



Revista académica de economía
con el Número Internacional Normalizado de
Publicaciones Seriadas ISSN 1696-8352

Las aguas subterráneas y la tecnología de riego en el desarrollo agrícola de la provincia de San Juan

Rodrigo García Arancibia
arquimediano@hotmail.com

Facultad de Ciencias Económicas- Universidad Nacional del Litoral

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

García Arancibia, R.: *"Las aguas subterráneas y la tecnología de riego en el desarrollo agrícola de la provincia de San Juan"* en Observatorio de la Economía Latinoamericana N° 81 junio 2007. Accesible a texto completo en <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ar/>

Resumen

En diferentes momentos de la historia de la provincia de San Juan, su población se vio enfrentada a situaciones de sequía que produjeron efectos adversos en el agro sanjuanino, ya que toda su superficie se caracteriza por regímenes climáticos áridos o semiáridos. Las fuentes superficiales son de carácter eventual, debido a que estas quedan determinadas por las precipitaciones níveas invernales, constituyendo luego los caudales de los principales ríos. Así el factor agua superficial para irrigación posee una varianza significativa, constituyendo un elemento determinante de la función de riesgo de los agricultores, y por lo tanto, de la oferta agropecuaria. Productores y dirigentes políticos han enfrentando esta escasez y volatilidad de recursos hídricos con la construcción de diques y mediante la realización de perforaciones con el objetivo de extraer agua de los acuíferos subterráneos, y así poder asegurar, dentro de los márgenes posibles, un permanente y constante riego. Bajo estas condiciones de la provincia, el agua brinda al agricultor, del mismo modo que la tierra, el *locus standi* para desarrollar su actividad.

El objetivo del presente trabajo es estudiar el rol a las aguas subterráneas en la producción y expansión agrícola de la provincia de San Juan, y el papel que juegan las tecnologías de riego; para brindar instrumentos de teoría económica que sirvan para el análisis de las futuras políticas dirigidas a promover el desarrollo agrícola provincial, en el afán de optimizar el uso de este recurso para que la agricultura sea perdurable en el tiempo y ambientalmente sustentable.

Palabras Claves: Desarrollo Económico Sustentable – Aguas Subterráneas - Agricultura de Regadío – Provincia de San Juan

I. Introducción

Desde la perspectiva histórica, el desarrollo agrícola en la provincia de San Juan juega un rol fundamental para el desarrollo económico local. El papel de la agricultura en éste, depende de la etapa de la historia económica en que un país (o provincia) se halla y, especialmente en la época en que el progreso económico se vuelve una gran aspiración social. Por consiguiente, el énfasis que el Estado da a la agricultura, y las formas particulares que tome la política agrícola, deben variar correlativamente.¹

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta las características propias de los cultivos sanjuaninos como ser la vitivinicultura, la olivicultura y la horticultura, determinados suficientemente por las propiedades climáticas, ambientales y geológicas, donde el riego es indispensable y la fuerte variabilidad de las fuentes superficiales de agua significa un factor de riesgo inevitable para la actividad agraria. El sistema hídrico de mayor importancia es el que corresponde al Río San Juan con un caudal medio de 65.1 m³/seg. correspondiente al periodo que va desde 1909 hasta 1999, y una desviación estándar significativa de 39.51 m³/seg., alcanzando durante ese siglo, un máximo de 223.7 m³/seg. en 1919 y un mínimo de 19.9 m³/seg. en 1968 correspondiente a un periodo de gran sequía (Anexo: Tabla 1). Hay que remarcar que este caudal tan variable es el principal determinante del agua disponible para la red de riego y para alimentar el acuífero subterráneo.

La estructura parcelaria de San Juan se caracteriza por una gran división de las tierras, donde aproximadamente el 70% de los establecimientos agropecuarios tiene menos de 10Ha (Secretaría de Planificación, 1991). Esto nos dice que la capacidad de expansión agraria mediante la incorporación de nuevas tecnologías de riego, mediante la extracción de agua subterránea, puede verse limitada debido a los costos que deben incurrir estos pequeños agricultores. El Estado Provincial supo entender las necesidades de grandes inversiones en infraestructura hidráulica que favorezcan a la agricultura regional, como ser la construcción de diques, represas, y canales .

