividad económica. Su representación es:

$$Akanpt = \Delta Ikanpt - (AGkanpt + DGkanp) \quad (5.2.4)$$

El SCEEM sigue la lógica del SCNM, como ya se indicó, al incorporar los recursos naturales y el ambiente al entorno económico, con ello es posible estimar el Producto Interno Neto Ecológico (PINE), mediante el método de la producción [ $PIB = P^* - CI$ ], donde  $P$  representa la producción bruta total y  $CI$  el consumo intermedio; y por el método del gasto [ $PIB = C + I$ ], donde  $C$  representa el consumo final e  $I$  la formación bruta de capital o inversión.

La determinación del *PINE* mediante el método de la producción toma como punto de partida al Producto Interno Neto (*PIN*), el cual es igual al Consumo Final (*C*), más la Inversión Neta (*In*), más las Exportaciones menos las Importaciones (*X-M*) y considera el agotamiento de los recursos naturales y el deterioro del ambiente. De manera que:

$$PINE = PIN - (Cag + Cdg) \quad (5.2.5)$$

Donde *Cag* representa el costo por agotamiento de los recursos naturales y *Cdg* el costo por degradación del medio ambiente.

Los **costos por degradación** son estimaciones monetarias del monto de las erogaciones requeridas para restaurar el deterioro del medio ambiente –erosión del suelo, contaminación del agua y del aire (activos ambientales)–, ocasionados por las actividades económicas.

Los **costos por agotamiento** son estimaciones monetarias que representan el desgaste o pérdida de los recursos naturales como consecuencia de su utilización en el proceso productivo.

La estimación del *PINE* mediante el método del gasto considera la acumulación neta de los activos económicos producidos y no producidos, por lo que

$$PINE = C + (Aket + Akanpt) + (X - M) \quad (5.2.6)$$

Para estimar el valor de los activos no producidos se han elaborado varios métodos, debido a que este tipo de activos tienen características propias, lo cual implica

un tratamiento especial para cada uno de ellos. A continuación se describen algunos de los métodos más utilizados en la valoración de este tipo de activos.

**Método de El Serafy.** La valoración de los activos ambientales se basa en el costo por agotamiento de los mismos, se estiman como una parte del valor presente del ingreso neto esperado en la vida útil del recurso, bajo la condición de que esa parte sea reinvertida para obtener un ingreso permanente en el futuro. A pesar de la relevancia de este método, no fue considerado en la elaboración del SCEEM.

**Método de la Renta Neta.** Al recurso natural se le asigna un valor igual a la diferencia entre el ingreso generado por su utilización (valor de mercado), menos los gastos en que se incurre para explotarlo a lo largo de su vida útil; se calcula el valor presente de los ingresos netos esperados. El resultado de su aplicación se interpreta como el gasto necesario para mantener al recurso en condiciones de seguir generando ingresos.

El método de la renta neta ha sido aplicado por el **Instituto Mundial de Recursos**, principalmente para estimar el valor de los recursos que pueden agotarse, tales como bosques, yacimientos mineros y el petróleo, entre otros.

En la elaboración del SCEEM se aplicó el método de la renta neta al caso del petróleo, yacimientos mineros y a los recursos forestales.

**El Método del Costo de Oportunidad.** Examina los costos en que se incurrirían si se quiere evitar el deterioro o restablecer las cualidades de un determinado recurso de acuerdo con estándares considerados como aceptables. Este método se aplicó a la

erosión del suelo, a la contaminación del agua y del aire. Para ello se tomó en consideración la alteración de su calidad, pues su problemática está relacionada con la degradación. Para estos activos no hay cuantificación, por eso el análisis se centra en la estimación de los costos en los que se incurrirían para evitar su deterioro o restablecer su calidad.

Para estimar el costo por degradación del agua que se utiliza en la agricultura bajo la modalidad de riego se recurrió al **Método del Costo de Oportunidad**. Esto es, se calculó el costo en el que se incurriría si se quisiera evitar el deterioro o restablecer las cualidades del recurso hídrico con estándares considerados como aceptables.

Por su parte, para estimar el costo por agotamiento del agua subterránea, utilizada en la agricultura de riego, se asumió que el costo ambiental es equivalente a inyectarla en los mantos freáticos de donde se extrajo. En este caso los costos por agotamiento incluyen también los costos por degradación.

La información acerca de los costos por agotamiento y por degradación del agua utilizada en la agricultura bajo riego en México al nivel nacional está disponible en el SCEEM. Sin embargo, no hay información al respecto al nivel regional.

Para obtener el costo por agotamiento del agua de riego a escala regional se tomó el dato correspondiente al uso de agua subterránea al nivel nacional registrada para tal fin por el SCEEM y con base en los datos del Sistema de Información Hidroagrícola de Distritos de Riego (SINHDR), se calculó el número relativo de pozos para cada una de las regiones administrativas III, VIII y XII consideradas en este estudio (anexo estadístico del capítulo V, inciso 5.4, cuadro 5.4.7). Con el número relativo de pozos por

región se multiplicó el dato del uso de agua subterránea al nivel nacional y con ello se obtuvo el costo por agotamiento del agua utilizada en el riego a escala regional.

Para obtener el costo por degradación del agua utilizada en el riego a escala regional se utilizó información del SCEEM y del Censo agrícola de 1991. Del SCEEM se tomó el costo por degradación del agua para riego al nivel nacional. Del Censo se tomó información, al nivel municipal, referente al consumo de pesticidas, fertilizantes químicos y orgánicos, se agruparon al nivel regional y se obtuvo la participación relativa por región respecto del consumo nacional. Con el consumo relativo por región (III, VIII y XII) de pesticidas, fertilizantes químicos y orgánicos se multiplicó el dato a escala nacional del costo por degradación del agua utilizada en el riego y con ello se obtuvo dicho costo a escala regional.

## Capítulo VI

### **Precio de eficiencia social para el agua de riego en México**

En este capítulo se presentan las estimaciones del  $VP_{fmg}$  del agua para uso agrícola al nivel nacional y para los distritos de riego agrupados en las regiones administrativas III, VIII y XII, de acuerdo con la clasificación de la CNA.

En el apartado 6.2 de este Capítulo se presentan los resultados de las estimaciones del costo ecológico por agotamiento y por degradación del agua utilizada en el riego al nivel nacional y en los distritos de riego agrupados en las regiones administrativas III, VIII y XII.

Se estima el precio de eficiencia social para el agua de riego al nivel nacional y para los distritos de riego agrupados en las regiones administrativas III, VIII y XII. Asimismo, se destaca que dicho precio tiene tres componentes, a saber: i) el valor del producto físico marginal del agua; ii) el costo ecológico por agotamiento; y iii) el costo ecológico por degradación.

Finalmente, se demuestra la necesidad de instrumentar políticas paralelas para el sector agrícola bajo la modalidad de riego ante la implementación del precio de eficiencia social para el agua utilizada en el riego.

## 6.1 Valor del producto físico marginal del agua en la agricultura de riego a escala nacional y en las regiones administrativas III, VIII y XII

En la estimación del producto físico marginal del agua<sup>78</sup> ( $Pfmg_w$ ) que se utiliza en la agricultura de riego en México a escala nacional, se partió de una función de producción<sup>79</sup> tipo *Cobb-Douglas*. Esto es:

$$Q = \gamma H^\alpha W^\beta \varepsilon^u$$
$$\alpha > 0 \text{ y } \beta > 0$$

Donde  $Q$  representa al índice del volumen físico de producción agrícola de riego, miles de pesos de 1993;  $H$ , al índice físico del número de hectáreas de riego cosechadas;  $W$ , al índice físico del volumen de agua suministrado, (miles de metros cúbicos);  $\gamma$ , al parámetro de eficiencia;  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de la función de producción y la suma de ellos dan cuenta de los rendimientos de escala<sup>80</sup>;  $\varepsilon$ , es un término de perturbación o error con media cero y varianza constante<sup>81</sup>.

La información recabada para llevar a cabo la estimación de los parámetros de la función producción al nivel nacional comprende el periodo 1960–1999 y se encuentra en el anexo estadístico al Capítulo VI cuadro 6.1 en el presente trabajo. Asimismo, las

---

<sup>78</sup> Véase la ecuación 4.1.4 del capítulo tres del presente trabajo.

<sup>79</sup> Las propiedades teóricas de las funciones de producción y las demostraciones formales puede verlas en: Madden P. 1987. *Concavidad y optimización en microeconomía*. Trad. Luis Bou. Ed. Alianza Universidad. pp: 159-176; para una aplicación a la agricultura véase Mundlak Y. 2000. *Agriculture and economic growth. Theory and measurement*. Harvard University Press. Cambridge, Massachussets. London, England. pp: 319-389.

<sup>80</sup> Véase apartado 3.1 en el presente trabajo.

<sup>81</sup> Al respecto véase Maddala. 1996. *Introducción a la econometría*. Trad. Juan Carlos Jolly Vallejo. Ed. Prentice Hall. pp: 70-74.

variables  $Q$ ,  $H$  y  $W$  son  $I(1)$ , es decir, los vectores están cointegrados<sup>82</sup>. En consecuencia, existe una relación de equilibrio o de largo plazo entre las variables involucradas en el modelo –el modelo estimado es  $I(0)$ –.

La función producción propuesta se estimó<sup>83</sup> mediante MCO en forma de logaritmos, esto es:

$$q = g + \alpha h + \beta w + u$$

Sin embargo,  $h$  y  $w$  registraron dependencia lineal considerable. Así lo pone de manifiesto el coeficiente de correlación entre todas las variables incluidas en el modelo (véase Cuadro 6.1), por ello, la función producción propuesta se estimó en su forma intensiva<sup>84</sup>.

Cuadro 6.1. Coeficientes de correlación de las variables involucradas en la función de producción estimada.

|      | $LQ$   | $LH$   | $LW$   |
|------|--------|--------|--------|
| $LQ$ | 1      | 0.9879 | 0.9554 |
| $LH$ | 0.9879 | 1      | 0.9487 |
| $LW$ | 0.9554 | 0.9487 | 1      |

La forma intensiva de la función producción estimada<sup>85</sup> es:

<sup>82</sup> Esto se refiere al número de diferencias necesarias para hacerse estacionarias. Una serie es estacionaria o ruido blanco cuando su media y su varianza son constantes en el tiempo y el valor de la covarianza depende de la distancia entre las observaciones. Véase Charemza W. y Derek F. Deadman. 1992. *New directions in econometric practice*. USA, Edward Elgar Publishing Limited. pp: 116-237.

<sup>83</sup> Todas las estimaciones econométricas se realizaron con el programa *E-Views*, versión 3.1.

<sup>84</sup> La forma intensiva de la función producción implica rendimientos constantes de escala ( $\alpha + \beta = 1$ ). En el análisis de la función de producción se utilizan ampliamente funciones homogéneas de primer grado (homogeneidad lineal), al respecto véase: Intriligator M. 1990. *Modelos econométricos: técnicas y aplicaciones*. Ed. FCE. Cap. 3.

<sup>85</sup> Es pertinente señalar que  $LQW$  y  $LHW$  también son  $I(1)$ , en consecuencia, el modelo estimado también es  $I(0)$ . La  $L$  denota logaritmos naturales (neperianos).

$$LQW = g + \alpha (LHW) + u$$

Donde  $LQW = (LQ - LW)$  y  $LHW = (LH - LW)$ . Los resultados de la estimación son:

$$LQW = -0.156 + 0.9264 LHW$$

$$t \quad (-1.607) \quad (8.28)$$

$$R^2 = 0.935$$

$$F = 258.09$$

$$D.W = 1.87$$

No existe evidencia estadística en términos generales para no aceptar el modelo y los resultados que proporciona. Pues el  $R^2$  es bastante alto<sup>86</sup>. Asimismo, el estadístico de Durbin-Watson (D-W) confirma la inexistencia de autocorrelación serial de primer orden y el estadístico  $F$  corrobora la relevancia conjunta de las variables explicativas – las pruebas de normalidad, de correlación serial de segundo orden, de heteroscedasticidad-ARCH, de heteroscedasticidad-White y la de Ramsey (especificación funcional), se encuentran en el anexo al Capítulo VI inciso 6.1–.

Los parámetros de la función producción, de acuerdo con los resultados obtenidos, para la agricultura de riego al nivel nacional en México son:

$$Q = 0.833 H^{0.926} W^{0.074}$$

---

<sup>86</sup> El  $R^2$  es el coeficiente de determinación y mide la proporción del total de la variación de la variable explicada representada por la variación de las variables explicativas, es una medida del ajuste del modelo. Véase Greene W. 1999. Análisis econométrico. Trad. José Antonio Hernández Sánchez, *et. al.*, ed. Prentice Hall, p. 222.

El valor del producto físico marginal<sup>87</sup> del agua utilizada en la agricultura de riego al nivel nacional en México representa, en promedio, el 5.69% del valor de la producción, pues, el promedio de  $Q$  es 64.57 y el de  $W$  es 83.88, observados durante el periodo bajo estudio, esto es, de 1960 hasta 1999.

El factor de corrección de error (FCE), de la función de producción estimada para la agricultura de riego a escala nacional en México, indica que los cambios de corto plazo en  $LHW$  tienen efectos positivos significativos en  $LQ$ , y alrededor del 0.307 de la discrepancia entre el valor de  $LQ$  actual y el valor de largo plazo o de equilibrio es eliminado o corregido cada año. Los resultados de la estimación del FCE son los siguientes.

$$\Delta LQ = 0.0107 + 0.96\Delta LHW - 0.307\varepsilon(-1)$$

$$t \quad (0.94) \quad (9.28) \quad (-2.49)$$

$$R^2 = 0.69$$

En estos resultados se observa que el coeficiente de  $\Delta LHW$  es 0.96, cercano a 1, lo cual sugiere que  $LQ$  se ajusta a su senda de crecimiento de largo plazo luego de una perturbación.

### 6.1.1. Estimación del producto físico marginal del agua para riego a escala regional

La estimación del producto físico marginal del agua que se utiliza en los distritos de riego de las regiones administrativas III, VIII y XII se llevó a cabo mediante un

---

<sup>87</sup> El  $VPfmg_W = (\delta Q / \delta W) = 0.074(Q/W) = 0.074 (64.57/83.88)$ , véase el apartado 4.1 del presente trabajo. Para un análisis detallado acerca de la relevancia teórica del producto físico marginal, véase: Friedman M. 1993. *op. cit.*, Cap. 10.

modelo econométrico de la función producción del tipo *Cobb-Douglas*, al igual que la estimación al nivel nacional, para cada una de las regiones. La información utilizada se tomó del Sistema de Información Hidroagrícola de Distritos de Riego (SINHDR), propiedad de la CNA-IMTA. A continuación se describe cómo se sistematizó la información.

La información que se ocupó está organizada (en el SINHDR) por distritos de riego al nivel regional y por ciclos de cultivo. Para fines de este trabajo, se utilizó la información referente a hectáreas cosechadas, lámina de riego bruta<sup>88</sup> y valor de la producción en los ciclos de cultivo primavera-verano de 1999 y de 1998; asimismo, el ciclo otoño-invierno de 1998-1999 y el de 1997-1998. Se homogenizó la información y se obtuvieron las variaciones anuales de las variables en cuestión referentes a 1999 y 1998-1999 respecto de las del año anterior. En relación con el valor de la producción, se puso en términos reales, para ello se utilizó el deflactor implícito del pib de la rama 01 (agricultura) base 1993 y se obtuvo un índice del volumen físico de producción. Cada región tuvo sus particularidades y serán detalladas al momento de exponer los resultados.

Las diferencias más notables entre las regiones bajo estudio son los cultivos y el número de hectáreas cosechadas. Además, es necesario tener presente que los resultados obtenidos para cada una de las regiones no se pueden comparar entre sí, porque las muestras son de tamaños distintos, los cultivos son diferentes, la forma de riego no es la

---

<sup>88</sup> Lámina considerada al nivel fuente de abastecimiento.

misma, entre otros elementos, recordemos lo señalado líneas arriba respecto de los procesos de producción eficientes<sup>89</sup> (capítulo IV, apartado 4.1).

#### **6.1.1.1. Producto físico marginal del agua en los Distritos de Riego de la Región Administrativa Pacífico-Norte III**

El producto físico marginal del agua que se utiliza en los distritos de riego pertenecientes a la región administrativa III se estimó mediante una función producción del tipo *Cobb-Douglas*. La muestra asciende a 42 observaciones, se encuentra en el anexo estadístico al Capítulo VI cuadro 6.2 del presente trabajo y comprende al índice de hectáreas cosechadas ( $H$ ), al índice de la lámina bruta media de agua ( $W$ ) y al índice del volumen físico de producción ( $Q$ ) en miles de pesos de 1993. Toda la información se tomó del SINHDR.

