

# TRAYECTORIA TECNOLÓGICA Y USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA ARGENTINA BAJO RIEGO

## TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT AND WATER USE IN ARGENTINE AGRICULTURE UNDER IRRIGATION

Omar Miranda

EEA San Juan del INTA. Calle 11 y Vidart. (5427) Villa Aberastain, San Juan, Argentina  
(omiranda@sanjuan.inta.gov.ar)

### RESUMEN

Se estudiaron tres elementos que influyen en la dinámica de la elección tecnológica de los sistemas de riego agrícola. En primer lugar, el nivel de escasez de recursos hídricos; la disponibilidad de agua depende tanto de factores climáticos que afectan los acuíferos superficiales y subterráneos como de condiciones deficientes de suministro en las redes públicas. Uno de los caminos para hacer frente a la escasez es la adopción de riego por goteo, el cual permite hacer un uso más eficiente del agua. En segundo lugar, la reestructuración productiva de los oasis irrigados del oeste del país, inducida por hábitos de consumo de alimentos saludables y hedónicos; el paquete tecnológico asociado a los nuevos cultivos incluye al riego por goteo, el cual forma parte de técnicas de producción innovadoras que tienen como denominador común mayor intensidad de capital y mayor productividad de la mano de obra. Finalmente el tamaño de las fincas; la presencia de indivisibilidades en los equipos de riego hace que disminuya su costo por hectárea a medida que aumenta la superficie regada.

**Palabras clave:** Argentina, elección tecnológica, riego agrícola.

### INTRODUCCIÓN

El riego es el destino principal de los recursos hídricos que se utilizan en la Argentina. Del total anual de agua consumida en el país, 70% se emplea en la agricultura, y en las provincias áridas esta cifra llega a más de 90% (Banco Mundial, 2000). La tenencia de derechos de agua, las normas de distribución de los turnos de riego y la tecnología utilizada, son elementos fundamentales para explicar las formas de uso del agua en las zonas de regadío. A pesar de ello, hay pocos estudios socioeconómicos enfocados a entender esta problemática. Abundan, en cambio, los trabajos sobre aspectos agronómicos y técnicos de este recurso. Tal vez el lugar central del factor de producción tierra en la agricultura de la Pampa Húmeda indujo cierto desinterés por reflexionar acerca del agua para riego en el conjunto de relaciones sociales en la agricultura del árido. Una tarea pendiente, entonces, es estudiar los vínculos existentes entre el agua, la elección tecnológica, las instituciones y la estructura de producción que predomina en estas zonas.

### ABSTRACT

Three elements which influence the dynamic in technological selection of agricultural irrigation systems were studied. In the first place, the level of scarcity of water resources; the availability of water depends both on climate factors that affect superficial and underground aquifers, and on conditions of deficient supply through public networks. One of the paths to face this scarcity is adopting drip irrigation, which allows a more efficient use of water. In the second place, productive restructuring of oases irrigated to the west of the country, induced by habits of consumption of healthy and hedonic foods; the technological package associated with new crops includes drip irrigation, which is part of innovating production techniques that have a greater capital intensity and better productivity by the workforce as common denominator. Finally, the size of the farms; the presence of indivisibilities in irrigation equipment makes their cost per hectare decrease as the surface irrigated increases.

**Key words:** Argentina, technological election, agricultural irrigation.

### INTRODUCTION

Irrigation is the main destination of water resources used in Argentina. Out of the total annual water consumed in the country, 70% is used in agriculture, and in the arid provinces this figure is more than 90% (Banco Mundial, 2000). Possession of water rights, distribution norms of irrigation shifts, and the technology used are all fundamental elements to explain the ways water is used in irrigation zones. In spite of this, there are few socioeconomic studies focused on understanding this problematic. There is an abundance, instead, of works regarding agronomic and technical aspects of this resource. It could be that the central role of land production in the Pampa Húmeda agriculture induced a certain degree of disinterest over reflecting about water used for irrigation in the set of social relations in arid zones' agriculture. A pending task, then, is studying the existent links between water, technological selection, institutions and the production structure that predominates in these zones.

En Argentina hay atraso en las innovaciones institucionales para adaptar los códigos de agua provinciales tanto a los avances tecnológicos y de gestión del riego, como a las necesidades de consumo de la población (Miranda, 2008). Desde la construcción de los primeros canales para riego en el país, el agua utilizada en la agricultura ha sido provista para satisfacer la demanda. Además, el control de las aguas provinciales ha sido un medio de poder y una palanca política en los territorios áridos. Las instituciones y leyes de irrigación fueron establecidas para proteger la primacía de los intereses agrícolas y, en algunas provincias, determinaron las divisiones políticas internas (Genini, 2000). En general, respondieron a la legislación española antigua (Marianetti, 1948; Soldano, 1923) y hasta hoy no se han adaptado a las necesidades de uso de agua de los sectores urbanos e industriales de estas regiones. En la actualidad se aplican códigos de agua provinciales que son el legado de una estructura de normas y regulaciones que se desarrolló cuando la oferta de agua era mayor que la demanda.<sup>1</sup> De esta manera se cristalizó un sistema de tenencia y distribución de derechos de riego que dificulta la flexibilidad del patrón de uso dominante. Es probable, además, que las ineficiencias sean mayores cuando el agua está restringida a usos que no son de alto valor, como ocurre en muchas zonas agrícolas.<sup>2</sup>

A pesar del rezago en los arreglos institucionales, el cambio tecnológico en la agricultura bajo riego siguió una dinámica diferente. Si bien continúan predominando los sistemas de riego tradicionales, es decir, por inundación y por surco,<sup>3</sup> ocurrió un importante proceso de modernización en el cual cambiaron los fundamentos de la elección tecnológica en el riego de los cultivos del árido. Aunque se ha dicho que las innovaciones fueron impulsadas por beneficios impositivos (Miranda, 2002), por los avances en las técnicas de bombeo y presurización de agua (Chambouleyron, 1980) y por la disponibilidad de insumos para distribución, fertirriego y filtrado de agua, este es un proceso mucho más complejo que es necesario entender. Una de las tecnologías que más se difundió en el país es el riego por goteo.<sup>4</sup> La misma tiene aspectos positivos que se refieren al ahorro de agua y que también involucran componentes del cálculo económico agrícola. Entre las ventajas se destacan (i) el uso más eficiente de agua y fertilizantes, con el consecuente impacto en las finanzas del agricultor y en el medio ambiente, (ii) una menor necesidad de mano de obra por unidad de producto, (iii) la posibilidad de utilizar suelos marginales y agua con alto tenor salino, y (iv) menor desarrollo de malezas en los alrededores de los cultivos (Keller y Bliesner, 1990).

En este trabajo se hizo una interpretación de la elección tecnológica en la agricultura argentina bajo

In Argentina, there is a delay in institutional innovations to adapt provincial water codes both for technological advances and irrigation management, and for consumption needs of the population (Miranda, 2008). Since the construction of the first irrigation channels in the country, water used in agriculture has been supplied to satisfy the demand. In addition, control of provincial water has been a means for power and a political lever in arid territories. Institutions and irrigation laws were established to protect the supremacy of agricultural interests and, in some provinces, they determined internal political divisions (Genini, 2000). In general, they responded to ancient Spanish legislation (Marianetti, 1948; Soldano, 1923) and until today, they have not been adapted to the water use needs of urban and industrial sectors in these regions. Currently, provincial water codes are applied, which are the legacy of a structure of norms and regulations that was developed when water offer was greater than the demand.<sup>1</sup> Thus, a property and distribution system of irrigation rights was crystallized, which hinders the flexibility of the dominant use pattern. It is likely, in addition, that inefficiencies become greater when water is restricted to uses that are not of high value, as occurs in many agricultural zones.<sup>2</sup>

In spite of the delay in institutional arrangements, technological change in agriculture under irrigation followed a different dynamic. Although traditional irrigation systems still predominate, that is, by flooding and furrow,<sup>3</sup> an important modernization process occurred where the foundations of technological selection in arid crop irrigation changed. Even though it has been said that innovations were driven by tax benefits (Miranda, 2002), from advances in pumping and water pressure techniques (Chambouleyron, 1980), and by the availability of inputs for distribution, fertirrigation and water filtering, this is a much more complex process that should be understood. One of the technologies that was most well-spread in the country is drip irrigation.<sup>4</sup> It has positive aspects related to water saving, which also involve components of agricultural economic calculation. Among the advantages, the following stand out: (i) more efficient use of water and fertilizers, with the consequent impact on the farmer's finances and the environment, (ii) lower need for workforce per unit of product, (iii) the possibility of using marginal soils and water with a high salt content, and (iv) less development of weeds around the crops (Keller and Bliesner, 1990).