¹ Cf. Nicholls William H., “*El lugar de la Agricultura en el Desarrollo Económico*” en Eicher y Witt, La Agricultura en el Desarrollo Económico, Centro Regional de Ayuda Técnica, México, 1968, p. 17-18.

Los incentivos para ampliar la superficie cultivada y aumentar la productividad de las tierras que actualmente se trabajan, están determinados por el beneficio y el riesgo esperado de los agricultores, donde estos depende de varios factores, como ser los precios esperados, la política tributaria, los coste del capital y las condiciones climáticas, entre otros. Pero la fuerte variabilidad de las fuentes superficiales de agua significa un factor de riesgo adicional en regiones áridas donde la agricultura puede ser llevada a cabo efectivamente mediante la irrigación de las tierras. Por lo tanto, todos los esfuerzos en “suavizar” la oferta de agua, disminuye el riesgo esperado para un beneficio dado. De aquí la inmensa importancia en inversiones encarriladas a tal fin, para lograr una desarrollo agrícola a través del mejoramiento en la eficiencia de las tierras ya utilizadas y en aumentar las posibilidades de expansión de este sector, con su consecuente efecto derrame.

El presente trabajo se organizará del siguiente modo: en la sección II, se brindará una introducción de la estructura agrícola sanjuanina, específicamente los valles de Tulum, Ullum y Zonda, que concentran la mayor superficie cultivada, mostrando las diferentes reestructuraciones que se fueron realizando a través del tiempo, consecuentes del cambio de demanda, como también las posibilidades de expansión agraria. También se realizará un estudio sobre las aguas subterráneas, utilizando la teoría económica para el análisis de las cantidades óptimas de extracción y su relación con la regulación sanjuanina. En el punto IV se contemplará el papel de la inversión y la tecnología de riego en el sector. Por último, se finalizará con las conclusiones del trabajo.

II. La Agricultura y las Aguas Subterráneas

Para entender la situación actual del sector primario de la provincia de San Juan, es conveniente conocer las diferentes reestructuraciones que fue teniendo a lo largo de la historia y las obras hídricas construidas a fin de expandir este sector. La necesidad de un control de la oferta de agua para satisfacer la demanda, ha crecido a través del tiempo y hoy en día la estabilidad de las fuentes hídricas es mucho mayor que en tiempos atrás. Este control de la entrega de agua determinó en un principio una gran dimensión del Estado Provincial, como lo fue en varias Naciones-Estados del mundo, donde las obras hídricas significaron un gran poder centralizado. En la actualidad, la extracción de agua de acuíferos

subterráneos es una inversión llevada a cabo por agricultores individuales en el afán de eliminar la fuerte estacionalidad de las fuentes superficiales o en caso de que no tenga acceso directo a estas últimas. La complementariedad de las inversiones publicas y privadas van eliminando, como se verá mas adelante, el riesgo del agricultor e incentivando al sector a expandirse.

II.1 La Estructura Agraria y las Obras Hídricas: Una breve reseña histórica

Grandes cambios estructurales han ocurrido a lo largo de la historia de la agricultura sanjuanina. Mientras que en sus comienzos predominaba la agricultura de tipo extensiva, como ser la alfalfa, el trigo, el maíz y la cebada, fue haciéndose intensiva a través del tiempo, predominando luego la vid, los olivos y las hortalizas. Es así que en 1874 eran cultivadas 63.334 has., de las cuales la alfalfa representaba el 84,4%, los cereales el 13,2%, mientras que la vid solo el 3,2% (Cuadro II – Anexo)

Hacia finales del siglo XIX esta estructura agraria comienza a cambiar, aumentando la superficie en viñedos y disminuyendo la participación de los cultivos extensivos. En 1914, la vitivinicultura comienza a ser el segundo cultivo más importante, donde la superficie con alfalfa era de 43.300 has. , la vid tenía ya 23.542 has. cultivadas y los cereales 15.512 has.. Es importante destacar que la vid, la cual es mas trabajo y capital intensiva, comienza su desarrollo en los departamentos de Capital, Santa Lucia, Rawson y Albardon, los cuales fueron constituyendo los principales asentamientos poblacionales y donde se manifiestan los principales eslabonamientos generados por el sector primario.