La función producción propuesta asume la forma siguiente:

$$Q = \gamma H^{\alpha} W^{\beta} \varepsilon^{\eta}$$

$$\alpha > 0 \text{ y } \beta > 0$$

La función producción propuesta, desde el punto de vista teórico, sugiere la presencia de dependencia lineal entre las variables explicativas, hecho que se confirmó en la presente valoración. En consecuencia, la función producción se estimó en su forma intensiva mediante el método no lineal. La ecuación estimada tomó la forma siguiente<sup>90</sup>:

$$QW = \gamma (HW)^{\alpha}$$

---

<sup>89</sup> El parámetro  $\gamma$  de la función producción en cada una de las regiones no es comparable.

<sup>90</sup> Es decir, también es intensiva,  $\alpha + \beta = 1$ .

En donde  $QW$  representa la división de  $Q$  entre  $W$ , y  $HW$  la división de  $H$  entre  $W$ . Los resultados de la estimación se presentan a continuación.

$$QW = 1.354 (HW)^{0.9634}$$

$$t \quad (2.07) \quad (22.66)$$

$$R^2 = 0.923$$

$$F = 480.64$$

$$D.W = 2.17$$

En términos generales se puede decir que no existe evidencia estadística para no aceptar los resultados del modelo. Pues el  $R^2$  es bastante alto, para una estimación de corte transversal, como es el caso. Asimismo, el estadístico de Durbin-Watson (D-W) corrobora la inexistencia de autocorrelación serial de primer orden y el estadístico  $F$  confirma la relevancia conjunta de las variables explicativas, –las pruebas de correlación serial, de heteroscedasticidad-ARCH y la de heteroscedasticidad-White se encuentran en el anexo al Capítulo VI inciso 6.1–.

Los parámetros de la función producción de los distritos de riego de la región administrativa III, de acuerdo con la estimación realizada, son:

$$Q = 1.354 H^{0.9634} W^{0.0366}$$

En consecuencia, el aporte del agua utilizada en los distritos de riego de la región administrativa III al valor de la producción agrícola es del 5.54%, por que el promedio de  $Q$  es 146.42 y el de  $W$  es 96.65.

### **6.1.1.2. Producto físico marginal del agua en los Distritos de Riego de la Región Administrativa Lerma-Santiago-Pacífico VIII**

La valoración de la función producción de los distritos de riego pertenecientes a la región administrativa VIII se llevó a cabo con 89 observaciones y la información de las variables utilizadas se encuentran en el anexo estadístico al Capítulo VI cuadro 6.3 en el presente trabajo; la función se estimó en su forma intensiva (rendimientos constantes de escala). Los resultados se presentan a continuación.

$$LQW = 0.0906 + (LHW)^{0.9831}$$

$$t \quad (0.113) \quad (12.05)$$

$$R^2 = 0.625$$

$$F = 145.24$$

$$D.W = 1.80$$

En términos generales se puede decir que no existe evidencia estadística para rechazar los resultados del modelo. Pues el  $R^2$  es alto (mayor a 0.5), acorde con las estimaciones de corte transversal, como es el caso. Asimismo, el estadístico de Durbin-Watson (D-W) confirma la inexistencia de autocorrelación serial de primer orden y el estadístico  $F$  pone en evidencia la relevancia conjunta de las variables explicativas, –las pruebas de correlación serial, de heteroscedasticidad-ARCH, y la de heteroscedasticidad-White se encuentran en el anexo al Capítulo VI inciso 6.1–.

Los parámetros de la función producción de los distritos de riego pertenecientes a la región administrativa VIII, de acuerdo con la estimación realizada, son:

$$Q = 0.0906 H^{0.9831} W^{0.0169}$$

De manera que el valor del producto físico marginal del agua en los distritos de riego de la región administrativa VIII explica el 8.48% del valor de la producción agrícola, por que el promedio de  $Q$  es 562.13 y el de  $W$  es 111.99.

### **6.1.1.3 Producto físico marginal del agua en los Distritos de Riego de la Región Administrativa Península de Yucatán XII**

La estimación de la función producción de los distritos de riego pertenecientes a la región administrativa XII, Península de Yucatán, se llevó a cabo con 17 observaciones y la información de las variables utilizadas se encuentran en el anexo estadístico al Capítulo VI cuadro 6.4 en el presente trabajo, se estimó en su forma intensiva y con logaritmos mediante el método de MCO. Los resultados se presentan a continuación.

$$LQW = 0.381 + 0.9657 LHW$$

$$t \quad (3.35) \quad (73.06)$$

$$R^2 = 0.997$$

$$F = 5337.64$$

$$D.W = 2.16$$

Los resultados de la función producción estimada no proporcionan evidencia estadística para rechazar el modelo. El  $R^2$  es alto, toda vez que se trata de una estimación de corte transversal. Asimismo, el estadístico de Durbin-Watson (D-W) corrobora la inexistencia de autocorrelación serial de primer orden y el estadístico  $F$  pone en evidencia la relevancia conjunta de las variables explicativas, –la prueba de

heteroscedasticidad-ARCH y la de heteroscedasticidad-White, se encuentran en el anexo al Capítulo VI inciso 6.1–.

Los parámetros de la función producción de los distritos de riego pertenecientes a la región administrativa XII son:

$$Q = 0.381 H^{0.9657} W^{0.0343}$$

De manera que el valor del producto físico marginal del agua en los distritos de riego de la región administrativa XII da cuenta del 3.60% del valor de la producción, pues el promedio de  $Q$  es 102.65 y el de  $W$  es 98.34.

Finalmente, el promedio de los valores del producto físico marginal de las regiones administrativas consideradas en este estudio es de 5.83%; el de la estimación al nivel nacional de 5.69%, es decir, estadísticamente son idénticas.

## **6.2 Costo por agotamiento y por degradación del agua de riego al nivel nacional y en los distritos de riego de las regiones administrativas III, VIII y XII**

En el capítulo V del presente trabajo se detalló la forma en la que el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) estima los costos ecológicos. Por eso, en este apartado sólo se expondrán los resultados de los cálculos respecto del agua.

El costo ecológico del agua tiene dos componentes, a saber: 1) el costo por agotamiento; y 2) el costo por degradación.

El costo por agotamiento se refiere al agua subterránea. Así, para estimarlo, se asumió que el costo ambiental equivale a inyectar agua a los mantos freáticos<sup>91</sup>.

El costo por degradación del agua se estimó con base en el método del costo de oportunidad. Se calculan los desembolsos necesarios para reestablecer las cualidades del recurso hídrico de acuerdo con algún estándar considerado como aceptable.

La estimación del costo ecológico del agua, utilizada en el riego, por agotamiento y por degradación, se estimó al nivel nacional y para las regiones administrativas III, VIII y XII. El cálculo al nivel nacional incluye a los distritos de riego y a las unidades de riego; el de las regiones administrativas sólo incluye a los distritos de riego.

De acuerdo con la información disponible y suponiendo que la actividad agrícola contamina una proporción igual a su nivel de consumo (76.0% del total del agua consumida en el país), **el costo por degradación para el año de 1999 fue de 4, 988 miles de pesos de 1993** (véase el anexo al Capítulo VI inciso 6.2).

El costo por agotamiento se refiere al agua subterránea y, a diferencia del caso anterior, aquí no se hace ningún supuesto debido a que la información para la actividad agrícola al nivel nacional sí está disponible en los sistemas de contabilidad nacional. Así, **el costo por agotamiento del agua extraída para el riego durante el año de 1999 fue de 320, 568 miles de pesos de 1993** (véase el anexo al Capítulo VI inciso 6.2).

---

<sup>91</sup> También incluye el costo por degradación, pero se trata solo del agua subterránea. No está de más insistir en que dichas estimaciones las realiza el INEGI y las presenta en el Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México.

El costo por la degradación (contaminación) del agua utilizada en los distritos de riego de las regiones administrativas III, VIII y XII, se muestra en el Cuadro 6.2.

Cuadro 6.2. Costo ecológico por la degradación del agua en los distritos de riego agrupados por región administrativa (miles de pesos de 1993).

| <i>Región III</i> | <i>Región VIII</i> | <i>Región XII</i> |
|-------------------|--------------------|-------------------|
| 220.87            | 126.80             | 13.75             |

Fuente: Estimación propia con base en información del INEGI y de la CNA-IMTA.

El costo ecológico por agotamiento del agua (subterránea) utilizada en los distritos de riego en las regiones administrativas III, VIII y XII se presentan en el Cuadro 6.3.

Cuadro 6.3. Costo ecológico por agotamiento del agua en los distritos de riego agrupados por región administrativa (miles de pesos de 1993).

| <i>Región III</i> | <i>Región VIII</i> | <i>Región XII</i> |
|-------------------|--------------------|-------------------|
| 16 355.95         | 8 149.95           | 883.92            |

Fuente: Estimación propia con base en información del INEGI y de la CNA-IMTA.

### 6.3 Precio de eficiencia social para el agua de riego en México

El precio de eficiencia social ( $P_{ES}$ ) para el agua de riego se compone del valor de su producto físico marginal ( $VPfmg_w$ ), del costo por agotamiento ( $Cag$ ) y del costo por degradación ( $Cdg$ ), es decir:

$$P_{ES} = VPfmg_w + Cag + Cdg \quad (6.3.1)$$

Es necesario señalar que dicho precio está exento de externalidades positivas o negativas, pues cubre todas las externalidades. De éste modo, el  $P_{ES}$  se acerca a un óptimo paretiano o bien a la eficiencia social bajo un contexto de segundo mejor (*second best*), en el sentido ya expuesto en el capítulo III del presente trabajo.

Los precios se forman en el mercado y el agua para riego en México en la actualidad (año 2003) no opera en mercado formal alguno. Sin embargo, el agua sí tiene un precio de equilibrio y parte de él se desprende del aporte que hace a la conformación del valor de la producción agrícola –desde el punto de vista del consumidor, el agricultor–, la otra parte se desprende de las externalidades.

El  $P_{ES}$  es de eficiencia social porque internaliza las externalidades negativas, pero sobre todo impide al *productor del agua* ejercer su poder de monopolio. Además, proporciona las señales necesarias para orientar la política de costos del *productor del agua*, en ausencia de mercado, con ello se neutraliza la arbitrariedad en relación con las tarifas del agua y se reducen las ineficiencias de su productor.

La arbitrariedad de las tarifas al agua susceptibles de implementarse por parte del *productor* y sus ineficiencias se reducen, porque si se desea el desarrollo en un contexto de eficiencia social, está obligado a *producir el agua* a un costo unitario igual al valor del producto físico marginal y a conservarla en cantidad, calidad y sitio con los componentes del  $Cag$  y del  $Cdg$ .

El valor del producto físico marginal del agua en México, de acuerdo con las estimaciones realizadas, al nivel nacional y para el año de 1999 fue de 274.552 pesos de 1993 por cada 10 mil metros cúbicos de agua. De éste modo, puesto que el volumen de agua consumido por la agricultura de riego (UNDERES y Distritos de Riego) en el país durante 1999 ascendió a 64.8 kilómetros cúbicos, consecuentemente la CNA debió recaudar 1.8 miles de millones pesos de 1993.

Los 1.8 miles de millones de pesos de 1993, representan el aporte que el agua hizo, en promedio, al valor de la producción agrícola de riego en el país. En consecuencia, del presupuesto total de la CNA, dicha cantidad representaría su costo marginal de producción, el resto de su presupuesto se debería a las otras atribuciones que le son propias, tales como: proporcionar protección a las zonas habitacionales, a las zonas productivas, garantizar el suministro de agua para uso doméstico, o a sus ineficiencias, o bien a su pretensión de ejercer su poder de monopolio.

El costo por agotamiento es otro componente del precio del agua para riego en un contexto de eficiencia social. De acuerdo con las estimaciones realizadas al nivel nacional (véase el anexo estadístico del Capítulo VI, inciso 6.2, Cuadro 6.2.5) el costo por agotamiento durante 1999 fue de 49.470 pesos de 1993 por cada 10 mil metros cúbicos de agua.

El otro componente del precio del agua para riego que propicia la eficiencia social es el costo por degradación. Con base en la información disponible se calculó dicho concepto en 0.770 pesos por cada 10 mil metros cúbicos para el año 1999 a precios de 1993.

Al sumar el valor del producto físico marginal del agua ( $VPfmg_w$ ) con el costo por agotamiento ( $Cag$ ) y con el costo por degradación ( $Cdg$ ) se obtiene el precio del agua en un contexto de eficiencia social ( $P_{ES}$ ). En este sentido, el precio del agua para

riego al nivel nacional<sup>92</sup> durante 1999 ascendió a 324.792 pesos de 1993 por cada 10 mil metros cúbicos.

$$P_{ES} = VPfmg_w + Cag + Cdg$$

$$P_{ES} = 274.552 + 49.470 + 0.770$$

$$P_{ES} = 324.792$$

El  $VPfmg_w$  en el ámbito nacional representa el 5.69% del valor total de la producción de la agricultura bajo riego y ello equivale a \$274.552 de 1993 por cada 10 mil metros cúbicos de agua, en consecuencia, al sumarle los componentes  $Cag$  y  $Cdg$  y aplicar la regla de tres, se tiene que el precio de eficiencia social o de equilibrio del agua para riego a escala nacional representa el 6.73% del valor total de la producción.

Al considerar el  $P_{ES}$  estimado, el ingreso latente de la CNA, durante el año de 1999, fue de 2.1 miles de millones de pesos de 1993. De éste modo, independientemente del presupuesto de la CNA y de las diferentes obligaciones que debe cumplir, el precio estimado de eficiencia social del agua para riego es un punto importante de referencia. Por que la CNA debe ser capaz de producir y de conservar en cantidad y calidad el agua, utilizada en el riego, a dicho precio.

---

<sup>92</sup> Puente Gonzáles en su trabajo de agosto de 2001 señala que una primera aproximación al precio de equilibrio del agua para riego representa el 7% del valor total de la producción del conjunto de los cultivos registrados en el año agrícola anterior, en el distrito de riego “Río Yaqui”. Su propuesta se desprende “de una regla empírica de fácil aplicación” pág. 90. Véase Puente Gonzáles A. Agosto de 2001. *La agricultura de México antes y después de las reformas económicas. Un análisis nacional y regional en el distrito de riego “Río Yaqui”*. Center for environmental science and policy/ Institute for international studies, Stanford University. 130 p + anexos. Por otro lado, en el presente trabajo se estimó el  $VPfmg$  del agua para riego al nivel nacional en 5.69%, que en pesos de 1993 equivale a 274.552 por cada 10 mil metros cúbicos de agua, se aplica una regla de tres, y al  $VPfmg$  se le suma el  $Cag$  y el  $Cdg$  y resulta que el precio de equilibrio representa el 6.73%. Solo que el precio del agua de eficiencia social o de equilibrio que aquí se propone se desprende de un análisis formal.

El  $VPfmg_w$ , el  $Cag$  y el  $Cdg$  por cada 10 mil metros cúbicos del agua que se utilizan en los distritos de riego de la Región Administrativa Pacífico Norte III, para 1999 en pesos de 1993 se presentan en el Cuadro 6.4.

Cuadro 6.4. Componentes del precio del agua en un contexto de eficiencia social para la Región Administrativa Pacífico Norte III, durante 1999.

| <i>Concepto</i> | <i>Pesos de 1993 por cada 10 mil m<sup>3</sup> de agua</i> |
|-----------------|------------------------------------------------------------|
| $VPfmg_w$       | 387.153                                                    |
| $Cag$           | 33.068                                                     |
| $Cdg$           | 0.447                                                      |

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la información del Cuadro 6.4 se tiene que el precio de equilibrio o de eficiencia social del agua para los distritos de riego de la región administrativa III, por cada 10 mil metros cúbicos para 1999 en pesos de 1993, fue:

$$P_{ES} = VPfmg_w + Cag + Cdg$$

$$P_{ES} = 387.153 + 33.068 + 0.447$$

$$P_{ES} = 420.668$$

El  $VPfmg_w$  en los distritos de riego de la región administrativa III representa el 5.54% del valor total de su producción y ello equivale a \$387.153 de 1993 por cada 10 mil metros cúbicos, en consecuencia, al sumarle los componentes  $Cag$  y  $Cdg$  y aplicar la regla de tres, se tiene que el precio de eficiencia social del agua utilizada en los distritos de riego de la región administrativa III representa el 6.02% del valor total de la producción.

El  $VPfmg_w$ , el  $Cag$  y el  $Cdg$  por cada 10 mil metros cúbicos del agua que se utiliza en los distritos de riego de la Región Administrativa Lerma-Santiago-Pacífico VIII, durante 1999 en pesos de 1993, se presentan en el Cuadro 6.5.