In this study, we present an interpretation of the technological selection in Argentine agriculture under irrigation through the analysis of agronomic

riego a través del análisis de variables agronómicas y económicas. Para ello se determinaron los regímenes climáticos del territorio argentino en los cuales la dinámica de la adopción de nuevos sistemas de riego fue más importante, el tamaño de las explotaciones que usan esta tecnología y el tipo de cultivo en el cual se aplica. Las principales dimensiones que afectan la elección tecnológica en la agricultura son la institucional, la económica y la agroecológica (Shrestha y Gopalakrishnan, 1993; Castwel y Zilberman, 1986; 1985). Por tanto, intentar explicar la adopción de nuevas tecnologías de riego a partir de la articulación de la mirada agronómica con la social (Allub, 1993), la histórica (Hérin, 1990), la cultural (Boelens y Dávila, 1998), la económica (Gibbons, 1986), la institucional (Guillet, 1990) o la simbólica (Palerm y Wolf, 1972), permite conocer mejor los mecanismos que influyen sobre los procesos de cambio tecnológico en el uso del agua para riego.

Los datos se obtuvieron mediante entrevistas realizadas en 2001 a gerentes de las principales empresas distribuidoras de tecnología de riego del país,<sup>5</sup> en las que se buscó conocer las ventas anuales de equipos de riego por goteo<sup>6</sup> durante el período 1986-2001, separadas por hectáreas instaladas por provincia y por cultivo. El universo de estudio fue el área agrícola en la cual se adoptó riego por goteo: un total de 125 137 ha según el Censo Nacional Agropecuario de 2002. La muestra generó información de 911 explotaciones que adoptaron riego por goteo en una superficie de 79 668 ha durante el período 1986-2001, lo cual representa 40% del total de unidades y 64% del área con esta tecnología, según datos del Censo Nacional Agropecuario 2002 (INDEC, 2006). El tamaño de la muestra permitió extrapolar las conclusiones al universo de estudio con una confianza de 95.5% para la hipótesis  $p=50\%$  y un margen de error de  $\pm 3\%$  (Arkin, 1982).

## EL RIEGO EN ARGENTINA

Desde principios del siglo XX existe un estancamiento en la evolución del área nacional cultivada bajo riego. Por aquellos años existían 1 380 000 ha regadas en todo el país (Soldano, 1923); mientras que los datos más recientes indican que en 1988 había 1 159 409 ha regadas (República Argentina, 1992)<sup>7</sup> y en 2001 1 355 600 ha (INDEC, 2006). En el último relevamiento nacional, el grupo de cultivos con mayor participación en el área regada es el de los frutales (426 884 ha), seguido por cereales y oleaginosas (348 352 ha), alfalfa (226 247 ha), hortalizas (185 946 ha) y cultivos industriales (168 173 ha), entre los que se destaca la caña de azúcar con 121 289 ha. Sin embargo, con algo más de 4% de la superficie agrícola nacional, los

and economic variables. For this purpose, climate regimes of the Argentine territory where the dynamic in adoption of new irrigation systems was most important are determined, as well as the size of farms that use this technology and the type of crop where it is applied. The main dimensions that affect technological selection in agriculture are: institutional, economic and agroecologic (Shrestha and Gopalakrishnan, 1993; Castwel and Zilberman, 1986, 1985). Therefore, trying to explain the adoption of new irrigation technologies from articulation of agronomic and social (Allub, 1993), historical (Hérin, 1990), cultural (Boelens and Dávila, 1998), economic (Gibbons, 1986), institutional (Guillet, 1986) or symbolic (Palerm and Wolf, 1972) points of view allow a better understanding of the mechanisms that influence technological change processes in water use for irrigation.

Data were obtained through interviews carried out in 2001, with managers of the primary distributing companies for irrigation technology in the country,<sup>5</sup> where we sought to explore the annual sales of drip irrigation equipment<sup>6</sup> during the period 1986-2001, separated by hectares installed per province and per crop. The study universe was the agricultural area where drip irrigation was adopted, which entails a total of 125 137 ha, according to the Censo Nacional Agropecuario from 2002. The sample generated information on 911 farms that adopted drip irrigation over a surface of 79 668 ha during the period of 1986-2001, which represents 40% of the total units and 64% of the area with this technology, according to data of the Censo Nacional Agropecuario from 2002 (INDEC, 2006). The size of the sample allowed to extrapolate the conclusions to the population, with a confidence level of 95.5 for the hypothesis  $p=50\%$ , with a margin error of  $\pm 3\%$  (Arkin, 1982).

## IRRIGATION IN ARGENTINA

Since the beginning of the 20th Century, there is stagnation in the evolution of the national cultivated area under irrigation. In those years, there were 1 380 000 irrigated ha in the whole country (Soldano, 1923), while the most recent data indicate that in 1988 there were 1 159 409 irrigated ha (República Argentina, 1992)<sup>7</sup> and in 2001, 1 355 600 ha (INDEC, 2006). In the last national census, the group of crops with highest participation in the irrigated area was fruit trees (426 884 ha), followed by cereals and oils seeds (348 352 ha), alfalfa (226 247 ha), vegetables (185 946 ha) and industrial crops (168 173 ha), among which sugar cane stands out with 121 289 ha. However, with little more than 4% of the agricultural national

cultivos irrigados contribuyen con casi 30% del valor bruto de la producción del sector (Fiorentino, 2005). Si se completara las obras de infraestructura básica disponibles y si se mejorara la eficiencia actual de riego, esa superficie podría ampliarse a 1 923 000 ha (Banco Mundial, 2000). Por otra parte, la superficie cultivable potencial bajo riego de acuerdo con la disponibilidad de recursos hídricos superficiales y subterráneos es de 6 128 000 ha (INTA, 1986), de las cuales sólo 2 500 000 pueden habilitarse para riego integral y las restantes son aptas para riego complementario (GWP, 2000). Si bien esto indicaría que hay un gran potencial de expansión, en muchos casos se requiere de inversiones de gran envergadura para entregar agua en las áreas a incorporar.

En el Cuadro 1 se muestra la distribución territorial del área irrigada por régimen climático (RC) según el Índice Hídrico de Burgos y Vidal (Ruggiero y Conti, 1988). El RC Árido incluye las zonas de riego de las provincias de Catamarca, La Rioja, San Juan y Mendoza, ubicadas en el centro-oeste del país, con precipitaciones anuales inferiores a 400 mm. Estas zonas tienen aridez extrema, siendo imposible la agricultura sin riego. El RC Semiárido incluye las zonas de riego del norte de la Patagonia y de las provincias de Salta, Jujuy, Córdoba, Tucumán y Buenos Aires, con precipitaciones entre 400 y 1000 mm. Si bien en algunas zonas es posible la siembra de cultivos extensivos de secano, el área presenta lluvias estacionales que hacen necesario el riego para completar el ciclo agrícola. El RC Húmedo abarca zonas de más de 1000 mm de precipitación, sin estar libre de eventuales sequías. El área se encuentra en el noreste del país, comprendiendo las provincias de Buenos Aires, Entre Ríos, Corrientes, Misiones y este de Formosa y Santiago del Estero.

En cuanto a la distribución territorial del riego, mientras que diez años atrás el uso de recursos hídricos en territorios con régimen climático húmedo era 14% de la superficie regada del país (SAGyP, 1995) en la actualidad es 30%, concentrándose gran parte en la región pampeana. Si bien todavía predomina el uso de sistemas por surco y por inundación (56% del área irrigada en regímenes climáticos húmedos), es de esperarse que en la medida que se sostenga el aumento del precio de la tierra, continúe difundiéndose el uso de técnicas de riego presurizado para agricultura extensiva. A mediados de la década pasada comenzó a difundirse el riego complementario en el cultivo de granos, en particular maíz y, en forma incipiente, se adoptaron sistemas de riego presurizado del tipo pivote central, cañones aspersores y líneas de avance frontal (Morábito *et al.*, 1998). Sin embargo, esto no tuvo un gran desarrollo debido a los precios deprimidos

surface, irrigated crops contribute almost 30% of the gross value of production in the sector (Fiorentino, 2005). If works on basic infrastructure available were finished, and if current irrigation efficiency were improved, this surface could be extended to 1 923 000 ha (Banco Mundial, 2000). On the other hand, the potential arable surface under irrigation based on the availability of superficial and underground water resources is 6 128 000 ha (INTA, 1986), out of which only 2 500 000 can be equipped for integral irrigation and the rest are apt for complementary irrigation (GWP, 2000). Although this would indicate that there is a great potential for expansion, in many cases very large investments are required in order to deliver water to the areas to be incorporated.

Table 1 shows the territorial distribution of the area irrigated by a climate regimen (CR), according to the Índice Hídrico de Burgos y Vidal (Ruggiero y Conti, 1988). The Arid CR includes irrigation zones in the provinces of Catamarca, La Rioja, San Juan and Mendoza, located in the central-west area of the country, with annual precipitation of less than 400 mm. These zones have extreme aridity, making agriculture without irrigation impossible. The Semi-arid CR includes irrigation zones in the north of Patagonia and in the provinces of Salta, Jujuy, Córdoba, Tucumán and Buenos Aires, with precipitation between 400 and 1000 mm. Even though extensive seasonal crop cultivation is possible in some zones, the area presents seasonal rains that make irrigation necessary to complete the agricultural cycle. The Humid CR includes zones of more than 1000 mm precipitation, although they are not free of occasional droughts. The area is found in the northeast of the country, comprising the provinces of Buenos Aires, Entre Ríos, Corrientes, Misiones and eastern Formosa and Santiago del Estero.