Para este primer periodo ya podemos encontrar las primeras inversiones hídricas de gran importancia. La primer obra de irrigación se realizó en el año 1818 en el departamento de Pocito caracterizado por esos tiempos por sus cultivos en alfalfa y cereales, construyéndose el Canal Pocito, destinado a brindar agua a estas tierras; posteriormente se realizo el Canal Angaco y luego el Canal Caucete, instaurándose de a poco en la sociedad una conciencia de la necesidad de este recurso para la actividad primaria. En 1860 el problema del riego comienza a resultar complicado debido tanto a crecidas y desbordes del río San Juan, construyéndose el Dique de la Quebrada de Zonda, llamado mas tarde Dique Soldano, embalsando parcialmente los desbordes, pasando luego por varias reconstrucciones y mejoras. En 1915 se construye el Dique Nivelador La Punilla, que como su nombre lo indica, tenia la función de nivelar los caudales de agua.

Ya para 1937 la vitivinicultura comienza a tener la mayor proporción de tierras cultivadas con 24.455 has., siguiéndole la alfalfa con 23.540 has. y los cereales con 17.620 hectáreas. También comienza un periodo de diversificación, implantándose nuevos cultivos, principalmente olivos y hortalizas. Esta tendencia continúa, teniendo una reacción fuerte a partir de 1947.

En el año 1942 se crea el Departamento de Hidráulica por parte del Estado Provincial, dos años mas tarde con la sanción de la ley provincial N° 1009 se desarrolla la impermeabilización de todos los canales de riego de la provincia (Departamento de Hidráulica, 1999). Sobre la base del dique Nivelador la Punilla, se construye en 1949, una obra de mayor envergadura, el dique nivelador Gobernador José Ignacio De la Roza, con canales impermeabilizados que complementaban esta obra.

En 1970 la estructura agraria se componía de 57.455 has de vid, 12.101 has. de cereales y forrajeras, 7.529 has en olivos, 6.380 has. con hortalizas y 3.035 has. de frutales. En esta década se realiza la construcción de la obra hídrica de mayor importancia en la provincia, el Dique Embalse de Ullum, con un almacenaje de 440 Hm³, de gran significado para la agricultura y el desarrollo sanjuanino. Sin embargo, a pesar de esta construcción, durante los meses de verano el río San Juan continúa siendo el principal alimentador del acuífero subterráneo, pero en los meses de mayo a noviembre, la represa de Ullum constituye la principal fuente de recarga (Pellegrino y otros, 1984).

A partir de 1980 los olivos comienzan a perder la importancia que habían adquirido, revirtiéndose esta tendencia durante la década del 90'. Esto se debió fundamentalmente con la instrumentación de la Ley Nacional N° 22.973 de diferimientos Impositivos, que apunta al diferimiento del pago de impuestos a empresas que invirtieran en el sector primario de varias provincias, entre las que se encuentra San Juan, el cual dejo de tener vigencia en el año 2000, pero sus efectos fueron de tal importancia que implicaron una nueva estructura agraria de la provincia.

El gran impulso de la vid a partir de 1970 llegaría hasta 1985, periodo en el cual comienza a declinar la superficie cultivada de esta. A partir de 1991 este sector comienza a repuntar nuevamente. La disminución registrada en la vid podría asociársela con la nueva reestructuración que tuvo que realizar este sector a finales del siglo XX, debido al cambio en la demanda de vinos comunes a vinos finos con aceptación en el

mercado externo. Este desplazamiento fue incentivado por parte del programa de diferimientos, el cual facilitaba el traspaso hacia uvas de mesa de exportación y uvas finas para vinificar, imponiéndole el Estado Provincial límites para la producción de vinos, a fin de tener un margen para la producción de mosto, puesto que este último implica una considerable entrada de divisas.