Cuadro 6.5. Componentes del precio del agua en un contexto de eficiencia social para la Región Administrativa Lerma-Santiago-Pacífico VIII, durante 1999.

| <i>Concepto</i> | <i>Pesos de 1993 por cada 10 mil m<sup>3</sup> de agua</i> |
|-----------------|------------------------------------------------------------|
| $VPfmg_w$       | 386.421                                                    |
| $Cag$           | 25.865                                                     |
| $Cdg$           | 0.402                                                      |

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la información del Cuadro 6.5 se tiene que el precio de eficiencia social o de equilibrio del agua utilizada en los distritos de riego de la región administrativa VIII por cada 10 mil metros cúbicos en 1999, en pesos de 1993, fue:

$$P_{ES} = VPfmg_w + Cag + Cdg$$

$$P_{ES} = 386.421 + 25.865 + 0.402$$

$$P_{ES} = 412.688$$

El  $VPfmg_w$  en los distritos de riego de la región administrativa VIII representa el 8.48% del valor total de su producción y ello equivale a \$386.421 de 1993, en consecuencia, al sumarle los componentes  $Cag$  y  $Cdg$  y aplicar la regla de tres, se tiene que el precio de equilibrio o de eficiencia social para el agua utilizada en los distritos de riego de la región administrativa VIII representa el 9.06% del valor total de la producción.

El  $VPfmg_w$ , el  $Cag$  y el  $Cdg$  por cada 10 mil metros cúbicos de agua utilizada en los distritos de riego de la Región Administrativa Península de Yucatán XII, para 1999 en pesos de 1993, se presentan en el Cuadro 6.6.

Cuadro 6.6. Componentes del precio del agua en un contexto de eficiencia social para la Región Administrativa Península de Yucatán XII, durante 1999.

| <i>Concepto</i>          | <i>Pesos de 1993 por cada 10 mil m<sup>3</sup> de agua</i> |
|--------------------------|------------------------------------------------------------|
| <i>VPfmg<sub>w</sub></i> | 342.092                                                    |
| <i>Cag</i>               | 76.878                                                     |
| <i>Cdg</i>               | 1.196                                                      |

Fuente: Elaboración propia.

Con base en la información del Cuadro 6.6 se tiene que el precio de eficiencia social del agua utilizada en los distritos de riego de la región administrativa XII, por cada 10 mil metros cúbicos, para el año de 1999 en pesos de 1993, fue:

$$P_{ES} = VPfmg_w + Cag + Cdg$$

$$P_{ES} = 342.092 + 76.878 + 1.196$$

$$P_{ES} = 420.166$$

El *VPfmg<sub>w</sub>* en los distritos de riego de la región administrativa XII representa el 3.60% del valor total de su producción y ello equivale a \$342.092 de 1993, en consecuencia, al sumarle los componentes *Cag* y *Cdg* y aplicar la regla de tres, se tiene que el precio de equilibrio o de eficiencia social para el agua utilizada en los distritos de riego de la región administrativa XII, representa el 4.42% del valor total de la producción.

El precio para el agua que se utiliza en el riego al nivel nacional y en los Distritos de Riego de las regiones administrativas III, VIII y XII, calculado en el presente trabajo es de eficiencia social, por que evita el ejercicio del poder de monopolio de la CNA, propicia el uso eficiente del recurso como insumo y fomenta su preservación tanto en cantidad como en calidad.

Es cierto que a la fecha no existe consenso ni teórico ni conceptual respecto de la gestión del agua (Dourojeanni A., y Andrei Jouravlev, 2001), pero también es cierto que los monopolios deterioran el bienestar social. En consecuencia, se puede decir que, al menos en lo referente al productor de agua, sí existe un punto de acuerdo generalizado, es un monopolio natural (Griffin R, 2001).

A la fecha, al nivel mundial (Acquatella, 2001) y en América Latina (Jouravlev A. 2001), se ha propugnado por la utilización de instrumentos económicos y de mercado para fomentar el uso racional del agua. Sin embargo, en la mayoría de los casos el objetivo central no es la gestión integrada de los recursos hídricos, sino: i) proteger y promover la participación y la inversión privada en la construcción de obras hidráulicas; ii) reducir la presión sobre los presupuestos públicos; y iii) mejorar la eficiencia económica en el aprovechamiento del agua (Jouravlev A. 2001).

Con el afán de promover la participación de la iniciativa privada y de reducir las erogaciones publicas en el sector hidroagrícola, se hacen propuestas de establecer mercados y políticas de precios del agua, sin embargo, la mayoría de esas propuestas pasan por alto muchas cosas elementales y, por ejemplo, proponen recuperar la totalidad de los costos de producción en los que se incurren en la producción del agua para riego (OCDE, 1998 y Cummings, 1992), cuando a todas luces no es posible.

No es posible recuperar la totalidad de los costos en los que se incurre en la producción del agua para riego, por que todos los costos, como ya se indicó líneas arriba, no son imputables al usuario, debido a que la CNA está obligada a cumplir con una serie de funciones ajenas al riego.

Las señales de precios del mercado son consideradas fundamentales para la asignación eficiente del agua. Los precios se deben formar en el mercado libre de toda intervención gubernamental y con ello se asignará el recurso hídrico a los usos más eficientes y al menor costo (Lee T. y Andrei Juravlev, 1998; Easter K., y Robert Hearne, 1995). Este argumento pasa por alto que la producción del agua está en manos de un monopolio natural y por ello los precios formados en el mercado estarán distorsionados y alejarán a la economía en su conjunto de la eficiencia social.

En relación con los mercados del agua se tiene la experiencia en el Oeste de los Estados Unidos de América y se considera que el sistema es ineficiente y limitado (mercados estrechos). El uso del mercado como único medio para la asignación o reasignación del agua es improbable, por la naturaleza dual del líquido, público y privado (McCormick Z. 1994, McNally M. 1994 y Michelsen A. 1994).

Por otro lado, hay quienes consideran suficiente promover e instrumentar leyes orientadas al mercado y olvidan que dicha institución necesita reglas del juego claras y un marco de gobernabilidad eficaz (Vogelgesang, 2000), además de información veraz y oportuna, elementos todos inexistentes a la fecha, al menos en México. Asimismo, no se debe olvidar que el uso de los instrumentos económicos es parte del aparato regulatorio y con ello se pretende complementar o reemplazar la compulsión legal (Solanes M. 1999).

El precio para el agua, propuesto en el presente trabajo, tiene la virtud de impedir el ejercicio del poder de monopolio que tiene el *productor* del líquido y consecuentemente propicia la igualdad entre costo marginal y precio ( $VPfmg_w + Cag + Cdg$ ) en ausencia de mercado sin generar distorsiones de precios o de costos en la

economía. Además, reduce las externalidades negativas procedentes de la actividad agrícola bajo la modalidad de riego en México.

El precio de eficiencia social para el agua de riego propuesto en este trabajo tiene la propiedad de moverse en la misma dirección que lo haga el devenir de la actividad agrícola. Así, el productor del agua deberá adaptarse a las condiciones del sector agrícola y no al contrario, es decir, el sector agrícola bajo la modalidad de riego no debe ser sometido a las condiciones del monopolista productor del agua.

Si los productores agrícolas bajo la modalidad de riego no son sometidos por el *productor de agua*, entonces, aunque éste último no participe en mercado alguno, tendrá que adaptar sus costos de producción de acuerdo con la evolución de los mercados agrícolas, tanto internos como externos, y con ello aumentará su eficiencia y reducirá su grado de monopolio, incrementándose así el bienestar social.

El precio de eficiencia social para el agua de riego propuesto en este trabajo coadyuvará en la reducción de las distorsiones existentes en la economía y aumentará la eficiencia, tanto del consumidor como del *productor* del líquido. Porque el sólo establecimiento del precio provocará la reducción de la demanda (véase la ecuación 4.3.1.5 del apartado 4.1 en el presente trabajo) y la reducción de los costos del productor del agua (por el aumento de la eficiencia). Además, ya no habrá motivo para señalar que el agua para riego es “gratuita” y no habrá elementos para proponer que se cobren al sector agrícola todos los costos (se recupere el presupuesto) de la CNA, aún a sabiendas de que la CNA tiene objetivos múltiples, como ya se señaló.

#### 6.4 Cobro del agua para riego y sus efectos en los beneficios de los productores agrícolas: algunas políticas paralelas necesarias

Los agricultores bajo la modalidad de riego actualmente no pagan el  $P_{ES}$  por el agua que utilizan, degradan y agotan, su función de costos no incluye al agua, en el sentido que se ha venido indicando, sin embargo, en su función de producción sí aparece como un insumo, lo cual genera una inconsistencia teórica y práctica.

Es una inconsistencia teórica, por que de la ecuación 4.4.1.b del inciso 4.4 del capítulo III se tiene que:

$$\max_{Q, H, W} \Pi = P_q f(W, H) - w_W W - w_H H \quad (6.6.1)$$

Sin embargo, para los campesinos que utilizan agua para riego en México la ecuación de beneficios 6.6.1 no tiene los elementos  $w_W W$  en el lado de los costos, no obstante, el agua ( $W$ ) sí aparece en la función producción. Su ecuación de beneficios toma la forma siguiente:

$$\max_{Q, H, W} \Pi = P_q f(W, H) - w_H H \quad (6.6.2)$$

Si se implementa el cobro del agua para riego con base en el  $P_{ES}$ , la ecuación 6.6.2 tomará la forma de 6.6.1 y ya no habrá inconsistencia alguna, ni práctica ni teórica. Sin embargo, pasar de la ecuación 6.6.2 a la 6.6.1 tiene implicaciones económicas considerables en los productores agrícolas y, por ello, será necesario instrumentar políticas paralelas relacionadas con el mercado interno y con el sector externo de los bienes del sector bajo estudio.

La política relacionada con el mercado interno tiene que ver con los precios de los productos agrícolas producidos en nuestro país. Pues, si se incluye el  $w_W W$  en los costos (se implementa el  $P_{ES}$ ), y éste no tiene correspondencia en el precio final de los bienes agrícolas ( $P_q$ ), los beneficios de dicho sector caerán, con ellos el nivel de vida de la población involucrada y la viabilidad de la actividad económica bajo estudio, al unísono nos alejaremos más de la eficiencia social. Por todo ello, es fundamental que los productores agrícolas bajo la modalidad de riego puedan transferir el incremento de sus costos al precio de su producto final.

La capacidad de transferir el incremento de los costos de producción del sector agrícola, derivado del pago del agua para riego, no modifica su función de utilidad, en consecuencia, sí pueden pagar el valor del producto físico marginal que el agua agrega al valor de su producción.

Por otro lado, el incremento del precio de los productos agrícolas, derivado de la inclusión del agua en la función de costos, hace necesario implementar nuevas políticas respecto de la balanza comercial del sector bajo estudio, a saber:

1. Si en el país que exporta a México bienes agrícolas no se cobra el agua para riego, es claro que los productores mexicanos están en desventaja, entonces a las importaciones mexicanas se les debe cobrar un impuesto compensatorio por concepto de agua.
2. Si en los países a los que exporta México productos agrícolas no se cobra el agua para riego, entonces a los exportadores mexicanos se les debe rembolsar el pago que hicieron por el insumo hídrico utilizado.

Si se llegara a presentar alguna o las dos situaciones descritas y no se instrumenta ninguna medida compensatoria, el sector agrícola bajo la modalidad de riego en México será, una vez más, víctima de una competencia desleal, y cada día los mexicanos estaremos más lejos de la eficiencia social.

Finalmente, la hipótesis de trabajo número cinco no se rechaza, debido a que los productores agrícolas bajo la modalidad de riego sí tienen la capacidad para pagar por el agua que utilizan un precio equivalente al valor de su producto físico marginal más las externalidades negativas, siempre y cuando se les permita transferir el incremento de sus costos de producción al precio final de sus bienes y no sean sometidos a una competencia desleal mediante la importación de productos agrícolas que no tengan incorporado el pago del agua.

## **Capítulo VII**

### **Conclusiones y recomendaciones**

#### **7.1 Conclusiones**

De acuerdo con la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos el Estado debe promover el desarrollo nacional y garantizar que sea integral y equitativo, asimismo, debe promover la justa distribución del ingreso y de la riqueza (incluye la natural).

El artículo 27 constitucional no deja lugar a dudas acerca de quién es el propietario de las tierras y aguas comprendidas en el territorio mexicano. El propietario es la nación y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares.

La infraestructura hidroagrícola de México es vasta, sin embargo, la mayor capacidad de almacenamiento de agua está en las regiones noroeste, centro norte y noreste, y la menor capacidad de almacenamiento de agua se encuentra en la región sur del país.

El reparto agrario se profundizó después de la revolución mexicana. No obstante, de 1900 a 1992, la tierra de riego apenas representó el 3.18% del total; 13.27%, la de temporal; y 83.55%, la de otras (agostadero, monte, desértica e indefinida). En este sentido, el reparto agrario no significó una transformación de las condiciones de producción para los campesinos. Por ello, el desarrollo agrícola de México, en términos generales, es bimodal, el norte practica una agricultura capitalista y el sur una agricultura campesina.

Las regiones administrativas I, II, III y IV (el norte del país), tienen el mayor porcentaje de tenencia privada de la tierra (respecto del total de la misma región), la mayoría

cuenta con sistemas de riego, está muy difundido el uso de tractor, fertilizantes, semillas mejoradas y la mayor parte de su producción se destina al mercado, ya sea nacional o internacional.

En el sur del país gran parte de la producción se destina al autoconsumo, la mayoría de la tierra cultivada es de temporal y el uso de tractor, semillas mejoradas y fertilizantes químicos no están muy difundidos.

Si bien la infraestructura hidroagrícola es vasta, enfrenta problemas de conservación y mantenimiento crecientes. En un intento por revertir esta situación, en 1989 se inició la transferencia de la infraestructura de riego a los usuarios organizados, al mes de abril del año 2000 se les habían transferido totalmente la correspondiente a setenta y dos distritos de riego y siete parcialmente, de los ochenta y dos existentes.

De 1950 hasta 1999 las hectáreas cosechadas bajo la modalidad de riego crecieron 475.34%, en tanto que las de temporal lo hicieron en 85.18%, durante el mismo periodo.

La agricultura bajo la modalidad de riego en México ha hecho contribuciones al desarrollo económico del país, en el sentido que señala *Kuznets*. Pues, la agricultura ha hecho contribuciones de mercado al registrar crecimiento en su propio producto, propiciar que surjan nuevas actividades económicas y participar en el mercado nacional e internacional.

La actividad agrícola es la mayor consumidora de agua respecto del resto de los usos consuntivos en los países con tradición agrícola, como son: Estados Unidos de América, España, Portugal, Grecia, Turquía, China, Chile, entre otros.

Los países miembros de la OCDE, a diferencia de algunos países no desarrollados, subsidian el agua para riego y el suministro continúa en instancias públicas. Asimismo, los

países desarrollados, miembros de la OCDE, han instrumentado mecanismos para que los irrigadores reciban el agua subsidiada, por ejemplo, en Dinamarca los campesinos deducen del pago de sus impuestos los pagos hechos por concepto de agua para riego; en Estados Unidos de América el precio del agua para riego no pretende recuperar la totalidad de los costos y el Congreso de los EUA hace posible que los pagos realizados por los campesinos no exceda su capacidad de pago.

Los países no desarrollados han implementado políticas radicales respecto del agua para riego. Los casos más extremos son los de Chile y China. Chile privatizó todos los servicios y otorgó derechos de propiedad sobre el agua independientemente de la tierra. China, por su parte, otorgó autonomía financiera y administrativa a las agencias encargadas de gestionar el agua para riego en sus provincias, y el gobierno retiró todo tipo de subsidios a los cultivos comerciales, esto es, sigue subsidiando a los productos de consumo masivo.

A pesar de la implementación de políticas de privatización del agua, la transferencia de la infraestructura hidroagrícola a los usuarios y del otorgamiento de derechos de propiedad en algunos países tanto desarrollados como en vías de desarrollo, el Estado continua subsidiando el agua para riego, independientemente del nivel de desarrollo del país del que se trate.

Con base en los principios económicos de la teoría neoclásica de la producción podemos decir que el proceso productivo de los distritos de riego de una región administrativa cualquiera no puede ser comparado con el de otra. Esto es, son procesos no comparables, por que a pesar de ser muy similares, existen diferencias considerables entre ellos, tales como: cultivos, técnicas de riego, tecnología productiva, etcétera.

El mercado en el que se desenvuelve el productor, o el consumidor del agua para riego, se desprende de su estructura productiva, aunque no haya mercado formal alguno. Es

decir, el mercado está determinado por el número de productores o por el número de consumidores o por ambos.

La producción y el consumo del agua para riego pueden ser explicados por la teoría de los mercados en sus casos más extremos. Así, por ejemplo, el *productor del líquido* se desenvuelve en un mercado de monopolio natural. Por su parte, los consumidores conforman un mercado cercano a la competencia perfecta, en el sentido de su carencia de poder de mercado.