In terms of the territorial distribution of irrigation, while ten years ago the use of water resources in

**Cuadro 1. Superficie agrícola irrigada (en hectáreas) discriminada por régimen climático y sistema de riego.**

**Table 1. Agricultural surface irrigated (in ha) separated by climatic regimen and irrigation system.**

Régimen climático	Gravitacional (ha)	Presurizado (ha)		Total bajo riego	
		Aspersión	Goteo	(ha)	(%)
Árido	446 665	27 243	86 674	562 582	42
Semiárido	267 984	99 586	16 003	383 573	28
Húmedo	231 927	154 532	22 461	408 920	30
Total país	946 575 (70%)	281 361 (21%)	125 137 (9%)	1 355 600	100

Fuente: elaboración propia con datos de INDEC (2006).

de los granos en los años posteriores, siendo la mixta papera la única zona pampeana que tiene una superficie importante en la que se utiliza riego presurizado. El origen principal del agua en los territorios con régimen climático húmedo son los acuíferos subterráneos, no existiendo redes públicas de distribución del agua para riego superficial. Las tierras presentan menores problemas de deterioro de suelos por mal uso del riego que las de regímenes climáticos áridos, lo cual se debe al tipo de agricultura extensiva que se practica. Se destaca el cultivo irrigado de arroz en la provincia de Corrientes y, en menor medida, el de hortalizas y frutales.

La agricultura de regímenes climáticos semiáridos y áridos tiene lugar principalmente en los oasis irrigados del oeste del país. La zona con riego sistematizado más importante se encuentra en las provincias de Mendoza y San Juan; juntas tienen más de 300 000 ha irrigadas con sistemas gravitacionales y 43 000 con goteo. En esta región se realizaron los mayores avances tecnológicos en el uso del agua para riego. En la provincia de San Juan, por ejemplo, casi toda la red de riego superficial está impermeabilizada desde los años 70. El uso combinado del agua superficial y subterránea alcanza un porcentaje importante en ambas provincias. Predomina el cultivo de especies frutales para la industria, como la vid (*Vitis vinifera*) para vinificar y el olivo (*Olea europaea*). También existen cultivos hortícolas, en especial cebolla (*Allium sativa*), ajo (*Allium cepa*) y tomate (*Lycopersicon esculentum*). Es destacable la superficie con suelos degradados por efectos de mal uso del riego, registrándose en la región 142 000 ha con problemas de salinidad y de drenaje<sup>8</sup> (Banco Mundial, 2000). En los territorios semiáridos del noroeste se encuentra 25% de la superficie agrícola regada del país. En el resto de las provincias, los cultivos que utilizan agua para riego son algunos industriales, como la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), el tabaco (*Nicotiana tabacum*) y el algodón (*Gossypium sp*), y ciertas hortalizas y forrajeras. Por último, en la Patagonia se encuentra 7% del área nacional regada, siendo importante el volumen de agua empleado en los valles del norte de la región. Especies perennes, como manzanos (*Malus domestica*), perales (*Pyrus communis*), vid y alfalfa (*Medicago sativa*) son los principales cultivos irrigados de las provincias patagónicas.

### ELECCIÓN TECNOLÓGICA

Hay tres elementos que afectan la elección tecnológica en la agricultura bajo riego: institucionales, económicos y agroecológicos. Los métodos de riego pueden ser gravitacionales o presurizados. Los primeros comprenden aquellas tecnologías que se basan en

territories with humid climate regimen was 14% of the irrigated surface in the country (SAGyP, 1995), currently it is 30%, concentrated mainly in the Pampa region. Although the use of furrow and flooding systems still predominates (56% of the irrigated area in humid climate regimens), it should be expected that as far as the increase in land prices is maintained, the use of pressurized irrigation techniques for intensive agriculture will continue to grow. In the middle of the last decade, complementary irrigation began to be extended for grain cultivation, particularly corn, and in an incipient manner, pressurized irrigation systems with central pivot, sprinkler cannons and frontal advance lines were adopted (Morábito *et al.*, 1998). However, this did not have great development due to the depressed prices of grains in later years, being the mixta papera the only Pampa zone that has an important surface where pressurized irrigation is used. The main origin of water in territories with humid climate regimen is underground aquifers, and there are no public water distribution networks for superficial irrigation. The lands present less soil deterioration problems because of ill use of irrigation than arid climate regimens, due to the type of extensive agriculture practiced. Irrigated cultivation of rice in the province of Corrientes stands out and, to a lesser degree, that of vegetables and fruits.

Agriculture in semiarid and arid climate regimens takes place primarily in irrigated oases in the west of the country. The most important zone with systemized irrigation is found in the provinces of Mendoza and San Juan; together, they have more than 300 000 ha irrigated with gravitational systems and 43 000 with drip. In this region, the greatest technological advances were attained in the use of water for irrigation. In the province of San Juan, for example, almost the whole network of superficial irrigation is waterproofed since the 1970s. The combined use of superficial and underground water reaches an important percentage in both provinces. Cultivation of fruit species for industry predominates, such as vines (*Vitis vinifera*) for wine production and olives (*Olea europaea*). There are also horticultural crops, especially onion (*Allium sativa*), garlic (*Allium cepa*) and tomato (*Lycopersicon esculentum*). The surface with degraded soils because of ill use of irrigation is notable, registering in the region 142 000 ha with problems of salinity and drainage<sup>8</sup> (Banco Mundial, 2000). In the semiarid territories of the northwest, 25% of the agricultural surface irrigated in the country is found. In the other provinces, crops that use water for irrigation are, some, industrial such as sugar cane (*Saccharum officinarum*), tobacco (*Nicotiana tabacum*) and cotton (*Gossypium sp.*), and some, vegetables and fodder.

la fuerza de la gravedad, como es el caso de los sistemas de riego por surcos, por inundación y por pulsos. Si bien los métodos gravitacionales continúan siendo los más utilizados, en los últimos veinte años comenzaron a ser reemplazados por sistemas presurizados, los cuales se emplean en 30% del área bajo riego del país. Estos incluyen el riego por aspersión (aspersores de alto volumen, cañones circulares y equipos de avance frontal) y por microirrigación (goteo y microaspersión).

### Condiciones institucionales

La escasez de estudios sociales domésticos relacionados con la problemática del riego contribuye a desconocer las razones de la presencia de arreglos institucionales que fueron establecidos para promover la colonización agrícola en los territorios áridos. En la actualidad se aplican normas que son el legado de regulaciones desarrolladas cuando la oferta de agua era mayor que la demanda. Los códigos de agua provinciales no se adaptaron a los avances tecnológicos y de gestión del riego ni a las necesidades de consumo de la población de sectores urbanos e industriales (Fiorentino, 2005; Pochat, 1998). Se sabe que la elección de tecnología moderna de riego se ve favorecida por arreglos institucionales que reducen los costos de transacción (Hearne y Easter, 2000) como, por ejemplo, un régimen de uso de los derechos del agua más flexible que el ligado a la propiedad de la tierra tal cual existe en las provincias del árido argentino<sup>9</sup>. Sin embargo, en nuestro país se cristalizó un sistema jurídico de tenencia y distribución de derechos de riego que no permite adaptar el patrón de uso tradicional a las demandas actuales de agua.

### Condiciones económicas

La elección tecnológica en la agricultura irrigada también ha sido explicada por estudios que analizaron el efecto del precio del agua en la difusión de tecnología moderna de riego. Algunos de éstos se basan en modelos que asumen al precio del agua como determinístico (Green *et al.*, 1996; Castwell y Zilberman, 1986; 1985); otros, en cambio, suponen que es estocástico (Moreno y Sunding, 2000). Castwell y Zilberman (1986, 1985), en sus modelos determinísticos de elección del método de riego analizan los factores que influyen en la adopción de tecnología. Estos modelos sugieren que en un contexto institucional de mercados de agua, la transición a tecnologías más modernas tiende al ahorro de agua y a disminuir los costos medios de producción. En este sentido, se puede esperar que aumentos en el precio del agua, de la energía para presurizarla o de los productos agrícolas, favorezcan

Lastly, 7% of the national irrigated area is found in Patagonia, with an important volume of water being used in the valleys north of the region. Perennial species, such as apple (*Malus domestica*), pear (*Pyrus communis*), vine and alfalfa (*Medicago sativa*) are the primary irrigated crops in Patagonia provinces.

## TECHNOLOGICAL SELECTION

There are three elements that affect technological selection in agriculture under irrigation: institutional, economic and agroecologic. Irrigation methods can be gravitational or pressurized. The first include technologies that are based on the force of gravity, such as the case of furrow, flooding or pulse irrigation systems. Even though gravitational methods continue to be mostly used, in the last twenty years they began to be replaced by pressurized systems, which are used in 30% of the area under irrigation in the country. These include irrigation by aspersion (high volume sprinklers, circular cannons and frontal advancement equipment) and by micro-irrigation (drip and micro-aspersion).