De este modo, en la nueva estructura agraria, los cultivos más importantes son la vid, los olivos y los frutales, con 47.529 has., 14.020 has y 11.074 has. respectivamente.

II. 2 Expansión agrícola y recursos hídricos

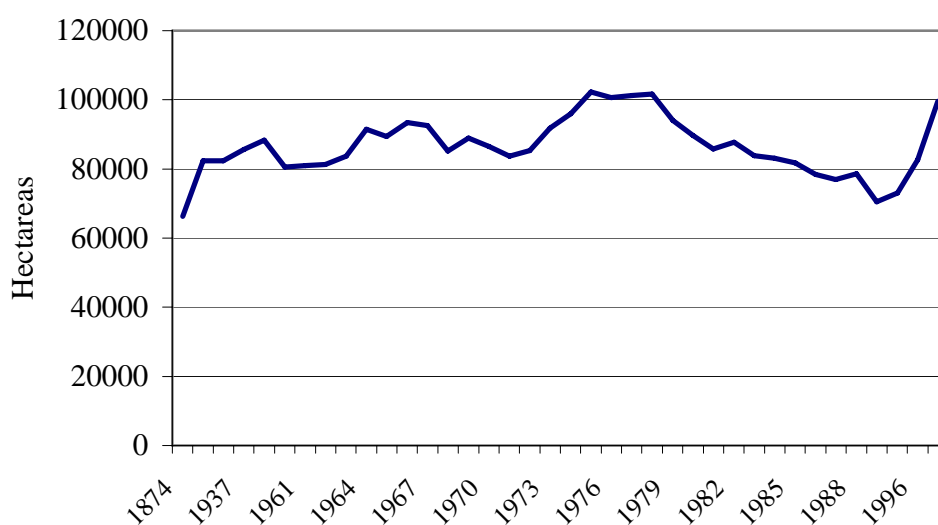
Dadas las características propias del sector agrícola con respecto a la dependencia de variables aleatorias, como ser la cantidad de agua disponible para regiones áridas donde la agricultura solo puede ser llevada a cabo mediante el riego, el control de las fuentes de agua determina gran parte de los riesgos agropecuarios. Es decir, si la cantidad a sembrar de un determinado cultivo j en el año t depende del beneficio esperado en ese mismo año respecto a otros cultivos y del riesgo esperado, cualquier inversión que tienda a disminuir el riesgo esperado para un beneficio esperado dado aumentará la cantidad sembrada de dicho cultivo. Es decir que, luego de la construcción de una obra hidráulica que tienda a mejorar la entrega de agua para riego, el incentivo para la expansión agraria debería ser mayor.

Para el caso de San Juan debe realizarse una filtración de las diferentes reestructuraciones para poder contemplar los efectos directos de la disminución de la variabilidad de agua en el área cultivada. Los cambios estructurales implican ciertos costes que podría implicar una disminución en el beneficio esperado y disminuir el área sembrada en un determinado año, a pesar de que los riesgos hídricos hayan disminuido. La evolución del área cultivada puede apreciarse mediante el Gráfico I.

Hasta 1960 puede apreciarse una tendencia creciente en la superficie cultivada, con una leve caída en el periodo 1961-63, con una fuerte recuperación hasta finales de los 70'. En este periodo como se vio anteriormente, habían sido construidas obras como el Dique Soldano y el Nivelador La Punilla para controlar el caudal del río San Juan. Los resultados pueden verse comparando las varianzas para dos muestras en los diferentes periodos. Del Cuadro I, se calculó el desvío estándar del caudal del río para el periodo

1909-1934 y 1935-1961 siendo de 52,617863 m³/seg. y 30,0626 m³/seg. respectivamente. Esto muestra como un periodo de expansión agraria se corresponde con una menor variabilidad de las fuentes de agua. Hay que tener en cuenta que en este periodo hay una reestructuración donde la agricultura comienza a volcarse en la vid.