El productor del agua para riego es un monopolio natural, por lo tanto, tiene economías de escala considerables y dan lugar a que el costo marginal y el costo medio se intercepten cuando la capacidad productiva está al máximo, lo cual no depende de estrategia productiva alguna, sino de condiciones naturales de precipitación pluvial y de los escurrimientos que se infiltran en los acuíferos.

Para que la economía se desenvuelva en un contexto de eficiencia social no deben existir monopolios, ni externalidades en los procesos productivos o si las hay deben ser internalizadas. En este sentido, el precio propio del agua para riego, más las externalidades negativas o positivas nos acercan a la eficiencia social, pues impiden al *productor del agua* ejercer su poder de monopolio e internalizar las externalidades.

El precio propio del agua para riego, más las externalidades negativas o positivas es un precio de eficiencia social, al amparo del óptimo condicionado (*second best*) de Pareto, porque reduce las distorsiones de precios y las externalidades, así, nos acerca al equilibrio general.

En una economía de mercado, como la mexicana, existen tres tipos de bienes, a saber: privados puros, públicos puro e intermedios. Los bienes privados puros sólo pueden

ser consumidos por quienes los adquieren; los públicos puros, por toda la sociedad, estén de acuerdo o no todos sus miembros; los bienes intermedios todos los que estén en condiciones de hacerlo.

El agua para riego no es un bien o servicio público puro ni un bien o servicio privado puro, es un bien intermedio, y todos los bienes y servicios intermedios se enfrentan al problema del *parásito, cabalgador libre, colero o “gorrón”*. El “gorrón” es todo agente económico que consume un bien o servicio costoso de producir sin pagar por él.

La CNA, dentro de su estructura *monopólica*, no puede soslayar la promoción e inducción del desarrollo social en México. De ahí que, al menos desde el punto de vista económico, no se pueda comportar como un monopolista maximizador de beneficios.

Las obras de cabeza tienen objetivos múltiples y uno de ellos es proporcionar agua para riego, en consecuencia, los costos en los que incurre la CNA por la construcción, operación y mantenimiento de una obra no pueden ser todos atribuibles a la agricultura bajo la modalidad de riego.

El mercado es incapaz de satisfacer las demandas de agua de los productores agrícolas y por ello el Estado debe regular la *producción* de agua para riego y/o *producirla* directamente.

El valor del producto físico marginal del agua utilizada en el riego al nivel nacional representa el 5.69% del valor de la producción agrícola.

El valor del producto físico marginal del agua utilizada en los distritos de riego de la Región Administrativa Pacífico Norte III, para el año de 1999, representó el 5.54% del valor de la producción agrícola.

El valor del producto físico marginal del agua utilizada en los distritos de riego de la Región Administrativa Lerma-Santiago-Pacífico VIII, para el año de 1999, ascendió al 8.48% del valor de la producción agrícola

El valor del producto físico marginal del agua utilizada en los distritos de riego de la Región Administrativa Península de Yucatán XII, para el año de 1999, representó el 3.60% del valor de la producción agrícola

El costo ecológico del agua utilizada en el riego en México se compone del costo por agotamiento y del costo por degradación. El costo por agotamiento se refiere al agua subterránea y el costo por degradación al agua superficial.

Al nivel nacional la actividad agrícola bajo la modalidad de riego consume el 76% del agua utilizada en los usos consuntivos, con base en ello, se estimó el costo ecológico por degradación del agua para 1999 en 4 988 miles de pesos de 1993.

El costo ecológico por agotamiento del agua que se utiliza en el riego al nivel nacional, para 1999, fue de 320 568 miles de pesos de 1993.

El costo ecológico por degradación del agua utilizada en los distritos de riego de la región administrativa III, para 1999, fue de 220.87 miles de pesos de 1993; en tanto, el costo ecológico por agotamiento fue de 16 355.95 miles de pesos de 1993.

El costo ecológico por degradación del agua utilizada en los distritos de riego de la región administrativa VIII, para 1999, fue de 126.80 miles de pesos de 1993; en tanto, el costo ecológico por agotamiento fue de 8 149.95 miles de pesos de 1993.

El costo ecológico por degradación del agua utilizada en los distritos de riego de la región administrativa XII, para 1999, fue de 13.75 miles de pesos de 1993; por su parte, el costo ecológico por agotamiento fue de 883.92 miles de pesos de 1993.

El precio de eficiencia social del agua para riego, ya sea en el ámbito nacional o regional, está compuesto por el valor de su producto físico marginal, por el costo ecológico de agotamiento y por el de degradación. Es necesario destacar que el precio de eficiencia social para el agua de riego fomentará la eficiencia de la CNA y propiciará la conservación del recurso.

El precio de eficiencia social para el agua utilizada en el riego en México durante el año de 1999 fue de 324.792 pesos de 1993 por cada 10 mil m<sup>3</sup>. El valor de su producto físico marginal fue de 274.552; el costo ecológico por agotamiento, de 49.470; y el costo ecológico por degradación, de 0.770, pesos de 1993. Con base en el precio de eficiencia social para el agua utilizada en el riego a escala nacional, el ingreso latente de la CNA es de 2.1 miles de millones de pesos de 1993.

El precio de eficiencia social para el agua utilizada en la actividad agrícola en los distritos de riego de la Región Administrativa Pacífico Norte III para el año de 1999 fue de 420.668 pesos de 1993 por cada 10 mil m<sup>3</sup>. Dicho precio está compuesto por el valor del producto físico marginal del agua, \$ 387.153; el costo ecológico por agotamiento, \$33.068; y el costo ecológico por degradación, \$ 0.447, por cada 10 mil m<sup>3</sup>, y todos los componentes del precio están expresados en pesos de 1993.

El precio de eficiencia social para el agua utilizada en la actividad agrícola en los distritos de riego de la Región Administrativa Lerma-Santiago-Pacífico VIII para el año de 1999 fue de 412.688 pesos de 1993 por cada 10 mil m<sup>3</sup>. Dicho precio está compuesto por el valor del producto físico marginal del agua, \$ 386.421; el costo ecológico por agotamiento, \$ 25.865; y el costo ecológico por degradación, \$ 0.402, por cada 10 mil m<sup>3</sup>, y todos los componentes del precio están expresados en pesos de 1993.

El precio de eficiencia social para el agua utilizada en la actividad agrícola en los distritos de riego de la Región Administrativa Península de Yucatán XII para el año de 1999 fue de 420.092 pesos de 1993 por cada 10 mil m<sup>3</sup>. Dicho precio está compuesto por el valor del producto físico marginal del agua, \$ 342.092; el costo ecológico por agotamiento, \$ 76.878; y el costo ecológico por degradación, \$ 1.196, por cada 10 mil m<sup>3</sup>, y todos los componentes del precio están expresados en pesos de 1993.

El precio de eficiencia social para el agua de riego, propuesto en el presente trabajo, tiene la virtud de moverse en la misma dirección que el devenir del sector agrícola. Así, el *productor del agua*, aún sin participar en mercado alguno, deberá adaptar sus costos de producción y de conservación a las leyes de (los) mercado(s) donde participan los agricultores mexicanos. De igual modo, dicho precio de eficiencia social, reducirá las distorsiones de precios existentes en toda la economía y nos acercará más –al amparo del óptimo condicionado de Pareto (*second best*)– a un contexto de eficiencia social.

Finalmente, los usuarios de riego sí pueden pagar el precio de eficiencia social del agua que utilizan, siempre y cuando estén en condiciones de transferir el incremento de sus costos al precio final de sus productos. Si se instrumentara el cobro del agua para el riego agrícola, es necesario implementar políticas paralelas para no afectar la función beneficios de los productores agrícolas bajo la modalidad de riego.

## **7.2 Recomendaciones**

El devenir económico mexicano es dinámico y cada día es sometido a una competencia creciente, y en la mayoría de los casos desleal. Por ello, es necesario fomentar la construcción y actualización de bases de información oportunas y confiables, compatibles

con los sistemas de contabilidad nacional para facilitar el análisis de su movimiento, la sugerencia de políticas y orientar la toma de decisiones.

Si se instrumenta una política de precios para el agua de riego, con base en las estimaciones del presente trabajo, o con las de otros autores que se ciñan a la metodología propuesta, no se debe dejar de lado la instrumentación de políticas paralelas respecto del mercado interno y del mercado externo, sobre todo para evitar la quiebra de los productores mexicanos que se encuentran produciendo bajo la modalidad de riego.

La mayoría de los instrumentos económicos que alrededor del mundo se proponen, – y en algunos casos se han instrumentado, por ejemplo, en Chile– en relación con el agua para riego, tienen la finalidad de reducir las presiones que enfrenta el gobierno respecto de su presupuesto. Esto es, no consideran las condiciones del productor del agua ni del consumidor y, en sentido estricto, eso no es eficiente, de ahí que ante la posible implementación del cobro del agua para riego en México se torne fundamental la instrumentación de políticas paralelas.

Las políticas paralelas se encaminan a reducir, o a no dejar que se incrementen, las asimetrías entre los diferentes sectores sociales al interior de un país, y entre los productores del mismo sector económico de diferentes países. En suma, al interior del país, el productor del campo que utiliza agua para regar debe tener la capacidad de transferir el incremento de sus costos al precio final de su producto; y ante el sector externo debe ser compensado ya sea por importar o por exportar, si su par externo no paga por el agua de riego.

A la fecha no hay duda alguna acerca de la naturaleza económica del agua y de la creciente competencia por ella entre los diferentes sectores usuarios, sobre todo en las zonas urbanas, por que la instrumentación de una política de precios para el agua de riego es inevitable. Por ello, es necesario realizar estudios como el presente para las otras diez

regiones administrativas en que la CNA ha clasificado al país, puesto que aquí sólo se hizo para tres de ellas.

El presente trabajo de tesis sólo abarca una forma y una técnica de estimación del precio del agua bajo un contexto de eficiencia social. En este sentido, se debe avanzar en los otros métodos y técnicas de estimación para contrastar resultados, y ante todo, proponer se implemente como parte de la política económica aquel que más ayude a superar nuestras limitaciones hidroagrícolas, en particular, y que mejore el bienestar social, en general.

La instrumentación de precios a los bienes o servicios públicos o intermedios, como el agua para cualquier uso (público urbano, industrial, acuacultura, riego, entre otros) es álgida y tiene muchas aristas políticas. De ahí la necesidad de contar con estudios detallados del fenómeno de interés desde el nivel macro hasta el nivel micro y es imprescindible estimar el valor del producto físico marginal del agua utilizada en el riego por tipo y por ciclo de cultivo al nivel nacional, a escala regional y hasta local.

Si bien en los últimos años los instrumentos de mercado han tomado una importancia creciente en relación con los recursos naturales y el medio ambiente, es claro que no son los únicos instrumentos para conservar y sanear el agua, en particular, por eso la estimación de su precio se debe abordar con teorías diferentes a la utilizada en este trabajo.

En la estimación del producto físico marginal del agua para riego se implementaron modelos econométricos de corte transversal y de series de tiempo. No obstante, existen otras técnicas de estimación que se deben utilizar, tales como: modelos de panel y estimaciones no paramétricas.

Si bien los servicios ambientales aguas arriba no se trataron de manera directa en el presente trabajo, y su estudio es fundamental, están incluidos de forma indirecta. Por que el

costo por degradación y el costo por agotamiento garantizan la conservación del agua en cantidad y calidad en sitio, es decir, garantizan, o deberían garantizar, la conservación de los servicios ambientales en torno del agua independientemente si son aguas arriba o aguas abajo.

En este trabajo de tesis se abordó la problemática del agua de la fuente de abastecimiento para abajo. No obstante, es vital tratar el fenómeno de manera directa aguas arriba. Asimismo, se calculó el costo ecológico del agua por abatimiento de los mantos freáticos, pero no los costos por asentamientos, derivado del abatimiento de dichos mantos, y su estudio es necesario.

## Referencias bibliográficas

Acquatella J. *Aplicación de instrumentos económicos en la gestión ambiental en América Latina y el Caribe: desafíos y factores condicionantes*. CEPAL. Serie: medio ambiente y desarrollo 31. Santiago de Chile, enero de 2001, 87 p.

Aguilera-Klink F., Eduardo Pérez-Moriana., y Juan Sánchez-García. 2000. *The social construction of scarcity. The case of water in Tenerife (Canary Islands)*. In: Ecological economics. 34, pp: 233-245.

Asian Development Bank (ADB) e International Irrigation Management Institute. 1986. Irrigation service fees. *Actas del seminario regional sobre cuotas por el servicio de riego* (Manila: ADB, 1986).

Asociación Nacional de Especialistas en Irrigación. 1999. *IX Congreso nacional de irrigación*. Simposio 6. Reglamento de sistemas de riego. Ed: Jaime Collado. 27-29 de octubre. p. iii.

Arrow K. y F. H. Hahn. 1977. Análisis general competitivo. Trad. Eduardo L. Suárez. Ed. FCE. España. 526 p.

Apostol T. (1982). Calculus. Cálculo con funciones de una variable, con una introducción al álgebra lineal. Trad. Francisco Vélez Cantarell. Ed. Reverté. Volumen I. 813 p.

Banco de México. Informe anual. Varios Años.

Baumol W. y W. Oates. 1982. La teoría de la política económica del medio ambiente, Trad. Ana Martínez Pujana. Ed. Antoni Bosch, Barcelona. 325 p.

Becker G. 1997. Teoría económica. Trad. Ana Catalina Mayoral. Ed. FCE. pp: 149-198.

Bunge M. 2000. La investigación científica. Trad. Manuel Sacristán. Siglo veintiuno de España editores. 805 p.

Castillo G. 2000. *Metodología para la determinación del valor del agua para uso agrícola y su aplicación al distrito de riego de Tula, Hidalgo*. Mimeo. 6 p.

CNA. 2001. *Compendio básico del agua en México*. 71 p.

CNA. 1997. *Estrategias del sector hidráulico*. 52 p.

CNA. 2001. *Ley federal de derechos en materia de agua*. 57 p.

CNA-IMTA. 2000. SINHDR. Sistema de información hidroagrícola de distritos de riego. DC.

CNA. *Programa hidráulico 1995-2000*. 59 p.

CNA. 2001. *Programa hidráulico 2001-2006*. 128 p.

Cornes R. y Todd Sandler. 1989. The theory of externalities, public goods, and club goods. Cambridge University Press. 303 p.

Cummings R. and Vahram Nercissiantz. 1992. *The use of water pricing as means for enhancing water use efficiency in irrigation: case studies in Mexico and the United States*, in: Natural Resources Journal. Vol. 32. N°. pp: 731-755.

Dourojeanni A. y Andrei Jouravlev. *Crisis de gobernabilidad en la gestión del agua: desafíos que enfrenta la implementación de las recomendaciones contenidas en el capítulo 18 del Programa 21*. CEPAL. Serie: recursos naturales e infraestructura 35. Santiago de Chile, diciembre de 2001. 83 p.

Easter K. y Robert Hearen. *Water markets and decentralized water resources management: international problems and opportunities*. Water Resources Bulletin. American water resources association. Vol. 31. N°. 1. Febrero de 1995. pp: 9-20.

FAO-ONU. 2001. *El riego propicia la salud*. En <http://www.fao.org/noticias/2001/010305-s.htm>. 22 de marzo. 3 p.

FAO-ONU. 2001. *Agua para alimentar el mundo*. En <http://www.fao.org/noticias/2000/000306-s.htm>. 22 de marzo. 3 p.

Fischer S., Rudiger Dornbusch y Richard Schmalensee. 1991. Economía. Trad. Luis Toharian y Esther Rabasco. México. Ed. McGraw-Hill. 1005 p.

Friedman M. 1993. Teoría de los precios. Trad. José Vergara y José Vergara de San Román. Barcelona, España. Ed. Altaya, Cap. 3. pp: 91-103.

Foladori G. 1999. Los límites del desarrollo sustentable. Ed. Banda Oriental. Revista Trabajo y Capital. 200 p.

Fuss M., D. McFadden and Yair Mundlak. 1978. *A survey of functional forms in the economic analysis of production*. In: Production Economics a Dual Approach to Theory and Applications. M Fuss y D. McFadden eds. (Amsterdam North-Holland).

Gibbons D. 1987. The economic value of water. A study from resources for the future. Washington, DC. 101 p.

Gould J. y Edward L. 2000. Teoría microeconómico. Trad. Eduardo Suárez. México, D.F. Ed. FCE. 870 p.

Gujarati D. 1997. Econometría. Trad. Gladys Arango Medina. Ed. McGraw-Hill. 824 p.