### Institutional conditions

The scarcity of domestic social studies related to the issue of irrigation contributes to ignorance regarding the reasons for the presence of institutional arrangements that were established to promote agricultural colonization in arid territories. Currently, norms are applied that are the legacy of regulations developed when the water offer was greater than the demand. Provincial water codes did not adapt to technological and irrigation management advancements, nor to the population's needs for consumption for urban and industrial sectors (Fiorentino, 2005; Pochat, 1998). It is well-known that modern irrigation technological selection is favored by institutional arrangements that reduce transaction costs (Hearne and Easter, 2000), for example a water rights utilization regime more flexible than one linked to land property, which exists in Argentine arid provinces.<sup>9</sup> However, in our country, a legal system of irrigation rights possession and distribution that does not allow adapting the traditional pattern of use to the current demands for water was crystallized.

### Economic conditions

Technological selection in irrigated agriculture has also been explained by studies that analyzed the effect of water price in the spread of modern irrigation technology. Some of these are based on models that

la adopción de tecnologías de riego más eficientes (Shrestha y Gopalakrishnan, 1993). La hipótesis según la cual el bajo precio del agua es una de las restricciones importantes para la modernización de las técnicas de irrigación ha sido propuesta por varios investigadores (Gibbons, 1986; Moreno y Sunding, 2000). Sin embargo, existe otro grupo de trabajos que postulan que hay elementos adicionales que tienen más peso que el precio del agua al momento de adoptar tecnología moderna de riego, como por ejemplo las necesidades de mano de obra (Green *et al.*, 1996; Lichtenberg, 1989) y la calidad del producto agrícola y su precio (Sumpsi Viñas *et al.*, 1998).

### Condiciones agroecológicas

Desde una perspectiva agronómica, la adopción de tecnología de riego es función del suelo y del cultivo. En el caso de suelos vírgenes, las características de la tierra son importantes en la elección tecnológica, ya que la introducción de sistemas de microirrigación permite el cultivo de superficies que, entre otras cosas, por razones de topografía, textura y salinidad, no podrían ser puestas en producción con riego gravitacional. Si los suelos agrícolas son profundos y de buena calidad, la eficiencia de aplicación del riego con tecnologías modernas o tradicionales es similar (Feinerman *et al.*, 1989). En tierras de mala calidad, como por ejemplo aquellas de textura arenosa y poca retención hídrica, es superior la eficiencia del riego por goteo. Por tanto, el valor actual de los ingresos futuros generados por inversiones en tecnología moderna que mejoran la eficiencia del riego será mayor en los suelos de mala calidad. En cada región se puede identificar entonces una calidad de suelo por encima de la cual la tecnología tradicional de riego es la que maximiza beneficios y otra por debajo de la cual la inversión en tecnología moderna es la más rentable (Castwell y Zilberman 1985; 1986).

En el caso de cultivos ya establecidos, la sustitución del riego tradicional por sistemas de microirrigación tiene como límite el valor de la tierra. El costo elevado de la inversión que se debe hacer hay que sumarlo al valor de una tierra cuyo precio incluye de manera irreversible las mejoras hechas para el riego gravitacional. Esto implica que el valor actual del beneficio futuro de la nueva elección tecnológica tiene que ser tan elevado como para amortizar esa inversión y generar una renta que retribuya el precio de la tierra, por lo que en este caso el ahorro de agua solo no siempre alcanza para justificar la adopción de microirrigación.

En relación al cultivo, gran parte de la agricultura perenne se plantó antes de que la microirrigación

assume the price of water as deterministic (Green *et al.*, 1996; Castwell and Zilberman, 1986; 1985); others, instead, assume it is stochastic (Moreno and Sunding, 2000). Castwell and Zilberman (1986, 1985), in their deterministic models for irrigation method selection, analyze the factors that influence technology adoption. These models suggest that in an institutional context of water markets, transition to more modern technologies tends to save water and to decrease the average costs of production. In this sense, it can be expected that increases in prices of water, of energy to pressurize it or of agricultural products, favor the adoption of more efficient irrigation technologies (Shrestha and Gopalakrishnan, 1993). The hypothesis according to which a low water price is one of the relevant restrictions for modernization of irrigation techniques has been proposed by several researchers (Gibbons, 1986; Moreno and Sunding, 2000). However, there is another set of studies that suggest that there are additional elements that have more weight than the price of water at the moment of adopting modern irrigation technology, for example, the needs for labor (Green *et al.*, 1996; Lichtenberg, 1989) and the quality of the agricultural product and its price (Sumpsi Viñas *et al.*, 1998).

### Agroecologic conditions

From an agronomic perspective, adoption of irrigation technology is a function of the soil and the crop. In the case of virgin soils, the characteristics of land are important in technological selection, since the introduction of micro-irrigation systems allows cultivation of surfaces that would not be capable of being used for production under gravitational irrigation because of topography, texture and salinity, among other things. If agricultural soils are deep and have good quality, the efficiency of irrigation application with modern or traditional technologies is similar (Feinerman *et al.*, 1989). In bad quality lands, such as those with sandy texture and little water retention, the efficiency of drip irrigation is higher. Therefore, the current value of future income generated by investment in modern technologies that improve the efficiency of irrigation will be greater in soils of bad quality. In each region, then, there is quality of soils where traditional irrigation technology is the one that maximizes benefits and another where investment in modern technology is more profitable (Castwell and Zilberman 1985; 1986).

In the case of crops that are already established, substituting traditional irrigation with micro-irrigation systems has the value of land as restriction. The high cost of the investment that has to be made must be

comenzara a ser conocida, por lo que los terrenos fueron sistematizados y nivelados como para regar con sistemas tradicionales. Si bien esto último no es un impedimento para el cambio tecnológico, se trata de tierras caras que no siempre retribuyen económicamente la sustitución de un sistema por otro. En este sentido, algunos trabajos señalan que es más probable que los agricultores con fincas niveladas continúen regando por gravedad a que adopten sistemas de riego presurizado (Moreno y Sunding, 2000). Otros trabajos muestran desde la teoría (Mann *et al.*, 1987) y a partir de estudios de caso (Shrestha y Gopalakrishnan, 1993) que es menos probable que las tecnologías modernas de riego se adopten en fincas con recursos de agua superficial que en aquellas que cuentan con agua subterránea. Esto se debe a que es más fácil proveer la presión adicional requerida por los sistemas de microirrigación con agua bombeada del subsuelo. Sin embargo, la provisión de agua superficial es percibida como una fuente menos confiable que el agua subterránea. En estos casos, el uso de microirrigación con recursos hídricos del subsuelo puede verse como una estrategia para minimizar el riesgo de disponibilidad de agua para los cultivos perennes (Green *et al.*, 1996).

## RESULTADOS

### Influencia del régimen climático

A partir de la información obtenida en las entrevistas, se pudo ver que el inicio del proceso de difusión del riego por goteo ocurrió a mediados de la década de los 80 y tuvo un comportamiento similar en todos los regímenes climáticos. Pero a comienzos de los 90 se observa que la trayectoria en el RC Árido experimentó una tasa de crecimiento mayor que la de los otros dos regímenes, las cuales tendieron a estabilizarse. La pendiente de la curva de difusión en la región árida señala un crecimiento constante en la serie de tiempo disponible; aunque, como se verá, la evolución no es homogénea en todas las provincias que la componen.

En el RC Árido los oasis irrigados de la provincia de La Rioja tienen la mayor superficie del país con riego por goteo, con un papel pionero en la adopción de este tipo de tecnología. Más de la mitad de sus 41 817 ha regadas utilizan sistemas de goteo, y el tamaño promedio de las unidades es de 130 ha. Una situación parecida se da en los oasis de Catamarca, región que en el año 1988 tenía casi 30 000 ha regadas y a fines de los años noventa 63 835 ha. El incremento fue debido en gran medida a la adopción de sistemas modernos de riego, con una participación importante del riego por aspersión (casi 20 000 ha). De esta

además a la valorización de la tierra cuyo precio incluye, irreversiblemente, mejoras hechas para riego gravitacional. Esto implica que el valor actual de la futura ganancia de la nueva selección tecnológica debe ser lo suficientemente alto para amortizar esta inversión y generar una renta que repague el precio de la tierra, lo que es por qué en este caso los ahorros de agua por sí solos no siempre son suficientes para justificar la adopción de micro-irrigación.

En relación con los cultivos, una gran parte de la agricultura perenne fue plantada antes de que se conociera la micro-irrigación, lo que es por qué las tierras fueron sistematizadas y niveladas para riego con sistemas tradicionales. Aunque esto último no es un obstáculo para el cambio tecnológico, tener tierras que no siempre repagan económicamente la sustitución de un sistema por el otro sí lo es. En este sentido, algunos estudios sugieren que es más probable que los agricultores con tierras niveladas continúen regando por gravedad que adoptando sistemas de riego presurizado (Moreno y Sunding, 2000). Otros estudios muestran, desde la teoría (Mann *et al.*, 1987) y con estudios de caso (Shrestha y Gopalakrishnan, 1993), que es menos probable que las tecnologías modernas de riego se adopten en fincas con recursos de agua superficial que en aquellas que tienen agua subterránea. Esto se debe a que es más fácil proveer la presión adicional requerida por los sistemas de micro-irrigación con agua bombeada del subsuelo. Sin embargo, la provisión de agua superficial es percibida como una fuente menos confiable que el agua subterránea. En estos casos, el uso de micro-irrigación con recursos hídricos del subsuelo puede verse como una estrategia para minimizar el riesgo de disponibilidad de agua para los cultivos perennes (Green *et al.*, 1996).

## RESULTS

### Influence of the climate regimen

From the information obtained in the interviews, it could be seen that the beginning of the process of drip irrigation spread occurred during mid-1980s and had a similar behavior in all climate regimens. But at the beginning of the 90s, it is observed that development in Arid CR underwent a greater growth rate than the two other regimens, which had the tendency to stabilize. The curve slope representing spread in arid regions suggests a constant growth in the series of time available; although, as will be seen, evolution is not homogenous in all the provinces that comprise it.

In the Arid CR, irrigated oases in the province of La Rioja have the greatest surface with drip irrigation in the country, with a pioneer role in adopting this type of technology. More than half of its 41 817 irrigated ha use drip systems, and the average size of the units



manera, dos tercios de su superficie irrigada utilizan sistemas presurizados, lo que la ubica como la provincia con mayor participación de tecnología moderna de irrigación en superficie cultivada bajo riego. En cuanto al tamaño promedio de las explotaciones con goteo, este es de 138 ha, siendo el mayor del país.

En los oasis de las provincias de Mendoza y San Juan hay 42 886 ha agrícolas regadas con goteo, lo cual representa 34% del área nacional que utiliza esta tecnología. La importancia relativa varía de una provincia a otra, ya que en San Juan estos sistemas ocupan 27% de la superficie total cultivada y en Mendoza sólo 8%. En ambas provincias es reducido el número de explotaciones que adoptaron este tipo de riego, utilizándolo 4% en San Juan y sólo 2% en Mendoza. Esto se debe a que las economías de escala tienen un peso importante al decidir la adopción de estos sistemas. El fenómeno puede entenderse mejor si tenemos en cuenta que en las dos provincias 80% de las explotaciones agrícolas tienen menos de 25 ha, mientras que el tamaño promedio de las explotaciones con goteo es de 56 ha (Miranda y Medina, 2005).

### Elección por tipo de cultivo

La adopción de riego por goteo está ligada a un proceso de reestructuración productiva en el árido que incluye la implantación de cultivos perennes como vides de alta calidad enológica, uva de mesa, cítricos de exportación y olivo (Miranda, 2008). Al tratarse de cultivos que implican un alto nivel de capital fijo por unidad de superficie y con productos y subproductos cuyos precios están por encima de los de otros cultivos y manufacturas agrícolas de las regiones áridas, es importante reducir el riesgo de pérdidas agronómicas por falta de agua. El riego por goteo permite controlar el manejo del estado hídrico de las plantas, y su inversión se justifica en aquellos cultivos que, como los perennes de alto valor, necesitan mantener una buena eficiencia de riego en el mediano y largo plazo de manera que no afecte la productividad y calidad de las cosechas. El nivel de precio de los cultivos es un determinante importante para inducir la demanda de tecnología de riego. Más aún, con altos precios sostenidos, aquellas tierras marginales que no eran alcanzadas por las redes públicas de riego superficial pueden ser usadas para expandir la frontera agrícola mediante el uso de agua subterránea para riego por goteo.

En la Figura 1 se muestra la evolución de la participación relativa de los principales cultivos en los cuales se utiliza el goteo. En los inicios, la vid fue la especie que centralizó su adopción, siendo también importante la jojoba y los cítricos. La evolución comparada indica que estos últimos, a través del riego en

is 130 ha. A similar situation happens in Catamarca oases, region that had almost 30 000 irrigated ha in 1988 and by the end of the 90s, 63 835 ha. This increase was due, in great measure, to the adoption of modern irrigation systems, with an important participation of aspersion irrigation (almost 20 000 ha). That is, two thirds of its irrigated surface uses pressurized systems, making it the province with greatest participation in modern irrigation technology through surface cultivated under irrigation. In terms of the average size of drip farms, it is 138 ha, the largest in the country.

In the oases of the provinces of Mendoza and San Juan, there are 42 886 agricultural ha with drip irrigation, which represent 34% of the national area that uses this technology. The relative importance varies from one province to another, since in San Juan these systems occupy 27% of the total cultivated surface and in Mendoza only 8%. In both provinces, the number of farms that adopted this type of irrigation is reduced, only 4% in San Juan and 2% in Mendoza. This is because scale economies have a relevant weight when deciding the adoption of these systems. The phenomenon can be better understood if we take into account that in the two provinces 80% of agricultural farms have less than 25 ha, while the average size of farms with drip systems is 56 ha (Miranda and Medina, 2005).

### Selection by type of crop

Adoption of drip irrigation is linked to a process of productive restructuring in arid areas that includes implantation of perennial crops such as high oenology

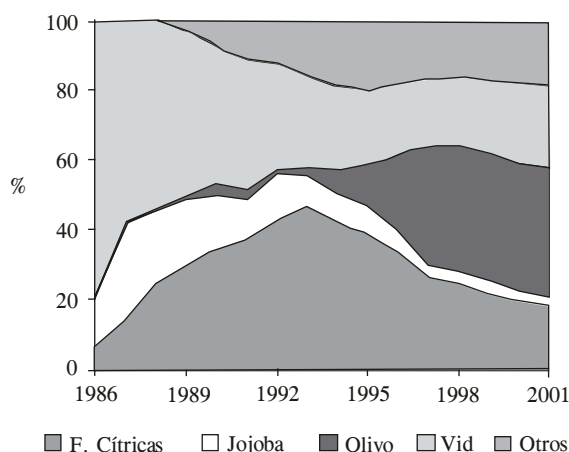


Figura 1. Participación relativa del área con riego por goteo por cultivo. Total nacional, 1986-2001. Fuente: elaboración propia según Cuadro 3.

Figure 1. Relative participation of the drip irrigated area per crop. National total, 1986-2001. Source: (Table 3).

**Cuadro 2. Evolución anual de la superficie en hectáreas (ha) con riego por goteo según distintos aglomerados climáticos y total nacional en ha, 1986-2001.**
**Table 2. Annual evolution of the surface with drip irrigation in hectares (ha), according to various climate aggregates and national total in ha, 1986-2001.**

Año	Superficie según régimen climático (ha)							
	Árido					Semiárido	Húmedo	Total país
	La Rioja	Mendoza	San Juan	Calamar-ca	Total			
1986	260	15	5	583	863	42	84	989
1987	560	22	7	584	1 174	62	123	1 359
1988	897	27	9	585	1 518	77	238	1 834
1989	897	44	15	590	1 545	126	403	2 073
1990	1 006	67	23	594	1 691	196	659	2 546
1991	1 006	86	247	598	1 937	596	1 007	3 540
1992	1 832	467	534	609	3 441	1 305	2 605	7 352
1993	2 800	1 003	1 158	696	5 656	3 008	4 408	13 072
1994	4 437	2 297	2 236	953	9 924	4 880	5 868	20 671
1995	6 140	2 921	3 610	1 752	14 423	6 343	7 146	27 911
1996	9 756	4 115	5 784	4 820	24 475	8 030	10 634	43 139
1997	13 937	6 931	11 015	11 097	42 981	10 916	15 007	68 903
1998	16 231	9 677	14 461	13 629	53 997	12 768	17 853	84 618
1999	19 888	12 852	17 980	16 178	66 898	14 905	20 206	102 009
2000	22 491	17 237	20 992	17 436	78 156	15 832	21 333	115 321
2001	25 095	21 621	21 264	18 694	86 674	16 003	22 461	125 137
%	20%	17%	17%	15%	69%	13%	18%	100%

Fuente: elaboración propia según datos de las entrevistas e INDEC (2006).

el cultivo de limón y de naranja, cobraron mayor importancia relativa a mediados de los años 90, cuando también empezó el uso de la tecnología en el cultivo del olivo. En pocos años, la nueva olivicultura se convirtió en el principal demandante de riego por goteo, ocupando en la actualidad unas 45 000 ha con esta tecnología. Sigue a continuación la viticultura, con 31 000 ha, de las cuales 23 500 corresponden a vid vinífera de alta calidad enológica y 7 500 a uva de mesa. Casi la totalidad de los olivares y parrales de uva de mesa que se comenzaron a implantar desde mediados de la década pasada hasta la actualidad, se riegan por goteo; fenómeno que, en menor proporción, también se dio en la vides para vinos de alta gama.