- Greene W. 1993. *Econometric analysis*. Ed. Prentice Hall. 791 p.
- Greene W. 1999. *Análisis econométrico*. Trad. José Antonio Hernández Sánchez, *et. al.*, ed. Prentice Hall. 913 p.
- Greer D. 1992. *Industrial organization and public policy*. USA. Macmillan Publishing Company. pp: 628-653.
- Griffin R. *Effective water pricing*. Forthcoming in the journal of the American water resources association. June 2001. 28 p.
- Charemza W. y Derek F. Deadman. 1992. *New directions in econometric practice*. USA. Edward Elgar Publishing Limited. pp: 116-237.
- INEGI, 1994, Censo agrícola, ganadero y ejidal. DC
- INEGI. 1995. *El ABC de las cuentas nacionales*. 56 p.
- INEGI. 1996. *Sistema de cuentas económicas y ecológicas de México*. 142 p.
- INEGI. 1999. *Sistema de cuentas económicas y ecológicas de México*. 135 p.
- INEGI. 2000. *Sistemas de cuentas económicas y ecológicas de México 1993-1998*. 136 p.
- INEGI. 2000. *Sistemas de cuentas económicas y ecológicas de México 1993-1999*. 136 p.
- Intriligator M. 1990. *Modelos econométricos: técnicas y aplicaciones*. México. Ed. FCE, Cap. 3.
- Jeffrey A. 1987. How dams and wildlife can coexist: natural habitats, agriculture, and major water resource development projects in tropical Asian. In: *Journal of Conservation Biology* 1. N° 3.
- Johnston J., y John DiNardo. 1997. *Econometric methods*. Ed. McGraw Hill. 531 p.
- Jordan J. 1994. *The effectiveness of pricing as a stand-alone water conservation program*. In: *Land Economics*. Vol. 70. N° 2, mayo. pp: 197-209.
- Jouravlev A. *Administración del agua en América Latina y el Caribe en el umbral del siglo XXI*. CEPAL. Serie: recursos naturales e infraestructura 27. Santiago de Chile, julio de 2001. 71 p.
- Koutsoyiannis A. 1985. *Microeconomía moderna*. Trad. Leandro Wolfson y Elsa Kraisman. Ed. Amorrortu. 656 p.
- Lee T. y A. Juravlev. 1998. *Los precios, la propiedad y los mercados en la asignación del agua*. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, Serie Medio Ambiente y Desarrollo 6. 100 p.

- Maddala. 1985. *Econometría*. Trad. Javier Contreras García. Ed. McGraw Hill. 545 p.
- Maddala. 1996. *Introducción a la econometría*. Trad. Juan Carlos Jolly Vallejo. Ed. Prentice Hall. 715 p.
- Madden P. 1986. *Concavidad y optimización*. Trad. Luis Bou. Madrid. Ed. Alianza. pp:177-202
- Mas-Colell A., *et. al.* 1995. *Microeconomic theory*. New York. Oxford University Press. 981 p.
- McCormick Z. 1994. *Institutional barriers to water marketing in the west water*. In: American Water Resources Association. *Water Resources Bulletin*. Vol. 30. N°. 6. pp: 953-961.
- McNally M. 1994. *Water marketing: the case of Indian reserved rights water*. In: American Water Resources Association. *Water Resources Bulletin*. Vol. 30. N°. 6. pp: 963-969.
- Michelsen A. 1994. *Administrative, institutional and structural characteristics of an active water market*. In: American Water Resources Association. *Water Resources Bulletin*. Vol. 30. N°. 6. pp: 971-982.
- Mundlak Y. 2000. *Agriculture and economic growth. Theory and measurement*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts. London, England. 479 p.
- Nicholson W. 1983. *Microeconomía moderna y su aplicación*. Trad. Agustín Cortin Sanz. Ed. Nueva editorial interamericana. pp: 133-150.
- OCDE. 1998. *Agricultural water pricing in OECD countries*. Group on economic and environment policy integration. Paris. 52 p.
- Panayotou T. 1994. *Economía, medio ambiente y desarrollo: debate crecimiento vs conservación*. Trad. Green Markets. Ed. Gernika. México. 217 p.
- Parcker M., *et. al.* 1995. *Use and misuse of complex models: examples from water demand management*. In: American Water Resources Association. *Water Resources Bulletin*. Vol. 31, N°. 2. pp: 257-263.
- Pérez Arata M. A. (compilador). 1993. *Teoría de incentivos y sus aplicaciones: regulación de empresas y subastas*. México. *Lecturas del trimestre económico*. Ed. FCE. 487 p.
- Puente González A. Agosto de 2001. *La agricultura de México antes y después de las reformas económicas. Un análisis nacional y regional en el distrito de riego "Río Yaqui"*. Center for environmental science and policy/ Institute for international studies, Stanford University. 130 p + anexos.
- Quantitative Micro Software. 1994-1998. *E-views user's guide*. 656 p.
- Ramírez G. Luis M. 2000. *Proceso de transferencia y gestión*. Mesa 1. Congreso Internacional de Transferencia de Sistemas de Riego. Enrique Palacios Vélez y Enrique Espinosa de León (editores). 38 p.

Randal A. 1985. Economía de los recursos naturales y política ambiental. Trad. Ricardo Calvet Pérez. Ed. Limusa. 474 p.

Ríos M. y Jorge Quiroz. 1995. *The market for water rights in Chile: major issues*. World Bank Technical Paper. N°. 285.

Robinson J. y John Eatweell. 1992. Introducción a la economía moderna. Trad. Marcial Suárez. Ed. FCE. pp: 109-112

Roemer A. 2000. Derecho y economía: políticas públicas del agua. Ed. Miguel A. Porrua-CIDE-Centro de Estudios de Gobernabilidad y Política Pública, A. C. 311 p.

Santos Ana Laura. 1998. *Metodología para evaluar la distribución de costos e ingresos relacionados con el servicio de riego*. Colegio de Postgraduados. Tesis de maestría. 128 p. + anexos.

Samuelson y Nordhaus. 2002. Economía. Trad. Esther Rabasco y Luis Toharía. Ed. Mac Graw Hill. 701 p.

SEMARNAP-CNA. Octubre de 2000. *El agua en México: retos y avances*. DC.

Shubik M. 1992. Teoría de juegos en las ciencias sociales: conceptos y soluciones. Trad. Catalina Domínguez R. México. Ed. FCE. pp: 111-174.

Solanes M. Servicios públicos y regulación. Consecuencias legales de las fallas de mercado. CEPAL. División de recursos naturales e infraestructura. Santiago de Chile, septiembre de 1999. 72 pp.

Spanos A. 1996. Statistical foundations of econometric modelling. Cambridge University Press. 695 p.

Varian H. 1992. Análisis microeconómico. Trad. María Esther Rabasco y Luis Toharia. Ed. Antoni Bosch, Barcelona, España. 617 p.

Vicker J. y George Yarrow. 1991. Un análisis económico de la privatización. Trad. Eduardo L. Suárez. México. Ed. FCE. 529 p.

Vogelgesang F. Pavimentando el otro sendero: tierras rurales, el mercado y el Estado en América Latina. CEPAL. Red de desarrollo agropecuario. Serie: desarrollo productivo 74. Santiago de Chile, marzo de 2001. 21 pp.

William K. and Robert Hearne. 1995. *Water markets and decentralized water resources management: international problems and opportunities*. In: American Water Resources Association. Water Resources Bulletin. Vol. 31. N°. 1. pp: 9-20.

World Resources Institute e International Institute for Environment and Development, World Resources 1987 (Nueva York: Basic Books, 1987).

**ANEXOS**

## Anexo al capítulo II

Cuadro 2.4.1. Distritos de riego transferidos, situación a abril de 2000

| Nº. | Nombre              | Región (es) | Entidad(es) federativa(s) | Superficie total<br>(miles de ha) | Superficie<br>transferida (%) | Nº. De usuarios |
|-----|---------------------|-------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 001 | Pabellón            | VIII        | Aguascalientes            | 11.9                              | 100                           | 1,987           |
| 002 | Mante               | IX          | Tamaulipas                | 18.1                              | 100                           | 2,323           |
| 003 | Tula                | XIII        | Hidalgo                   | 45.2                              | Sin transferir                | N/D             |
| 004 | Don Martín          | VI          | Nvo. León y Coahuila      | 29.6                              | 100                           | 1,903           |
| 005 | Delicias            | VI          | Chihuahua                 | 75.2                              | 100                           | 9,069           |
| 006 | Palestina           | VI          | Coahuila                  | 13.0                              | 100                           | 1,429           |
| 008 | Metztitlán          | IX          | Hidalgo                   | 4.9                               | 100                           | 2,850           |
| 009 | Valle de Juárez     | VI          | Chihuahua                 | 26.7                              | 36.6                          | 826             |
| 010 | Culiacán-Humalla    | III         | Sinaloa                   | 212.1                             | 100                           | 18,588          |
| 011 | Alto Río Lerma      | VIII        | Guanajuato                | 112.8                             | 100                           | 22,676          |
| 013 | Estado de Jalisco   | VIII        | Jalisco                   | 59.0                              | 90.5                          | 13,668          |
| 014 | Río Colorado        | I           | Baja California y Sonora  | 208.8                             | 100                           | 15,182          |
| 016 | Estado de Morelos   | IV          | Morelos                   | 33.7                              | 84.6                          | 15,407          |
| 017 | Región Lagunera     | VII         | Coahuila y Durango        | 116.1                             | 100                           | 37,639          |
| 018 | Colonias Yaquis     | II          | Sonora                    | 22.8                              | Sin transferir                | N/D             |
| 019 | Tehuantepec         | V           | Oaxaca                    | 43.5                              | 30.9                          | 2,064           |
| 020 | Morelia             | VIII        | Michoacán                 | 20.7                              | 100                           | 5,920           |
| 023 | San Juan del Río    | IX          | Querétaro                 | 11.0                              | 100                           | 2,225           |
| 024 | Ciénega de Chapala  | VIII        | Michoacán                 | 45.2                              | 100                           | 14,881          |
| 025 | Bajo Río Bravo      | VI          | Tamaulipas                | 248.0                             | 100                           | 14,182          |
| 026 | Bajo Río San Juan   | VI          | Tamaulipas                | 86.1                              | 100                           | 4,938           |
| 028 | Tulancingo          | IX          | Hidalgo                   | 0.8                               | 100                           | 406             |
| 029 | Xicoténcatl         | IX          | Tamaulipas                | 24.0                              | 100                           | 1,839           |
| 030 | Valsequillo         | IV, X       | Puebla                    | 33.8                              | 100                           | 13,368          |
| 031 | Las Lajas           | VI          | Nuevo León                | 3.7                               | 100                           | 203             |
| 033 | Estado de México    | VIII        | México                    | 17.5                              | 17.8                          | 3,891           |
| 034 | Estado de Zacatecas | VII, VIII   | Zacatecas                 | 18.1                              | 100                           | 5,843           |
| 035 | La Antigua          | X           | Veracruz                  | 21.9                              | 100                           | 4,556           |
| 037 | Altar Pitiquito     | II          | Sonora                    | 57.6                              | 100                           | 3,111           |
| 038 | Río Mayo            | II          | Sonora                    | 97.0                              | 100                           | 11,563          |
| 041 | Río Yaqui           | II          | Sonora                    | 232.9                             | 100                           | 22,056          |
| 042 | Buenaventura        | VI          | Chihuahua                 | 7.7                               | 100                           | 1,296           |

| N°. | Nombre              | Región (es) | Entidad(es) federativa(s) | Superficie total<br>(miles de ha) | Superficie<br>transferida (%) | N°. De usuarios |
|-----|---------------------|-------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 043 | Estado de Nayarit   | III, VIII   | Nayarit                   | 43.2                              | 100                           | 7,043           |
| 044 | Jilotepec           | XIII        | México                    | 5.5                               | 100                           | 2,150           |
| 045 | Tuxpan              | IV, VIII    | Michoacán                 | 19.4                              | 93.8                          | 6,010           |
| 046 | Cacahoatan-Suchiate | XI          | Chiapas                   | 8.5                               | 100                           | 589             |
| 048 | Ticul               | XII         | Yucatán                   | 9.7                               | 100                           | 6,949           |
| 049 | Río Verde           | IX          | San Luis Potosí           | 2.3                               | 100                           | 1,409           |
| 050 | Acuña-Falcón        | VI          | Tamaulipas                | 6.8                               | 100                           | 293             |
| 051 | Costa de Hermosillo | II          | Sonora                    | 66.3                              | 100                           | 1,957           |
| 052 | Estado de Durango   | III         | Durango                   | 20.9                              | 100                           | 4,189           |
| 053 | Estado de Colima    | VIII        | Colima                    | 32.1                              | 100                           | 2,448           |
| 056 | Atoyac-Zahuapan     | IV          | Tlaxcala                  | 4.2                               | 100                           | 8,302           |
| 057 | Amuco-Cutzamala     | IV          | Guerrero                  | 34.5                              | 100                           | 13,969          |
| 059 | Río Blanco          | XI          | Chiapas                   | 8.4                               | 100                           | 2,380           |
| 060 | El Higo             | IX          | Veracruz                  | 2.3                               | 100                           | 480             |
| 061 | Zamora              | VIII        | Michoacán                 | 18.0                              | 100                           | 4,168           |
| 063 | Guassave            | III         | Sinaloa                   | 100.1                             | 100                           | 14,448          |
| 066 | Santo Domingo       | I           | Baja California Sur       | 38.1                              | 100                           | 1,333           |
| 068 | Tepecoacuilco       | IV          | Guerrero                  | 2.0                               | 100                           | 753             |
| 073 | La Concepción       | XIII        | México                    | 1.0                               | 100                           | 509             |
| 074 | Mocorito            | III         | Sinaloa                   | 40.7                              | 100                           | 5,767           |
| 075 | Río Fuerte          | III         | Sinaloa                   | 227.5                             | 100                           | 21,378          |
| 076 | Valle del Carrizo   | III         | Sinaloa                   | 51.7                              | 100                           | 6073            |
| 081 | Edo. de Campeche    | XII         | Campeche                  | 29.5                              | 100                           | 6,377           |
| 082 | Río Blanco          | X           | Veracruz                  | 14.1                              | 100                           | 1,579           |
| 083 | Papigochi           | II          | Chihuahua                 | 8.9                               | 100                           | 1,011           |
| 084 | Guaymas             | II          | Sonora                    | 16.7                              | 100                           | 2,179           |
| 085 | La Begoña           | VIII        | Guanajuato                | 10.8                              | 100                           | 2,898           |
| 086 | Soto la Marina      | IX          | Tamaulipas                | 35.9                              | 100                           | 3,170           |
| 087 | Rosario-Mezquite    | VIII        | Michoacán                 | 63.1                              | 100                           | 16,816          |
| 088 | Chiconautla         | XIII        | México                    | 4.4                               | Sin Transferir                | N/D             |
| 089 | El Carmen           | VI          | Chihuahua                 | 20.8                              | 100                           | 1,087           |
| 090 | Bajo Río Conchos    | VI          | Chihuahua                 | 10.7                              | 100                           | 1,202           |
| 092 | Río Pánuco          | IX          | S.L.P., Ver., y Tamps.    | 140.7                             | 100                           | 10,713          |
| 093 | Tomatlan            | VIII        | Jalisco                   | 19.8                              | 100                           | 2,864           |
| 094 | Jalisco Sur         | VIII        | Jalisco                   | 16.9                              | 100                           | 2,856           |

| N°. | Nombre             | Región (es) | Entidad(es) federativa(s) | Superficie total<br>(miles de ha) | Superficie<br>transferida (%) | N°. De usuarios |
|-----|--------------------|-------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 095 | Atoyac             | V           | Guerrero                  | 5.0                               | 100                           | 1,121           |
| 096 | Arroyozarco        | IX          | México                    | 18.9                              | 100                           | 6,300           |
| 097 | Lázaro Cárdenas    | IV          | Michoacán                 | 64.3                              | 100                           | 10,261          |
| 098 | José Ma. Morelos   | IV          | Michoacán                 | 5.1                               | 100                           | 1,702           |
| 099 | Quitupan-Magdalena | IV          | Michoacán                 | 5.1                               | 100                           | 1,105           |
| 100 | Alfajayucan        | XIII        | Hidalgo                   | 30.8                              | 51.5                          | 14,331          |
| 101 | Cuxtepeques        | XI          | Chiapas                   | 8.3                               | 100                           | 1,649           |
| 102 | Río Hondo          | XII         | Quintana Roo              | 7.2                               | 100                           | 1,010           |
| 103 | Río Florido        | VI          | Chihuahua                 | 8.7                               | 100                           | 1,358           |
| 104 | Cuajinicuilapa     | V           | Guerrero                  | 6.7                               | 100                           | 1,122           |
| 105 | Nexpa              | V           | Guerrero                  | 14.5                              | 100                           | 3,617           |
| 107 | San Gregorio       | XI          | Chiapas                   | 11.2                              | 100                           | 2,343           |
| 108 | Elota-Piaxtla      | III         | Sinaloa                   | 22.8                              | 100                           | 1,911           |
| s/n | Río Verde-Progreso | V           | Oaxaca                    | 5.0                               | 100                           | 409             |
| 109 | San Lorenzo        | III         | Sinaloa                   | 69.4                              | 100                           | 8,526           |
|     | <b>Total</b>       |             |                           | <b>3,377.9</b>                    | <b>95.3</b>                   | <b>478,003</b>  |

Nota: N/D = Dato no disponible

Fuente: CNA. Enero de 2001. *Compendio básico del agua en México*. pp: 26-28.