La trayectoria tecnológica indica que la demanda de riego por goteo es una demanda derivada de productos y manufacturas agrícolas de alto valor. Este mayor valor no solo debe entenderse como mayores ingresos por unidad de superficie cultivada o por producto físico, sino por unidad utilizada de agua para riego. Es destacable que la tendencia al alza de los precios de estos cultivos fue lo que hizo que se expanda la frontera agrícola hacia tierras no cultivadas mediante el uso de irrigación.

El olivo (36%), la vid (24%) y los cítricos (19%) suponen más de las dos terceras partes de la superficie con riego por goteo del país. Los tres cultivos presentan trayectorias diferentes que es necesario analizar para tener una perspectiva del futuro de esta tecnología. La vid

quality vines, table grapes, export citrus and olive trees (Miranda, 2008). Since these are crops that imply a high level of fixed capital over surface unit, and with products and sub-products whose prices are above those of other crops and agricultural manufactures of arid regions, it is important to reduce the risk of agronomic losses over lack of water. Drip irrigation allows controlling management of plants' water state, and investing in it is justified in crops that, as high-value perennials, need to maintain good irrigation efficiency in the mid and long term, so that this does not affect productivity and the quality of crops. The price level of crops is an important determinant to induce the demand for irrigation technology. Moreover, with high sustained prices, marginal lands that were not reached by public superficial irrigation networks can be used to expand the agricultural frontier through the use of underground water for drip irrigation.

Figure 1 depicts the evolution of relative participation of the primary crops where drip irrigation is used. At the beginning, vine was the species that concentrated its adoption, and jojoba and citrus trees were also important. The compared evolution indicates that the latter, through irrigation in lemon and orange crops, acquired greater relative importance in mid-1990s, when the use of this technology with olive trees also began. In a few years, the new production of olives became the primary demand for drip irrigation, currently occupying around 45 000 ha with this technology.

**Cuadro 3. Evolución de la superficie nacional con riego por goteo en los principales cultivos que usan esta tecnología, 1986-2001.**  
**Table 3. Evolution of the national surface with drip irrigation in the main crops using this technology, 1986-2001.**

Año	Superficie (ha)							
	F. carozo (1)	F. cítricos (2)	F. secos (3)	Jojoba	Olivo	F pepita (4)	Vid (5)	Otros
1986	-	68	-	130	-	-	791	-
1987	-	199	-	368	-	-	791	-
1988	-	454	-	368	-	-	1 012	-
1989	-	635	-	368	-	58	1 012	-
1990	-	904	-	368	72	116	1 012	74
1991	-	1 358	-	368	72	331	1 338	74
1992	74	3 217	-	847	72	704	2 310	129
1993	362	6 194	-	1 104	164	1 029	3 519	699
1994	1 169	8 858	102	1 464	1 286	1 360	5 129	1 302
1995	1 777	10 985	517	1 915	3 195	1 791	6 104	1 628
1996	2 602	14 887	1 127	2 225	9 388	2 575	8 404	1 931
1997	4 037	18 444	1 871	2 317	22 987	3 504	13 310	2 433
1998	4 771	21 112	2 636	2 473	29 638	3 968	17 225	2 796
1999	5 219	22 590	3 673	2 933	36 591	4 192	22 238	4 572
2000	5 706	22 884	4 949	2 933	41 403	4 572	26 982	5 890
2001	6 193	23 179	6 224	2 933	45 050	4 953	30 561	6 043

(1) F. carozo incluye ciruelo, duraznero y cerezo; (2) F. cítricos incluye naranjo, mandarino y limonero (3) F. secos incluye nogal, almendro y pistacho; (4) F. pepita incluye manzano y peral; (5) Vid incluye uva para vinificar y para mesa.

Fuente: elaboración propia según datos de las entrevistas e INDEC (2006).

tiene mayor tiempo medio de difusión y evidencia el mayor potencial en cuanto a la evolución futura del riego por goteo. El aumento de los precios verificado en los productos y manufacturas de los cultivos que aparecen en el Cuadro 3 implica que la modificación de la demanda agrícola tuvo una importancia fundamental en la determinación de la rapidez con la que la innovación sustituyó al riego tradicional en los cultivos perennes de exportación en el árido argentino. Esta interpretación, tomada en sentido amplio, sugiere que el crecimiento repentino del mercado de equipos de riego por goteo cerca de dos décadas después de sus primeras ventas, es una consecuencia de las condiciones específicas que rodean los cambios de hábitos de consumo en las sociedades de mayores ingresos.

### Tamaño de las explotaciones

La información del estudio indica que hay economías de escala asociadas al uso del riego por goteo, lo cual disminuye el costo por hectárea del mismo a medida que aumenta la superficie cultivada. Por otro lado, se evidencian diseconomías de escala en la utilización de sistemas de riego gravitacionales en los cultivos de alto valor. El tamaño promedio nacional de las explotaciones con riego por aspersión es ocho veces mayor que el de las que utilizan riego tradicional, diferencia que se acentúa en los territorios del

Next is vine cultivation, with 31 000 ha, out of which 23 500 correspond to wine vines of high oenology quality and 7 5000 to table grapes. Almost all olive groves and vineyards for table grapes, which began to be implanted since the middle of last decade and until today, are irrigated by drip; this phenomenon, in a lesser proportion, also happened with vines for high-end wines.

The technological development indicates that the demand for drip irrigation is a demand derived from agricultural products and manufactures of high value. This greater value should not only be understood as greater income per unit of cultivated surface or per physical product, but also as water unit used for irrigation. It is noteworthy that the tendency to increase prices in these crops was what caused the agricultural frontier to expand into lands that were not cultivated, through the use of irrigation.

Olives (36%), vines (24%) and citrus (19%) represent more than two thirds of the surface with drip irrigation in the country. The three crops present different trajectories that should be analyzed in order to have a perspective of the future of this technology. Vine has longer average time for spread and shows the greatest potential in terms of future evolution for drip irrigation. The increase of prices verified in products and manufactures of crops shown in Table 3 imply that modification of the agricultural demand had a fundamental importance in determining the speed at

régimen climático árido. En estos últimos, las fincas con riego gravitacional tienen un tamaño promedio de 7.4 ha/EAP,<sup>10</sup> mientras que las que utilizan riego por goteo tienen una superficie promedio de 98.1 ha/EAP. El riego gravitacional se utiliza predominantemente en pequeñas fincas, y su uso depende tanto de la sistematización y nivelación previa de las tierras como del trazado de la red pública de canales de distribución de agua. A su vez, la disposición de riego fue modelada por la estructura agraria que predominaba al momento de su construcción, caracterizándose generalmente, en las zonas irrigadas, por la subdivisión marcada de la tierra.

En principio, la existencia de diseconomías de escala en el uso de riego tradicional operaría en la misma forma que las economías de escala asociadas al riego por goteo. La programación del riego gravitacional requiere cierta capacidad de supervisión de la mano de obra para mantener la eficiencia del riego, y el aumento de trabajo para regar superficies mayores disminuye la capacidad de control y supervisión. La aplicación de agua a los cultivos debe hacerse en un tiempo limitado, debido a la rigurosidad de los turnos de riego y a la necesidad de regar en los momentos justos en los que las plantas requieren cantidades determinadas de agua. En consecuencia, no se puede emplear un número óptimo de trabajadores para supervisar la eficiencia del riego gravitacional en cualquier momento, y muchas veces no se dispone de la cantidad de agua suficiente para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos. Como la productividad media del agua de riego disminuye cuando la supervisión baja a cierto mínimo, el requerimiento de trabajo por hectárea aumenta con la superficie cultivada.

La indivisibilidad de los equipos de riego por goteo hace que disminuya su costo por unidad de superficie, lo cual se refleja en el tamaño promedio de las explotaciones que los adoptaron. Estas se ubican generalmente

which innovation substituted traditional irrigation in perennial export crops from Argentine arid areas. This interpretation, taken in broad meaning, suggests that the sudden growth of the market in drip irrigation equipment nearly two decades after its first sales is a consequence of the specific conditions that surround changes in consumption habits in societies of greater income.

### Size of the farms

Information from the study indicates there are scale economies associated to the use of drip irrigation, which decrease its cost per hectare insofar as the cultivated surface increases. On the other hand, there are scale diseconomies in using gravitational irrigation systems for high value crops. The average national size of farms with irrigation through aspersion is eight times larger than those with traditional irrigation, a difference that is accentuated in the territories of arid climate regimen. In these, farms with gravitational irrigation have an average size of 7.4 ha/EAP,<sup>10</sup> while those that use drip irrigation have an average surface of 98.1 ha/EAP. Gravitational irrigation is predominantly used in small farms, and its use depends both on systematization and previous leveling of the lands and on the public network plan of water distribution channels. In its turn, irrigation disposition was modeled by the agrarian structure that predominated when it was built, generally characterized, in irrigation zones, by the marked subdivision of land.

To begin with, the existence of scale diseconomies in traditional irrigation use would operate in the same manner than scale economies associated with drip irrigation. Programming of gravitational irrigation requires a certain degree of supervision ability over the workforce, in order to maintain irrigation efficiency, and an increase in labor to irrigate larger surfaces decreases the ability to control and supervise. Water application on crops should be done in a limited time, due to the strictness in irrigation shifts and the need to irrigate at the precise moment when plants require specific amounts of water. Consequently, an optimal number of workers cannot be used to supervise gravitational irrigation efficiency at any moment, and many times there is not enough water available to satisfy the water needs of crops. As average irrigation water productivity decreases when supervision is lowered to a particular minimum, labor requirement per hectare increases with the surface cultivated.

The indivisibility of drip irrigation equipments makes their surface unit cost decrease, which is reflected in the average size of the farms that adopt it. These are generally located in zones with no rights

**Cuadro 4: Tamaño promedio de las explotaciones regadas (ha/EAP) según Régimen Climático y total nacional, por sistema de riego.**

**Table 4. Average size of explitations irrigated (ha/EAP) according to climatic regime and national total, by irrigation system.**

Régimen climático	Tamaño según sistema de riego (ha/EAP)		
	Gravitacional	Goteo	Aspersión
Árido	7.4	98.1	255.2
Semiárido	23.4	21.6	329.6
Húmedo	92.1	13.9	80.1
Total nacional	15.6	41.8	126.0

Fuente: elaboración propia con datos de INDEC (2006).

en zonas sin derecho de riego gravitacional, ya que las tierras de secano disponen de grandes extensiones en las cuales es posible instalar equipos de riego sin las limitaciones de tamaño que existen en las tierras con riego gravitacional. En el Cuadro 5 se muestra el tamaño promedio nacional de las unidades que adoptaron tecnología moderna de riego. Las mayores superficies se dan en el cultivo de olivo y, en segundo lugar, en los cítricos. Si tenemos en cuenta que la superficie promedio de las explotaciones que utilizan riego gravitacional es 15.60 ha, se entiende por qué un porcentaje importante de los emprendimientos con riego por goteo se localizaron en zonas sin derecho de riego y produjeron el desplazamiento de la frontera agrícola en tierras anteriormente de secano.

### CONCLUSIONES

Las dos terceras partes del territorio nacional tienen recursos hídricos escasos. Esta condición de aridez es una limitante para los cultivos en áreas que tienen características ambientales óptimas para la agricultura intensiva de productos de alto valor. Del total anual de agua consumida en Argentina 70% se emplea en la agricultura; mientras que en las provincias con predominio de climas áridos y semiáridos la proporción supera al 95%. El patrón geográfico de la difusión del riego por goteo indica que su adopción está inducida por la escasez de agua, ya que en las provincias en las cuales los recursos hídricos son más limitantes es donde esta tecnología ha tenido mayor aceptación.

**Cuadro 5. Tamaño promedio nacional de las superficies regadas por explotación (ha con riego por goteo/EAP) según tipo de cultivo y cantidad de EAPs relevadas.**

**Table 5. National average size of surfaces irrigated by exploitation (ha with drip irrigation/EAP) according to type of crop and relevated quantity of EAP.**

Cultivo	Tamaño promedio (ha/EAP)	EAPs relevadas* (N°)
F. cítricas	67.2	74
Uva vino	33.5	126
Uva mesa	45.0	134
F. carozo	39.7	150
Olivo	102.1	180
F. pepita	28.6	52
Otros	6.1	195
Total	46.0	911

\* Sobre un total nacional de 2.292 EAPs con riego por goteo en el año 2002 (INDEC, 2006)

Fuente: elaboración propia con datos de las entrevistas.

to gravitational irrigation, since seasonal lands have large extensions where it is possible to install irrigation equipments without the limitations of size that lands with gravitational irrigation have. Table 5 shows the average national size of the units that adopted modern irrigation technology. Most surfaces are used in olive trees cultivation and, in second place, citrus trees. If we consider that the average surface of farms that use gravitational irrigation is 15.60 ha, we understand why an important percentage of undertakings with drip irrigation are located in zones without irrigation rights, producing a shift of the agricultural frontier into lands that were previously seasonal.

### CONCLUSIONS

Two thirds of the national territory has scarce water resources. This condition of aridity is a limiting factor for crops in areas that have optimal environmental characteristics for intensive agriculture of high value products. Out of the total water consumed in Argentina, 70% is used in agriculture, while in provinces with predominance of arid and semiarid climates the proportion is over 95%. The geographical pattern of drip irrigation spread indicates that its adoption is induced by water scarcity, for this technology has had greater acceptance in the provinces where water resources are more restricted.

- End of the English version -

### Notas

<sup>1</sup>A modo de ejemplo se puede mencionar a la dotación que en este momento se entrega en la provincia de San Juan. De acuerdo con el Código Provincial de Aguas es de un litro con treinta centilitros por segundo y por hectárea con derecho a riego (Gobierno de San Juan, 1981). Esta dotación no se ha originado de cálculos hidráulicos y agronómicos que tengan en cuenta el caudal de agua disponible, las características agroecológicas regionales y las necesidades hídricas de los cultivos; por el contrario, es el resultado de la aplicación rutinaria de medidas y prácticas introducidas por los españoles en tiempos de la Colonia (Soldano, 1923). ♦ As an example, the amount that is delivered to the province of San Juan at this moment can be mentioned. According to the Código Provincial de Aguas, it is one liter and thirty centiliters per second and per hectare with irrigation rights (Gobierno de San Juan, 1981). This amount did not originate from hydraulic and agronomic calculations that take into account the available water course, regional agroecologic characteristics or the crops' water needs; on the contrary, it is the result of routine application of measures and practices introduced by the Spanish during Colonial times (Soldano, 1923).

<sup>2</sup>Las pérdidas agrícolas anuales originadas en la ineficiencia de la gestión de los recursos hídricos nacionales llegarían a 1 500 millones

de dólares (Banco Mundial, 2000). ♦ Agricultural annual losses originated in management inefficiencies of national water resources could be 1 500 million dollars (Banco Mundial, 2000).

<sup>3</sup>Este tipo de prácticas tiene una eficiencia promedio de aplicación de 40% (Banco Mundial, 2000; Carruthers y Clark, 1983), lo cual significa que por cada 100 litros de agua que se destinan al cultivo, tan sólo 40 litros son aprovechados efectivamente por la planta. El resto se pierde por evaporación y, principalmente, por drenaje al subsuelo. Esto último produce perjuicios ambientales como la salinización del suelo agrícola y la elevación de las napas de agua subterránea. Se estima que un tercio de la superficie agrícola regada del país tiene problemas de productividad originados en la aplicación deficiente de agua y en la inexistencia o mal funcionamiento de las redes de drenaje (GWP, 2000; INTA, 1986). ♦ This type of practices has an average application efficiency of 40% (Banco Mundial, 2000; Carruthers and Clark, 1983), which means that for every 100 liters of water destined to cultivation, only 40 liters are effectively used by the plant. The rest is lost through evaporation and, mainly, drainage to the subsoil. The latter produces environmental damages such as agricultural soil salinization and the elevation of underground water stratum. It is estimated that a third of the agricultural surface irrigated in the country has productivity problems that originate in deficient application of water and the inexistence or ill functioning of drainage networks (GWP, 2000; INTA, 1986).

<sup>4</sup>En este trabajo se usa el término riego por goteo en forma genérica, pero en realidad se está analizando la difusión de esta tecnología y la de riego por microaspersión y por microjet. Todas estas tecnologías son conocidas con el nombre de riego presurizado de bajo volumen. Se optó por usar el término para simplificar la redacción, teniendo en cuenta que el riego por goteo representa 73% de la superficie nacional instalada con riego presurizado de bajo volumen. ♦ In this study, we use the term drip irrigation in a general manner, but in reality we are analyzing the spread of this technology, as well as that of irrigation by micro-aspersion and micro-jet. All these technologies are known by the name of low-volume pressurized irrigation. We decided to use the term to simplify reading, taking into account that drip irrigation represents 73% of the national surface installed with low-volume pressurized irrigation.

<sup>5</sup>Plastro, Irrigar, Dripsa, Naan y Netafim.

<sup>6</sup>Bajo la denominación "riego por goteo" también se incluye a la microaspersión. Ambos son sistemas de microirrigación con similares características hidráulicas, ya que emiten agua presurizada de bajo volumen mediante bombas eléctricas o a explosión, dependiendo su uso de variables como tipo de cultivo y de suelo, entre otras. Se estima que 80% de la superficie con microirrigación del país corresponde a riego por goteo y el resto a microaspersión (Miranda, 2002). ♦ Micro-aspersion is also included under the name "drip irrigation". These are both systems of micro-irrigation with similar hydraulic characteristics, since they send out pressurized water in low volumes through electrical or explosion pumps, and their use depends on variables such as type of crop and soil, among others. It is estimated that 80% of the surface with micro-irrigation in the country corresponds to drip irrigation and the rest to micro-aspersion (Miranda, 2002).