## Anexo al capítulo IV

### IV. 1 Deducción formal del equilibrio del monopolista

Sea  $Q = h(P_m)$  la función de la demanda, y  $C = f_2(Q)$  la función de costos del monopolista. Al resolver la función de demanda para  $P_m$ , se tiene  $P_m = f_1(Q)$ . Ahora, puesto que el objetivo del monopolista es maximizar sus beneficios ( $\Pi$ ); esto es,  $\Pi = IT - C$ , donde  $IT$  representa el ingreso total, se tiene:

1. La condición de primer orden para la maximización del beneficio es:

$$(\delta\Pi/\delta Q) = 0 \quad (4.3.1)$$

$$(\delta\Pi/\delta Q) = (\delta IT/\delta Q) - (\delta C/\delta Q) = 0 \quad (4.3.1.a)$$

que equivale a:

$$(\delta IT/\delta Q) = (\delta C/\delta Q) \quad (4.3.1.b)$$

$$I_{mg} = C_{mg} \quad (4.3.1.c)$$

2. La condición de segundo orden para el beneficio máximo es:

$$(\delta^2\Pi/\delta Q^2) < 0 \quad (4.3.2)$$

$$(\delta^2\Pi/\delta Q^2) = (\delta^2 IT/\delta Q^2) - (\delta^2 C/\delta Q^2) < 0 \quad (4.3.2.a)$$

$$(\delta^2 IT/\delta Q^2) < (\delta^2 C/\delta Q^2) \quad (4.3.2.b)$$

$$[\text{Pendiente del ingreso marginal}] < [\text{pendiente del costo marginal}] \quad (4.3.2.c)$$

#### IV. 2 Una demostración formal de la estructura de los costos del monopolio natural

$$C = C_{med} * Q \quad (4.3.3)$$

$$C_{med} = f(Q) \quad (4.3.3.a)$$

$$C_{mg} = (\delta C / \delta Q) = [\delta (C_{med} * Q) / \delta Q] \quad (4.3.3.2)$$

$$C_{mg} = (\delta C / \delta Q) = C_{med} * (\delta Q / \delta Q) + Q * (\delta C_{med} / \delta Q)$$

$$C_{mg} = C_{med} + [(Q) (\text{pendiente de } C_{med})] \quad (4.3.3.2.a)$$

De manera que si la producción (Q) es estrictamente positiva, el costo medio ( $C_{med}$ ) será mayor a cero. Lo cual implica que:

1. Si la pendiente del  $C_{med} < 0$ , entonces el  $C_{mg} < C_{med}$ , lo que se quería demostrar.
2. Si la pendiente del  $C_{med} > 0$ , entonces  $C_{mg} > C_{med}$ .
3. Si la pendiente del  $C_{med} = 0$ , entonces  $C_{mg} = C_{med}$ .

## Anexo estadístico del capítulo VI

Cuadro 6.1. Información utilizada en la estimación de los parámetros de la función de producción de la actividad agrícola bajo la modalidad de riego en México en el ámbito nacional (base 1993).

| <i>Año</i> | <i>Índice físico del volumen de producción agrícola</i> | <i>Índice de las hectáreas de producción agrícola cosechadas bajo la modalidad de riego</i> | <i>Índice físico del volumen de agua utilizado</i> |
|------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1960       | 21.34                                                   | 33.60                                                                                       | 45.79                                              |
| 1961       | 25.57                                                   | 40.93                                                                                       | 46.73                                              |
| 1962       | 25.37                                                   | 37.90                                                                                       | 49.42                                              |
| 1963       | 22.96                                                   | 34.97                                                                                       | 52.32                                              |
| 1964       | 27.66                                                   | 40.85                                                                                       | 59.31                                              |
| 1965       | 29.02                                                   | 41.74                                                                                       | 60.79                                              |
| 1966       | 29.22                                                   | 41.03                                                                                       | 62.74                                              |
| 1967       | 30.32                                                   | 41.83                                                                                       | 63.21                                              |
| 1968       | 33.99                                                   | 45.49                                                                                       | 64.69                                              |
| 1969       | 33.33                                                   | 48.45                                                                                       | 64.49                                              |
| 1970       | 35.79                                                   | 48.03                                                                                       | 67.24                                              |
| 1971       | 38.09                                                   | 48.75                                                                                       | 72.33                                              |
| 1972       | 36.41                                                   | 52.61                                                                                       | 71.39                                              |
| 1973       | 43.18                                                   | 54.87                                                                                       | 73.96                                              |
| 1974       | 45.56                                                   | 59.09                                                                                       | 75.64                                              |
| 1975       | 43.57                                                   | 61.27                                                                                       | 76.12                                              |
| 1976       | 42.82                                                   | 57.38                                                                                       | 75.42                                              |
| 1977       | 76.02                                                   | 89.19                                                                                       | 74.70                                              |
| 1978       | 88.45                                                   | 95.80                                                                                       | 90.03                                              |
| 1979       | 88.84                                                   | 99.47                                                                                       | 84.62                                              |
| 1980       | 85.43                                                   | 91.17                                                                                       | 93.02                                              |
| 1981       | 88.01                                                   | 99.81                                                                                       | 100.26                                             |
| 1982       | 78.98                                                   | 100.46                                                                                      | 95.10                                              |
| 1983       | 90.35                                                   | 124.23                                                                                      | 98.06                                              |
| 1984       | 95.16                                                   | 120.64                                                                                      | 101.15                                             |
| 1985       | 91.51                                                   | 105.08                                                                                      | 106.75                                             |
| 1986       | 86.80                                                   | 101.59                                                                                      | 101.16                                             |
| 1987       | 71.76                                                   | 98.22                                                                                       | 103.94                                             |
| 1988       | 73.28                                                   | 94.95                                                                                       | 98.46                                              |
| 1989       | 88.02                                                   | 104.04                                                                                      | 97.04                                              |
| 1990       | 85.82                                                   | 98.29                                                                                       | 106.15                                             |
| 1991       | 95.60                                                   | 102.02                                                                                      | 106.33                                             |
| 1992       | 90.83                                                   | 99.59                                                                                       | 98.72                                              |
| 1993       | 100.00                                                  | 100.00                                                                                      | 100.00                                             |
| 1994       | 98.12                                                   | 107.63                                                                                      | 100.90                                             |
| 1995       | 87.30                                                   | 98.62                                                                                       | 101.91                                             |
| 1996       | 86.02                                                   | 98.79                                                                                       | 103.13                                             |
| 1997       | 84.06                                                   | 102.69                                                                                      | 103.51                                             |

| <i>Año</i> | <i>Índice físico del<br/>volumen de<br/>producción agrícola</i> | <i>Índice de las hectáreas de producción<br/>agrícola cosechadas bajo la<br/>modalidad de riego</i> | <i>Índice físico del<br/>volumen de agua<br/>utilizado</i> |
|------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1998       | 90.71                                                           | 97.27                                                                                               | 104.07                                                     |
| 1999       | 97.79                                                           | 94.30                                                                                               | 104.64                                                     |

Elaboración propia con base en información de INEGI.

Fuente: INEGI. Enero de 1999. *Estadísticas históricas de México*. Tomo I. págs. 363 y 364.

La información de 1996-1999 se tomó de: SAGARPA. Enero de 2002. "Sistema de información agropecuaria de consulta (SIACON)". En: [siea.sagarpa.gob.mx](http://siea.sagarpa.gob.mx)

Cuadro 6.1.1.1. Información utilizada en la estimación de los parámetros de la función de producción de los distritos de riego pertenecientes a la Región Administrativa Pacífico Norte III.

| <i>Cultivos</i> | <i>Variación de las hectáreas cosechadas en 1999 respecto de 1998</i> | <i>Variación de la lámina neta de riego en 1999 respecto de 1998</i> | <i>Índice del volumen físico de la producción en 1999 respecto de 1998 base 1993</i> |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Arroz           | 22.26                                                                 | 117.16                                                               | 26.54                                                                                |
| Avena forrajera | 156.09                                                                | 75.09                                                                | 59.05                                                                                |
| Avena grano     | 228.00                                                                | 79.42                                                                | 205.32                                                                               |
| Caña            | 100.00                                                                | 100.00                                                               | 99.52                                                                                |
| Chile           | 79.17                                                                 | 98.77                                                                | 29.38                                                                                |
| Frijol          | 83.55                                                                 | 114.36                                                               | 33.72                                                                                |
| Hortalizas      | 301.29                                                                | 79.40                                                                | 296.66                                                                               |
| Maíz            | 42.94                                                                 | 83.19                                                                | 47.19                                                                                |
| Sorgo           | 75.21                                                                 | 85.98                                                                | 68.75                                                                                |
| Soya            | 3.31                                                                  | 57.42                                                                | 3.44                                                                                 |
| Tomate          | 34.48                                                                 | 231.40                                                               | 51.47                                                                                |
| Trigo           | 65.57                                                                 | 89.46                                                                | 63.08                                                                                |
| Ajo             | 18.18                                                                 | 58.87                                                                | 13.57                                                                                |
| Alfalfa         | 85.63                                                                 | 96.34                                                                | 75.32                                                                                |
| Algodón         | 69.24                                                                 | 107.08                                                               | 53.06                                                                                |
| Arroz           | 61.77                                                                 | 66.13                                                                | 206.86                                                                               |
| Avena forrajera | 65.92                                                                 | 90.11                                                                | 60.10                                                                                |
| Avena grano     | 21.17                                                                 | 85.17                                                                | 111.75                                                                               |
| Calabaza        | 121.73                                                                | 106.70                                                               | 97.60                                                                                |
| Caña            | 100.20                                                                | 105.30                                                               | 111.91                                                                               |
| Cártamo         | 1178.91                                                               | 122.39                                                               | 1017.44                                                                              |
| Cebolla         | 198.09                                                                | 101.49                                                               | 206.49                                                                               |
| Chile           | 259.60                                                                | 80.30                                                                | 183.08                                                                               |
| Ejote           | 185.78                                                                | 117.70                                                               | 36.68                                                                                |
| Flor            | 774.00                                                                | 103.94                                                               | 770.26                                                                               |
| Flor Forrajera  | 111.14                                                                | 96.46                                                                | 176.29                                                                               |
| Forraje         | 85.31                                                                 | 75.63                                                                | 231.83                                                                               |
| Frijol          | 138.29                                                                | 113.97                                                               | 142.42                                                                               |
| Frutales        | 82.20                                                                 | 72.40                                                                | 143.57                                                                               |
| Garbanzo        | 335.03                                                                | 106.50                                                               | 278.78                                                                               |
| Hortalizas      | 133.33                                                                | 93.04                                                                | 154.86                                                                               |
| Maíz            | 58.10                                                                 | 94.81                                                                | 60.45                                                                                |
| Nogal           | 69.72                                                                 | 70.11                                                                | 45.79                                                                                |
| Papa            | 103.58                                                                | 94.50                                                                | 89.93                                                                                |
| Pastos          | 118.18                                                                | 122.58                                                               | 134.72                                                                               |
| Pepino          | 154.78                                                                | 105.59                                                               | 95.19                                                                                |
| Pradera         | 114.25                                                                | 56.99                                                                | 80.74                                                                                |
| Sandia          | 83.65                                                                 | 126.92                                                               | 50.94                                                                                |
| Sorgo           | 80.06                                                                 | 106.50                                                               | 291.64                                                                               |

| <i>Cultivos</i> | <i>Variación de las hectáreas cosechadas en 1999 respecto de 1998</i> | <i>Variación de la lámina neta de riego en 1999 respecto de 1998</i> | <i>Índice del volumen físico de la producción en 1999 respecto de 1998 base 1993</i> |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Tomate          | 121.00                                                                | 92.76                                                                | 84.69                                                                                |
| Tomatillo       | 125.17                                                                | 87.83                                                                | 159.05                                                                               |
| Trigo           | 70.01                                                                 | 89.70                                                                | 0.52                                                                                 |

Fuente: elaboración propia con base en información de CNA-IMTA. 2000. Sistema de información hidroagícola de distritos de riego (SINHDR), DC.

Cuadro 6.1.1.2. Información utilizada en la estimación de los parámetros de la función de producción de los distritos de riego pertenecientes a la Región Administrativa Lerma-Santiago-Pacífico VIII.

| <i>Cultivos</i> | <i>Variación de las hectáreas cosechadas en 1999 respecto de 1998</i> | <i>Variación de la lámina neta de riego en 1999 respecto de 1998</i> | <i>Índice del volumen físico de la producción en 1999 respecto de 1998 base 1993</i> |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Aguacate        | 440.00                                                                | 141.19                                                               | 4509.60                                                                              |
| Ajo             | 485.71                                                                | 95.14                                                                | 592.73                                                                               |
| Alfalfa         | 136.27                                                                | 94.22                                                                | 71.71                                                                                |
| Arroz           | 42.44                                                                 | 156.26                                                               | 62.03                                                                                |
| Avena           | 304.70                                                                | 131.74                                                               | 489.49                                                                               |
| Avena Forrajera | 541.38                                                                | 85.50                                                                | 646.92                                                                               |
| Brócoli         | 13.33                                                                 | 213.97                                                               | 6.92                                                                                 |
| Cacahuete       | 5000.00                                                               | 19.61                                                                | 7829.16                                                                              |
| Calabaza        | 205.08                                                                | 71.17                                                                | 180.33                                                                               |
| Caña            | 98.19                                                                 | 101.36                                                               | 123.20                                                                               |
| Cebada          | 5753.25                                                               | 87.07                                                                | 4958.53                                                                              |
| Cebolla         | 143.60                                                                | 50.65                                                                | 148.26                                                                               |
| Chile           | 442.98                                                                | 23.82                                                                | 82.69                                                                                |
| Forraje         | 139.80                                                                | 103.74                                                               | 51.75                                                                                |
| Fresa           | 127.60                                                                | 86.51                                                                | 219.12                                                                               |
| Fríjol          | 739.31                                                                | 58.39                                                                | 1281.56                                                                              |
| Frutales        | 120.73                                                                | 116.56                                                               | 361.24                                                                               |
| Garbanzo        | 11.76                                                                 | 262.50                                                               | 15.93                                                                                |
| Gladiolo        | 154.05                                                                | 173.44                                                               | 182.93                                                                               |
| Guayabo         | 283.33                                                                | 79.58                                                                | 939.88                                                                               |
| Hortalizas      | 61.41                                                                 | 102.79                                                               | 85.84                                                                                |
| Jicama          | 1065.00                                                               | 299.11                                                               | 1000.32                                                                              |
| Jitomate        | 224.03                                                                | 73.98                                                                | 150.71                                                                               |
| Limón           | 114.18                                                                | 99.11                                                                | 168.10                                                                               |
| Maíz            | 154.54                                                                | 124.79                                                               | 165.80                                                                               |
| Mango           | 52.84                                                                 | 192.78                                                               | 29.81                                                                                |
| Melón           | 120.00                                                                | 73.68                                                                | 246.83                                                                               |
| Olleto          | 83.39                                                                 | 90.57                                                                | 109.75                                                                               |
| Palma           | 121.45                                                                | 108.46                                                               | 115.89                                                                               |
| Pastos          | 112.84                                                                | 95.08                                                                | 148.49                                                                               |
| Pepino          | 3933.33                                                               | 70.83                                                                | 5991.30                                                                              |
| Plátano         | 143.17                                                                | 99.77                                                                | 65.80                                                                                |
| Pradera         | 92.82                                                                 | 99.12                                                                | 9.42                                                                                 |
| Sandia          | 351.52                                                                | 64.21                                                                | 700.25                                                                               |
| Sorgo           | 196.15                                                                | 75.15                                                                | 221.27                                                                               |
| Tomate          | 116.02                                                                | 121.42                                                               | 78.32                                                                                |
| Trébol          | 100.00                                                                | 124.12                                                               | 99.52                                                                                |
| Trigo           | 140.98                                                                | 105.89                                                               | 152.66                                                                               |
| Zanahoria       | 278.00                                                                | 117.53                                                               | 278.14                                                                               |