<sup>7</sup>Esta cifra surge de restar a las 1 246 738 ha bajo riego que aparecen censadas en el relevamiento nacional, las 87 329 ha mencionadas como superficie de campos naturales de las provincias de Santa Cruz, Chubut y Neuquén regados por desbordamiento, o sea que son tierras que no disponen de estructura ni sistematización para riego. ♦ This figure is found when subtracting the 1 246 738 ha under irrigation that appear in the national census, and the 87 329 ha mentioned as surface of natural camps in the provinces of Santa Cruz, Chubut and Neuquén irrigated by overflowing; that is, lands that do not have irrigation structure or systematization.

<sup>8</sup>Un quinto de la superficie regada del país está afectada por distintos grados de problemas de drenaje y salinidad (Banco Mundial, 2000). ♦ A fifth of the irrigated surface in the country is affected by varying degrees of problems with drainage and salinity (Banco Mundial, 2000).

<sup>9</sup>Un elemento institucional a tener en cuenta en la elección del método de riego en algunas zonas áridas del país es la Promoción Agrícola que existió durante varios años (Miranda, 2002; Herrera, 1993). Entre los años 1983 y 1999 y con diferentes momentos de instrumentación en cada caso, en las provincias de San Juan, Catamarca, La Rioja y departamentos del norte de Mendoza, se puso en vigencia el artículo 11° de la Ley Nacional N° 22.021 (conocida también como Ley de Promoción o de Diferimientos) que posibilitaba diferir el pago de impuestos nacionales hasta 75% de lo invertido en el sector agropecuario. Esto implica que 25% de estas inversiones se realizaron con capitales propios y 75% con impuestos diferidos, los cuales se devuelven en cinco cuotas anuales y consecutivas, a partir del sexto año de la puesta en producción del proyecto. ♦ An institutional element to be considered in irrigation method selection in some arid zones of the country is the Promoción Agrícola that was implemented during several years (Miranda, 2002; Herrera, 1993). Between 1983 and 1999, and with different moments of implementation in each case, Article 11 of the Ley Nacional No. 22.021 (also known as Ley de Promoción o de Diferimientos) went into effect in the provinces of San Juan, Catamarca, La Rioja and departments in the north of Mendoza, which made it possible to defer payment of national taxes of up to 75% of what was invested in the agricultural/livestock sector. This implies that 25% of these investments were made with private capitals and 75% with deferred taxes, which are refunded in five annual and consecutive installments, starting on the sixth year once the project is in production.

<sup>10</sup>EAP: explotación agropecuaria.

## LITERATURA CITADA

- Allub, L. 1993. Desarrollo de ecosistemas áridos. Editorial Fundación Universidad Nacional de San Juan. San Juan. 183 p.
- Arkin, H. 1982. Sampling methods for the auditor. An advanced treatment. McGraw Hill, New York.
- Banco Mundial. 2000. Argentina. Gestión de los Recursos Hídricos. Volumen 1. Oficina Regional de América Latina y El Caribe. Buenos Aires. 65 p.
- Boelens, R., y G. Dávila. 1998. Buscando la equidad. Van Gorcum & Comp. Assen, 505 p.
- Carruthers, I., and C. Clark. 1983. The economics of irrigation. Liverpool University Press. 300 p.

- Castwell, M., and D. Zilberman. 1985. The Choices of Irrigation Technologies in California. *American Journal of Agricultural Economics*. pp: 224-234.
- Castwell, M., and D. Zilberman. 1986. The Effects of Well Depth and Land Quality on the Choice of Irrigation Technology. *American Journal of Agricultural Economics*. pp: 798-811.
- Chambouleyron, J. 1980. Riego y drenaje. Editorial ACME, Buenos Aires. 328 p.
- Feinerman, E., E. Bresler, and H. Achrist. 1989. Economics of irrigation technology under conditions of spatially variable soils and nonuniform water distribution. *Agronomie* 9. pp: 819-826.
- Fiorentino, R. 2005. La agricultura irrigada en Argentina y su contribución al desarrollo de las economías regionales. Banco Mundial, Documento de Trabajo. Buenos Aires. 159 p.
- Genini, G. 2000. Riego, Estado y legislación en San Juan (Argentina) 1850-1914. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales* IV (65).
- Gibbons, D. 1986. The Economic Value of Water. *Resources for the Future*, Washington. 101 p.
- Gobierno de San Juan. 1981. Código de Aguas para la Provincia de San Juan. Secretaría de Recursos Hídricos, Departamento de Hidráulica. San Juan. 56 p.
- Green, G., D. Sunding, D. Zilberman, and D. Parker. 1996. Explaining Irrigation Technology Choices: A Microparameter Approach. *American Journal of Agricultural Economics* 78. pp: 1064-1072.
- Guillet, D. 1990. Andenes y riego en Lari. Caproda. Arequipa. 55 p.
- GWP (Global Water Partnership). 2000. República Argentina. Informe sobre la gestión del agua. (documento electrónico). Editado por Módulo 3. Buenos Aires. 146 p.
- Hearne, R., and K. Easter. 1995. Water Allocation and Water Markets. An Analysis of Gains-from-Trade in Chile. (Technical Paper, 315). World Bank. Washington. 75 p.
- Herrera, E. 1993. Efectos de la regulación en los procesos de inversión en la agricultura regadío. *In: Seminario Nacional de Riego Presurizado. INCYTH. Mendoza*. pp: 256-259.
- Hérin, R. 1990. Agua, espacios y modos de producción en el Mediterráneo. *In: Agua y modo de producción* (T. Pérez Picaso; Lemeunier, G eds). Editorial Crítica. Barcelona. pp: 54-68.
- INDEC. 2006. Censo Nacional Agropecuario 2002, edición electrónica. Buenos Aires. [www.indec.gov.ar](http://www.indec.gov.ar).
- INTA. 1986. Documento básico para el Programa de Riego y Drenaje (v.1). INTA, EEA Mendoza. Mendoza. 95 p.
- Keller, J., and R. Bliesner. 1990. *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Chapman & Hall. New York. 652 p.
- Lichtenberg, E. 1989. Land Quality, Irrigation Development, and Cropping Patterns in the Northern High Plains. *American Journal of Agricultural Economics*. pp: 187-194.
- Mann, R., E. Sparling, and R. Young. 1987. Regional Economic Growth From Irrigation Development: Evidence From Northern High-Plains Ogallala Groundwater Resource. *Water Resources Research* 23(9). pp: 1711-1716.
- Marianetti, B. 1948. *Problemas de Cuyo*. Editorial Lautaro, Buenos Aires. 413 p.
- Miranda, O. 2002. Difusión de tecnología de riego en el oeste argentino. *Revista Argentina de Economía Agraria* V(1). pp: 3-14.
- Miranda, O. 2008. Elección tecnológica y riego por goteo en la agricultura argentina. *Revista Realidad Económica* 233. pp: 66-85.
- Miranda, O., y A. Medina. 2005. Adopción de riego por goteo en las provincias de Mendoza y San Juan. *Ruralis* 6. pp: 15-17.
- Morábito, J., S. Salatino, C. Mirábito, J. Chambouleyron, L. Fornero, y M. Nuñez. 1998. Riego presurizado: su evolución en diferentes regiones de Argentina (segunda parte). *La Revista del Riego* 14. pp: 20-23.
- Moreno, G., and D. Sunding. 2000. Irrigation Technology Investment When the Price of Water is Stochastic. *American Agricultural Economics Association Annual Meeting*, August. University of California, Berkeley. 13 p.
- Palerm, A., y E. Wolf. 1972. *Agricultura y civilización en Mesoamérica*. SepSetentas. México. 215 p.
- Pochat, V. 1998. Situación actual de la problemática del agua en la República Argentina. *In: Agua: problemática regional* (Compiladora: Fernández Cirielli). Eudeba. Buenos Aires. pp: 51-69.
- República Argentina. 1992. Censo Nacional Agropecuario 1988. Resultados Generales. Secretaría de Planificación, INDEC. Buenos Aires. 102 p.
- Ruggiero, R., y H. Conti. 1988. Síntesis climática. *In: El deterioro del ambiente en la Argentina*. (ed: FECIC). Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Buenos Aires. pp: 25-46.
- SAGyP. 1995. El deterioro de tierras en la República Argentina. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Consejo Federal Agropecuario. Buenos Aires. 287 p.
- Shrestha, R., and Ch. Gopalakrishnan. 1993. Adoption and Diffusion of Drip Irrigation Technology: An Econometric Analysis. *Economic Development and Cultural Change* 41(2). pp: 407-418.
- Soldano, F. 1923. *La irrigación en la Argentina*. Casa Editora de Pedro García El Ateneo. Buenos Aires. 350 p.
- Sumpsi Viñas, J., A. Garrido Colmenero, M. Blanco Fonseca, C. Varela Ortega, y E. Iglesias Martínez. 1998. *Economía y política de gestión del agua en la agricultura*. Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 351 p.