| <i>Cultivos</i> | <i>Variación de las hectáreas cosechadas en 1999 respecto de 1998</i> | <i>Variación de la lámina neta de riego en 1999 respecto de 1998</i> | <i>Índice del volumen físico de la producción en 1999 respecto de 1998 base 1993</i> |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Zarzamora       | 100.00                                                                | 80.47                                                                | 31.02                                                                                |
| Aguacate        | 68.18                                                                 | 283.82                                                               | 39.61                                                                                |
| Ajo             | 408.33                                                                | 38.08                                                                | 425.25                                                                               |
| Alfalfa         | 203.65                                                                | 205.19                                                               | 111.76                                                                               |
| Arroz           | 64.14                                                                 | 108.92                                                               | 59.33                                                                                |
| Avena           | 96.11                                                                 | 116.93                                                               | 11.98                                                                                |
| Avena Forrajera | 181.53                                                                | 81.23                                                                | 383.25                                                                               |
| Brócoli         | 1218.00                                                               | 273.18                                                               | 2424.22                                                                              |
| Calabaza        | 166.18                                                                | 94.03                                                                | 108.19                                                                               |
| Caña            | 88.25                                                                 | 96.66                                                                | 85.74                                                                                |
| Cártamo         | 85.32                                                                 | 73.86                                                                | 95.86                                                                                |
| Cebada          | 2700.91                                                               | 69.49                                                                | 3541.25                                                                              |
| Cebolla         | 258.40                                                                | 142.42                                                               | 77.10                                                                                |
| Ciruelo         | 54.84                                                                 | 105.54                                                               | 63.58                                                                                |
| Col             | 64.00                                                                 | 138.61                                                               | 49.81                                                                                |
| Chayote         | 92.62                                                                 | 110.81                                                               | 113.12                                                                               |
| Chile           | 130.87                                                                | 92.83                                                                | 86.93                                                                                |
| Durazno         | 171.43                                                                | 126.15                                                               | 162.05                                                                               |
| Ejote           | 4232.50                                                               | 67.11                                                                | 4884.95                                                                              |
| Elote           | 49.49                                                                 | 130.30                                                               | 37.87                                                                                |
| Forraje         | 129.68                                                                | 111.77                                                               | 21.99                                                                                |
| Fresa           | 107.58                                                                | 95.16                                                                | 126.04                                                                               |
| Frijol          | 176.26                                                                | 106.37                                                               | 173.07                                                                               |
| Frutales        | 37.41                                                                 | 105.54                                                               | 40.23                                                                                |
| Garbanzo        | 187.04                                                                | 100.59                                                               | 410.24                                                                               |
| Gladíolo        | 90.91                                                                 | 74.49                                                                | 210.73                                                                               |
| Guayabo         | 167.51                                                                | 103.78                                                               | 166.55                                                                               |
| Haba            | 375.60                                                                | 63.21                                                                | 350.96                                                                               |
| Haba Verde      | 183.33                                                                | 100.00                                                               | 189.74                                                                               |
| Hortalizas      | 81.67                                                                 | 114.70                                                               | 96.22                                                                                |
| Jana margo      | 81.32                                                                 | 96.69                                                                | 113.30                                                                               |
| Jicama          | 80.86                                                                 | 140.94                                                               | 63.32                                                                                |
| Jitomate        | 119.64                                                                | 106.08                                                               | 112.26                                                                               |
| Lechuga         | 70.00                                                                 | 99.82                                                                | 220.41                                                                               |
| Lenteja         | 1105.97                                                               | 117.27                                                               | 916.47                                                                               |
| Maíz            | 77.00                                                                 | 130.29                                                               | 85.30                                                                                |
| Mango           | 925.00                                                                | 205.45                                                               | 14.97                                                                                |
| Melón           | 166.14                                                                | 75.78                                                                | 121.32                                                                               |
| Papa            | 61.24                                                                 | 102.36                                                               | 111.43                                                                               |
| Pastos          | 112.75                                                                | 83.81                                                                | 142.13                                                                               |
| Pepino          | 33.33                                                                 | 90.67                                                                | 25.14                                                                                |
| Pera            | 100.00                                                                | 85.66                                                                | 120.98                                                                               |

| <i>Cultivos</i> | <i>Variación de las hectáreas cosechadas en 1999 respecto de 1998</i> | <i>Variación de la lámina neta de riego en 1999 respecto de 1998</i> | <i>Índice del volumen físico de la producción en 1999 respecto de 1998 base 1993</i> |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Plantero Tabaco | 115.50                                                                | 59.91                                                                | 109.80                                                                               |
| Plátano         | 83.63                                                                 | 108.71                                                               | 115.28                                                                               |
| Pradera         | 122.00                                                                | 106.02                                                               | 131.33                                                                               |
| Sandia          | 97.15                                                                 | 157.92                                                               | 48.95                                                                                |
| Sorgo           | 97.48                                                                 | 147.04                                                               | 76.25                                                                                |
| Tabaco          | 80.00                                                                 | 107.47                                                               | 78.06                                                                                |
| Tomate          | 181.72                                                                | 128.34                                                               | 241.00                                                                               |
| Trigo           | 174.72                                                                | 115.11                                                               | 31.33                                                                                |
| Zanahoria       | 237.61                                                                | 145.38                                                               | 272.06                                                                               |

Fuente: elaboración propia con base en información de CNA-IMTA, 2000. Sistema de información hidroagrícola de distritos de riego (SINHDR), DC.

Cuadro 6.1.1.3. Información utilizada en la estimación de los parámetros de la función de producción de los distritos de riego pertenecientes a la Región Administrativa Península de Yucatán XII.

| <i>Cultivos</i> | <i>Variación de las hectáreas cosechadas en 1999 respecto de 1998</i> | <i>Variación de la lámina neta de riego en 1999 respecto de 1998</i> | <i>Índice del volumen físico de la producción en 1999 respecto de 1998 base 1993</i> |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Arroz           | 225.55                                                                | 183.13                                                               | 241.91                                                                               |
| Cacahuate       | 94.59                                                                 | 99.05                                                                | 112.97                                                                               |
| Caña            | 107.03                                                                | 0.16                                                                 | 122.37                                                                               |
| Frijol          | 101.56                                                                | 100.51                                                               | 106.98                                                                               |
| Hortalizas      | 114.29                                                                | 102.42                                                               | 123.67                                                                               |
| Maíz            | 101.74                                                                | 93.26                                                                | 97.75                                                                                |
| Naranja         | 107.56                                                                | 99.34                                                                | 105.72                                                                               |
| Cacahuate       | 138.46                                                                | 103.52                                                               | 136.90                                                                               |
| Caña            | 100.00                                                                | 41.51                                                                | 134.41                                                                               |
| Hortalizas      | 94.85                                                                 | 101.02                                                               | 96.95                                                                                |
| Hortalizas      | 23.24                                                                 | 107.38                                                               | 26.48                                                                                |
| Jitomate        | 105.00                                                                | 105.45                                                               | 108.03                                                                               |
| Maíz            | 103.46                                                                | 101.54                                                               | 106.99                                                                               |
| Maíz            | 2.48                                                                  | 104.28                                                               | 4.16                                                                                 |
| Sandia          | 97.90                                                                 | 100.63                                                               | 94.32                                                                                |
| Sandia          | 32.01                                                                 | 101.20                                                               | 29.91                                                                                |
| Tomate          | 101.60                                                                | 100.22                                                               | 137.07                                                                               |

Fuente: elaboración propia con base en información de CNA-IMTA. 2000. Sistema de información hidroagrícola de distritos de riego (SINHDR), DC.

## Anexo estadístico del capítulo VI, inciso 6.1

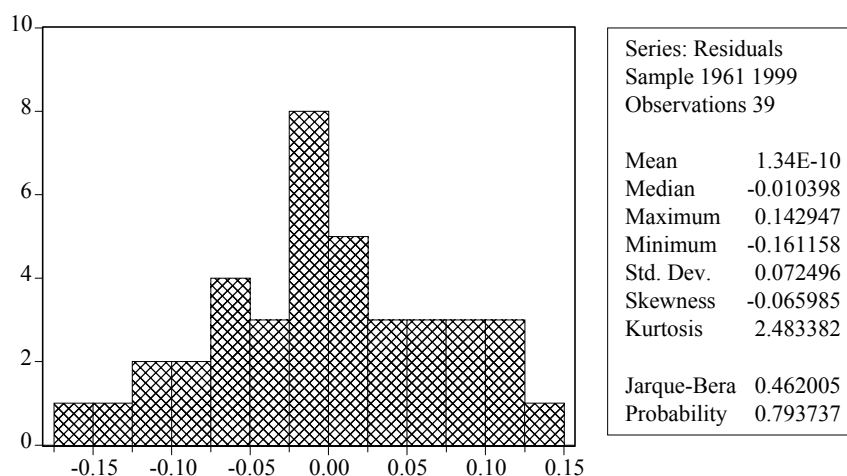
Pruebas econométricas del modelo de la función producción al nivel nacional.

Dependent Variable: LQM

Sample(adjusted): 1961 1999

| Variable           | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.  |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|--------|
| C                  | -0.156090   | 0.097106              | -1.607414   | 0.1167 |
| LHM                | 0.926436    | 0.111914              | 8.278087    | 0.0000 |
| AR(1)              | 0.852443    | 0.090841              | 9.383859    | 0.0000 |
| R-squared          | 0.934805    | Mean dependent var    | -0.339951   |        |
| Adjusted R-squared | 0.931183    | S.D. dependent var    | 0.283925    |        |
| S.E. of regression | 0.074482    | Akaike info criterion | -2.282711   |        |
| Sum squared resid  | 0.199713    | Schwarz criterion     | -2.154744   |        |
| Log likelihood     | 47.51286    | F-statistic           | 258.0928    |        |
| Durbin-Watson stat | 1.874316    | Prob(F-statistic)     | 0.000000    |        |
| Inverted AR Roots  | .85         |                       |             |        |

Prueba de normalidad



Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:

|               |          |             |          |
|---------------|----------|-------------|----------|
| F-statistic   | 1.539120 | Probability | 0.229148 |
| Obs*R-squared | 3.237786 | Probability | 0.198118 |

ARCH Test:

|               |          |             |          |
|---------------|----------|-------------|----------|
| F-statistic   | 0.600658 | Probability | 0.443388 |
| Obs*R-squared | 0.623623 | Probability | 0.429704 |

White Heteroskedasticity Test:

|               |          |             |          |
|---------------|----------|-------------|----------|
| F-statistic   | 1.097816 | Probability | 0.344507 |
| Obs*R-squared | 2.241871 | Probability | 0.325975 |

Ramsey RESET Test:

|                      |          |             |          |
|----------------------|----------|-------------|----------|
| F-statistic          | 2.323300 | Probability | 0.136435 |
| Log likelihood ratio | 2.506520 | Probability | 0.113376 |

Pruebas econométricas del modelo de la función producción para los distritos de riego pertenecientes a la Región Administrativa Pacífico Norte III.

Dependent Variable: QM  
Included observations: 42  
QM=C(1)\*HM^C(2)

|                    | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.    |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|----------|
| C(1)               | 1.353959    | 0.654008              | 2.070250    | 0.0449   |
| C(2)               | 0.963392    | 0.042521              | 22.65679    | 0.0000   |
| R-squared          | 0.923171    | Mean dependent var    |             | 14620.88 |
| Adjusted R-squared | 0.921251    | S.D. dependent var    |             | 21684.52 |
| S.E. of regression | 6085.173    | Akaike info criterion |             | 20.31155 |
| Sum squared resid  | 1.48E+09    | Schwarz criterion     |             | 20.39429 |
| Log likelihood     | -424.5425   | F-statistic           |             | 480.6400 |
| Durbin-Watson stat | 2.170302    | Prob(F-statistic)     |             | 0.000000 |

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:

|               |          |             |          |
|---------------|----------|-------------|----------|
| F-statistic   | 0.337228 | Probability | 0.715860 |
| Obs*R-squared | 0.512791 | Probability | 0.773836 |

ARCH Test:

|               |          |             |          |
|---------------|----------|-------------|----------|
| F-statistic   | 0.012171 | Probability | 0.912718 |
| Obs*R-squared | 0.012792 | Probability | 0.909951 |

White Heteroskedasticity Test:

|               |          |             |          |
|---------------|----------|-------------|----------|
| F-statistic   | 0.146889 | Probability | 0.863865 |
| Obs*R-squared | 0.314011 | Probability | 0.854699 |

Pruebas econométricas del modelo de la función producción para los distritos de riego pertenecientes a la Región Administrativa Lerma-Santiago-Pacífico VIII.

Dependent Variable: LQM

Included observations: 89

| Variable           | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.    |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|----------|
| C                  | 0.090568    | 0.798679              | 0.113397    | 0.9100   |
| LHM                | 0.983152    | 0.081579              | 12.05153    | 0.0000   |
| R-squared          | 0.625386    | Mean dependent var    |             | 9.658558 |
| Adjusted R-squared | 0.621081    | S.D. dependent var    |             | 1.333693 |
| S.E. of regression | 0.820974    | Akaike info criterion |             | 2.465564 |
| Sum squared resid  | 58.63780    | Schwarz criterion     |             | 2.521489 |
| Log likelihood     | -107.7176   | F-statistic           |             | 145.2393 |
| Durbin-Watson stat | 1.796527    | Prob(F-statistic)     |             | 0.000000 |

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:

|               |          |             |          |
|---------------|----------|-------------|----------|
| F-statistic   | 0.970255 | Probability | 0.383143 |
| Obs*R-squared | 1.986479 | Probability | 0.370375 |

ARCH Test:

|               |          |             |          |
|---------------|----------|-------------|----------|
| F-statistic   | 0.234657 | Probability | 0.629324 |
| Obs*R-squared | 0.239461 | Probability | 0.624596 |

White Heteroskedasticity Test:

|               |          |             |          |
|---------------|----------|-------------|----------|
| F-statistic   | 2.214741 | Probability | 0.115372 |
| Obs*R-squared | 4.359462 | Probability | 0.113072 |

Pruebas econométricas del modelo de la función producción para los distritos de riego pertenecientes a la Región Administrativa Península de Yucatán XII.

Dependent Variable: LQM

Included observations: 17

| Variable           | Coefficient | Std. Error            | t-Statistic | Prob.     |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|-----------|
| C                  | 0.380842    | 0.113596              | 3.352617    | 0.0044    |
| LHM                | 0.965713    | 0.013218              | 73.05918    | 0.0000    |
| R-squared          | 0.997198    | Mean dependent var    |             | 8.350082  |
| Adjusted R-squared | 0.997011    | S.D. dependent var    |             | 2.391528  |
| S.E. of regression | 0.130753    | Akaike info criterion |             | -1.120884 |
| Sum squared resid  | 0.256445    | Schwarz criterion     |             | -1.022859 |
| Log likelihood     | 11.52752    | F-statistic           |             | 5337.643  |
| Durbin-Watson stat | 2.166259    | Prob(F-statistic)     |             | 0.000000  |

ARCH Test:

|               |          |             |          |
|---------------|----------|-------------|----------|
| F-statistic   | 1.744341 | Probability | 0.209369 |
| Obs*R-squared | 1.774587 | Probability | 0.182815 |

White Heteroskedasticity Test:

|               |          |             |          |
|---------------|----------|-------------|----------|
| F-statistic   | 1.593684 | Probability | 0.237920 |
| Obs*R-squared | 3.152620 | Probability | 0.206737 |

Ramsey RESET Test:

|                      |          |             |          |
|----------------------|----------|-------------|----------|
| F-statistic          | 1.645056 | Probability | 0.220463 |
| Log likelihood ratio | 1.888659 | Probability | 0.169353 |

## Anexo estadístico del capítulo VI, inciso 6.2

### Información primaria

Cuadro 6.2.1. Esquema del Sistema de Cuentas Nacionales de México ampliado con balances de activos y ajustes por degradación del aire, agua y tierra (miles de pesos)

#### **Contaminación del agua al nivel nacional.**

| <i>año</i> | <i>Degradación del agua</i> |
|------------|-----------------------------|
| 1985       | 15 611                      |
| 1986       | 15 952                      |
| 1987       | 16 229                      |
| 1988       | 16 652                      |
| 1989       | 16 989                      |
| 1990       | 17 248                      |
| 1991       | 17 468                      |
| 1992       | 17 760                      |
| 1993       | 18 015                      |
| 1994       | 18 139                      |
| 1995       | 18 513                      |
| 1996       | 18 889                      |
| 1997       | 19 215                      |
| 1998       | 19 705                      |
| 1999       | 20 159                      |

Fuente: INEGI. 1996. Sistemas de cuentas económicas y ecológicas de México 1985-1992. pp: 61-68.

Fuente: INEGI. 1999. Sistemas de cuentas económicas y ecológicas de México 1988-1996. pp: 87-95.

Fuente: INEGI. 2000. Sistemas de cuentas económicas y ecológicas de México 1993-1998. pp: 71-76.

Fuente: INEGI. 2000. Sistemas de cuentas económicas y ecológicas de México 1993-1999. pp: 85-93.

Cuadro 6.2.2. Deflactor implícito del producto interno bruto al nivel nacional, base 1993.

| <i>Año</i> |        |
|------------|--------|
| 1985       | 7.52   |
| 1986       | 12.84  |
| 1987       | 30.77  |
| 1988       | 39.90  |
| 1989       | 50.50  |
| 1990       | 64.80  |
| 1991       | 79.80  |
| 1992       | 91.30  |
| 1993       | 100.00 |
| 1994       | 108.30 |
| 1995       | 149.30 |
| 1996       | 195.27 |
| 1997       | 229.75 |
| 1998       | 265.44 |
| 1999       | 307.18 |

Fuente: Banco de México. Informe anual. Varios años.

Cuadro 6.2.3. Contaminación del agua al nivel nacional y en la actividad agrícola bajo la modalidad de riego en México.

| <i>Año</i>  | <i>Contaminación del agua<br/>del agua al nivel<br/>nacional, miles de pesos<br/>de pesos<br/>de 1993</i> | <i>Proporción de agua que<br/>utiliza en la actividad<br/>agrícola respecto del total<br/>utilizado a escala nacional</i> | <i>Degradación del<br/>agua<br/>utilizada en la<br/>actividad<br/>agrícola bajo riego.</i> |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1985        | 207 464.80                                                                                                | 0.76                                                                                                                      | 157 673                                                                                    |
| 1986        | 124 193.70                                                                                                | 0.76                                                                                                                      | 94 387                                                                                     |
| 1987        | 52 737.37                                                                                                 | 0.76                                                                                                                      | 40 080                                                                                     |
| 1988        | 41 734.34                                                                                                 | 0.76                                                                                                                      | 31 718                                                                                     |
| 1989        | 33 641.58                                                                                                 | 0.76                                                                                                                      | 25 568                                                                                     |
| 1990        | 26 617.28                                                                                                 | 0.76                                                                                                                      | 20 229                                                                                     |
| 1991        | 21 889.72                                                                                                 | 0.76                                                                                                                      | 16 636                                                                                     |
| 1992        | 19 452.35                                                                                                 | 0.76                                                                                                                      | 14 784                                                                                     |
| 1993        | 18 015.00                                                                                                 | 0.76                                                                                                                      | 13 691                                                                                     |
| 1994        | 16 748.85                                                                                                 | 0.76                                                                                                                      | 12 729                                                                                     |
| 1995        | 12 399.87                                                                                                 | 0.76                                                                                                                      | 9 424                                                                                      |
| 1996        | 9 673.46                                                                                                  | 0.76                                                                                                                      | 7 352                                                                                      |
| 1997        | 8 363.58                                                                                                  | 0.76                                                                                                                      | 6 356                                                                                      |
| 1998        | 7 423.62                                                                                                  | 0.76                                                                                                                      | 5 642                                                                                      |
| <b>1999</b> | <b>6 562.56</b>                                                                                           | <b>0.76</b>                                                                                                               | <b>4 988</b>                                                                               |

Elaboración propia con base en la información de los cuadros 6.2.1 y 6.2.2 del presente anexo.

Cuadro 6.2.4. Uso de agua subterránea en la actividad agrícola bajo la modalidad de riego en México, miles de pesos corrientes.

| <i>año</i> |         |
|------------|---------|
| 1985       | 15 616  |
| 1986       | 29 488  |
| 1987       | 85 181  |
| 1988       | 148 645 |
| 1989       | 197 817 |
| 1990       | 140 003 |
| 1991       | 216 178 |
| 1992       | 233 894 |
| 1993       | 210 715 |
| 1994       | 325 642 |
| 1995       | 420 489 |
| 1996       | 724 553 |
| 1997       | 787 376 |
| 1998       | 820 064 |
| 1999       | 927 724 |

Fuente: INEGI. 1996. Sistemas de cuentas económicas y ecológicas de México 1985-1992. pp: 105-112.

Fuente: INEGI. 1999. Sistemas de cuentas económicas y ecológicas de México 1988-1996. pp: 143-151.

Fuente: INEGI. 2000. Sistemas de cuentas económicas y ecológicas de México 1993-1998. pp: 107-112.

Fuente: INEGI. 2000. Sistemas de cuentas económicas y ecológicas de México 1993-1999. pp: 127-141.

Cuadro 6.2.5. Uso de agua subterránea por parte de la actividad agrícola en el ámbito nacional en miles de pesos de 1993.

| <i>año</i> |         |
|------------|---------|
| 1985       | 322 423 |
| 1986       | 313 850 |
| 1987       | 407 343 |
| 1988       | 394 528 |
| 1989       | 356 427 |
| 1990       | 186 671 |
| 1991       | 242 081 |
| 1992       | 241 626 |
| 1993       | 210 715 |
| 1994       | 300 131 |
| 1995       | 283 922 |
| 1996       | 316 952 |
| 1997       | 283 841 |
| 1998       | 284 744 |
| 1999       | 320 568 |

Fuente: Elaboración propia con base en información del cuadro 6.2.2 y del 6.2.4 del presente anexo.

Cuadro 6.2.6. Proporción de la utilización de tecnología a escala regional respecto del total nacional.

| <i>Tecnología</i>            | <i>Región III</i> | <i>Región VIII</i> | <i>Región XII</i> |
|------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Fertilizantes químicos       | 0.06032           | 0.18299            | 0.02229           |
| Fertilizantes orgánicos      | 0.04164           | 0.20553            | 0.01604           |
| Pesticidas                   | 0.07220           | 0.18850            | 0.03857           |
| <b>Promedio geométrico *</b> | <b>0.05660</b>    | <b>0.19210</b>     | <b>0.02398</b>    |

Nota: \* Estas participaciones relativas se utilizaron como ponderadores para obtener el costo por degradación del agua utilizada en los distritos de riego a escala regional.

Fuente: elaboración propia con base en el XI censo agrícola y ganadero del INEGI, 1994 y con la regionalización de la CNA:

Cuadro 6.2.7. Número de Pozos al nivel nacional y a escala regional y las proporciones regionales respecto del total de pozos existentes al nivel nacional, información correspondiente al año de 1999.

|             | <i>Número de pozos</i> | <i>Proporción de pozos respecto del total nacional</i> |
|-------------|------------------------|--------------------------------------------------------|
| Nacional    | 7 585                  | 100.00                                                 |
| Región III  | 387                    | 0.051 *                                                |
| Región VIII | 2 040                  | 0.269 *                                                |
| Región XII  | 1 009                  | 0.133 *                                                |

Nota: \* Estas participaciones relativas se utilizaron como ponderadores para obtener el costo por agotamiento del agua utilizada en los distritos de riego a escala regional.

Fuente: elaboración propia con base en la información de CNA-IMTA, 2000. SINHDR. Sistema de información hidroagrícola de distritos de riego. DC.

## Glosario<sup>93</sup>

**Activos ambientales no producidos.** Son de origen natural y comprenden a todos aquellos que sin formar parte del proceso productivo sí son afectados por él. Además, poseen características tales que no es posible establecer algún derecho de propiedad sobre ellos, por ejemplo, el aire y los océanos.

**Activos económicos no producidos.** Son todos aquellos utilizados en la producción, pero no provenientes de proceso productivo alguno y comprende a los activos de origen natural, como el suelo, los bosques, los depósitos de minerales, entre otros.

**Activos económicos producidos.** Son aquellos bienes surgidos de procesos comprendidos dentro de la frontera de producción del sistema económico y se refiere a las construcciones, a la maquinaria y al equipo, así como al ganado reproductor, mejoras de tierra, tratamiento de aguas, entre otros.

**Activos totales.** La suma de los activos económicos producidos y no producidos más los activos ambientales no producidos.

**Activos totales al término de un periodo.** Los activos totales al final de un lapso determinado, generalmente un año.

---

<sup>93</sup> Todos los conceptos y categoría se encuentran en el texto del presente trabajo de tesis. Sin embargo, para el lector que quiera abundar en ellos se le sugiere consultar a: Samuelson y Nordhaus. 2002. Economía. Trad. Esther Rabasco y Luis Toharía. Ed. Mac Graw Hill. pp: 651-668; INEGI. 2000. Sistema de cuentas económicas y ecológicas de México, 1993-1998. pp: 5-14; e INEGI. 1995. El ABC de las Cuentas Nacionales pp: 5-19.

**Acumulación neta de activos ambientales.** Representa los cambios o afectaciones en la cantidad y calidad de los activos ambientales derivados de la actividad económica.

**Acumulación neta de activos económicos.** Comprende los cambios en los activos producidos y las modificaciones que registran los activos económicos no producidos – petróleo y recursos naturales en general (no incluye los activos ambientales no producidos) –.

**Agotamiento de los activos ambientales.** Son estimaciones monetarias que representan el desgaste o pérdida de los recursos naturales no producidos como consecuencia de su utilización (explotación) en el proceso productivo.

**Agotamiento de los activos económicos no producidos.** Representa el agotamiento de los activos económicos, tales como la disminución de los recursos naturales por su explotación y que prácticamente no es posible recuperar (recursos naturales no renovables); por ejemplo, el agotamiento de las minas y del petróleo.

**Agotamiento de los activos no producidos.** Estimaciones monetarias que representan el desgaste o pérdida de los recursos naturales no producidos como consecuencia de su utilización (explotación) en el proceso productivo.

**Agua en unidades físicas.** El agua medida en metros cúbicos, hectómetros cúbicos o kilómetros cúbicos.

**Beneficios.** Diferencia entre los ingresos derivados de las ventas y el costo total de oportunidad de los recursos utilizados para producir los bienes o servicios.

**Cambios en los activos ambientales no producidos.** Modificación en la cantidad y calidad de los activos ambientales no producidos como consecuencia de su utilización (explotación) en el proceso de producción o por ser afectados indirectamente por ésta.

**Cambios en los activos económicos no producidos.** Modificaciones en la cantidad de los activos económicos no producidos como resultado de su utilización (explotación) en el proceso de producción.

**Cantidad disponible de un bien privado.** Volumen ofrecido, por parte de una empresa privada, de un bien que tiene la característica de ser excluyente –su consumo por parte de un individuo excluye del consumo a los demás, por ejemplo, un pan–.

**Cantidad disponible de un bien público.** Volumen ofrecido, por parte del sector público o de una empresa privada regulada por el Estado, de un bien que no tiene la característica de ser excluyente –su consumo por parte de un individuo no excluye del consumo a los demás, por ejemplo, el alumbrado público–.

**Capital.** Consiste en los bienes duraderos producidos que se utilizan a su vez en la producción. En la teoría económica, es uno de los tres factores productivos (tierra, trabajo y capital).

**Consumo final.** Gasto total realizado por los individuos o por el país en un periodo dado, generalmente un año. En la práctica, los gastos de consumo incluyen todos los bienes de consumo comprados, muchos de los cuales duran un periodo mucho más largo.

**Consumo intermedio.** Materias primas (combustibles, semillas, energía eléctrica, entre otros) utilizadas en el proceso de producción.

**Costo marginal.** Costo adicional (o aumento del costo total) necesario para producir una unidad adicional de un bien o servicio.

**Costo medio.** Costo total dividido por el número de unidades producidas.

**Costos por agotamiento.** Son estimaciones monetarias que representan el desgaste o pérdida de los recursos naturales como consecuencia de su utilización en el proceso productivo.

**Costos por degradación.** Son estimaciones monetarias del monto de las erogaciones requeridas para restaurar el deterioro del medio ambiente –erosión del suelo, contaminación del agua y del aire (activos ambientales)–, ocasionados por las actividades económicas.

**Degradación de activos ambientales.** Daño o deterioro que sufren los activos no producidos (aire, agua y suelo) que se reflejan en su calidad, como resultado de la acción del hombre y/o por la acción de fenómenos naturales (desastres naturales e incendios, entre otros).

**Demanda.** Gasto total planeado o deseado en la economía en un periodo dado.

**Eficiencia en la asignación.** Situación en la que ninguna reorganización ni comercio podría aumentar la utilidad o la satisfacción de una persona sin reducir la de alguna otra. En determinadas situaciones limitadas, la competencia perfecta lleva a la eficiencia en la asignación. También llamada eficiencia en el sentido de Pareto.

**Eficiencia productiva.** Situación en la que una economía no puede producir una cantidad mayor de un bien sin producir una menor cantidad de otro; significa que la economía se encuentra en su frontera de posibilidades de producción.

**Eficiencia.** Ausencias de despilfarro o utilización de los recursos económicos que reportan el máximo nivel de satisfacción posible con los factores y la tecnología dados. Expresión abreviada de eficiencia en la asignación.

**Formación bruta de capital.** Es el total de bienes de capital que se agregan a la economía en un periodo determinado.

**Ingreso marginal.** Es el ingreso adicional que se obtendría si la empresa comprara una unidad adicional de un factor, la pusiera a trabajar y vendiera el producto adicional obtenido. En condiciones de competencia perfecta el ingreso marginal es igual al precio de mercado del producto.

**Ingreso total.** Precio multiplicado por cantidad, es decir, ventas totales.

**Inversión en los activos económicos no producidos.** Es la transferencia de activos ambientales a actividades económicas; tal es el caso de la transferencia de suelo y reservas minerales al uso en actividades económicas.

**Inversión neta.** Es el cambio en el acervo de capital, y es igual a la inversión bruta menos la depreciación.

**Lámina bruta.** Lámina de agua, utilizada para el riego de una hectárea, considerada al nivel fuente de abastecimiento, se mide en centímetros.

**Lámina neta.** Lámina de agua, utilizada para el riego de una hectárea, considerada al nivel toma granja del usuario, se mide en centímetros.

**Materias primas.** Otra forma de referirse al consumo intermedio.

**Precio de eficiencia social.** Retribución de los factores productivos igual al aporte que hacen a la producción.

**Precio de la tierra.** Lo que se paga de renta en un periodo determinado por usar la tierra propiedad de otro agente económico.

**Precio de mercado en un contexto competitivo.** Precio que vacía el mercado en condiciones de equilibrio en un marco de competencia perfecta y es igual al ingreso marginal.

**Precio de mercado.** Costo monetario de un bien, un servicio o un activo. El precio que vacía el mercado indica que las ofertas y las demandas se satisfacen a ese precio.

**Precio de monopolio.** Se presenta en condiciones de competencia imperfecta y está por encima del ingreso marginal. En competencia perfecta el precio y el ingreso marginal son iguales.

**Precio del agua.** Costo monetario por unidad de agua. En condiciones de eficiencia social equivale al valor del producto físico marginal del agua cuando es utilizada como insumo.

**Precio del capital.** Lo que se paga de renta por usar capital. Para la teoría económica de la escuela neoclásica equivale a la tasa de interés.

**Precio del producto final.** Costo monetario de un bien o un servicio. Se mide en unidades monetarias por unidad del bien o servicio.

**Producción bruta total.** Representa la suma total del valor de los bienes y servicios producidos por una sociedad, independientemente de que se trate de insumos (es el producto interno bruto más el consumo intermedio).

**Producción en términos físicos.** Cantidad total de una mercancía producida en unidades físicas, como toneladas de maíz.

**Producto físico marginal.** Producción adicional resultante de utilizar una unidad adicional de un factor específico cuando todos los demás se mantienen constantes. También recibe el nombre de producto marginal.

**Rendimientos de escala.** Tasa a la que aumenta la producción cuando se incrementan proporcionalmente todos los factores productivos.

**Reevaluación de los activos ambientales.** Los activos ambientales no producido dejan de ser considerados como bienes libres y de oferta ilimitada para adquirir la categoría de bienes escasos y se les asigna un valor monetario, el cual se ajusta con base en sus cambios en cantidad y calidad resultantes de la actividad económica.

**Reevaluación de los activos económicos no producidos.** Los activos económicos no producido ya no se consideran como bienes libres y de oferta ilimitada para adquirir la categoría de bienes escasos y se les asigna un valor monetario, el cual se ajusta de acuerdo con sus cambios en cantidad y calidad resultantes de la actividad económica.

**Reevaluación de los activos económicos producidos.** Representa el cambio en el balance de los activos económicos producidos derivado de su utilización en el proceso de producción.

**Tasa marginal de sustitución técnica.** Proporción en la que un factor productivo puede ser sustituido por otro (es la pendiente de una isocuanta).

**Tasa marginal de transformación.** Medida que indica cómo se transforma un bien (insumo) en otro mediante la reasignación de los factores de la producción.

**Valor agregado.** Diferencia entre el valor de los bienes producidos y el costo de los insumos intermedios que se utilizaron para producirlos.

**Valor del producto físico marginal del insumo  $i$ .** Es el producto físico marginal del insumo  $i$  utilizado en el proceso productivo multiplicado por el precio de mercado del bien en el que contribuye a su formación.

**Volumen de producción de competencia perfecta.** Cantidad producida de un bien o servicio en condiciones competitivas, generalmente, es superior al volumen producido en condiciones de competencia imperfecta.

**Volumen de producción del monopolio.** Cantidad producida de un bien o servicio en condiciones de competencia imperfecta, generalmente, es inferior al volumen producido en condiciones competitivas.