Gráfico I : Evolución de la superficie cultivada anual en la Provincia de San Juan (en hectareas). Periodo 1874 - 2000



Fuente: Elaboración propia en basa a datos del Cuadro II

Luego de 1972, con la construcción del dique de Ullum, la superficie cultivada crece a un gran ritmo, alcanzando niveles nunca vistos en al historia agrícola de la provincia, fundamentalmente por la vid. Para esta década la variabilidad del río San Juan es de 29,56 m³/seg., y para el periodo de 30 años a partir de 1970 el caudal tiene una desviación estándar de 33,64 m³/seg.. A comienzos de los 80' hay una disminución en la superficie cultivada, recuperándose a principios de los 90' mostrando una tendencia creciente en toda la década. Este movimiento puede asociarse, a las crisis propias de la vitivinicultura, y a la reestructuración que le sigue luego.

De este modo, las inversiones públicas hídricas han jugado un rol fundamental en la expansión agraria de la provincia. Luego de que la variabilidad de los caudales del río

ha sido disminuida significativamente, la disponibilidad y variabilidad de la oferta de agua comienza a depender de las inversiones privadas en aguas subterráneas.

II.3 Las Aguas Subterráneas en la Agricultura

El análisis de las fuentes superficiales y la expansión agraria realizado en el apartado anterior, se realizó a fin de probar la dependencia de la agricultura a la entrega de agua. A pesar del aporte realizado por la inversión pública, la inversión privada en la realización de pozos para extracción del agua comenzó a realizarse a principios de los 60' inducido por las recurrentes sequías y la escasa infraestructura hídrica hasta entonces. Luego con la construcción del embalse de Ullum, la variabilidad de las fuentes superficiales disminuye y la cantidad de perforaciones comienza a disminuir. Hoy en día la expansión agraria queda fuertemente vinculada a la utilización de aguas subterráneas, pues estas no solo permiten complementar el riego en tierras donde existen fuentes superficiales sino también que permiten la expansión hacia tierras sin derecho a riego, es decir, que juegan tanto un papel de complementarias como sustitutas de las aguas superficiales. Gran papel ha ejercido sobre la utilización de aguas subterráneas el impulso de las tecnologías de irrigación, punto que se tratará en la Sección III.

Del total del área regada aproximadamente el 71% utiliza fuentes superficiales, el 4% aguas subterráneas y el 25% ambas fuentes (Miranda O., 2001). Sin embargo, para el periodo de cálculos de los datos (1991-2001) el área cultivada representa no más del 66% del área empadronada. Por lo tanto existe un gran margen de expansión, una expansión que solo puede lograrse mediante riego, y es aquí donde las aguas subterráneas deben jugar un rol fundamental.

Los costos de perforación no son para nada despreciables, al igual que los costos de extracción, los cuales dependerán de las tarifas eléctricas o del precio del combustible, dependiendo de cual se use para el bombeo.

Las principales cuencas subterráneas son las del valle de Tulum y la de Ullum y Zonda, siendo de mayor tamaño la primera, llegando a almacenar 500.000 hm³. La profundidad para el bombeo de agua va desde muy pocos metros, hasta un máximo de 100m, variando por lo general entre 2 m. y 30 m., mientras que existen perforaciones de hasta 500 m. (Agie, J., 1968 ; Furlotti y otros, 1984).

Un estudio detallado de la demanda de agua subterránea puede encontrarse en el trabajo de Omar Miranda (1999) utilizando como indicador del patrón de consumo de agua subterránea a la energía eléctrica en donde muestra que entre los 3600 pozos, los departamento que rodean a la ciudad de San Juan son los que tienen la mayor densidad de perforaciones y la mayoría se usa para riego complementario a fin de cubrir variaciones estacionales, pues el 68% de las perforaciones se encuentra en tierras con derecho a riego y con vertientes, mientras que el resto en predios sin derechos al riego.

La importancia de este recurso en las futuras posibilidades de expansión juega un papel primordial, donde el control de su extracción y contaminación es una función urgente de la política provincial para que la agricultura sea sustentable, pues si la tasa de extracción es muy alta comparada con la tasa de recarga, las aguas subterráneas se convierten en recursos no renovables (lo que se conoce como *minería* de los recursos naturales), y las consecuencias futuras pueden ser catastróficas.

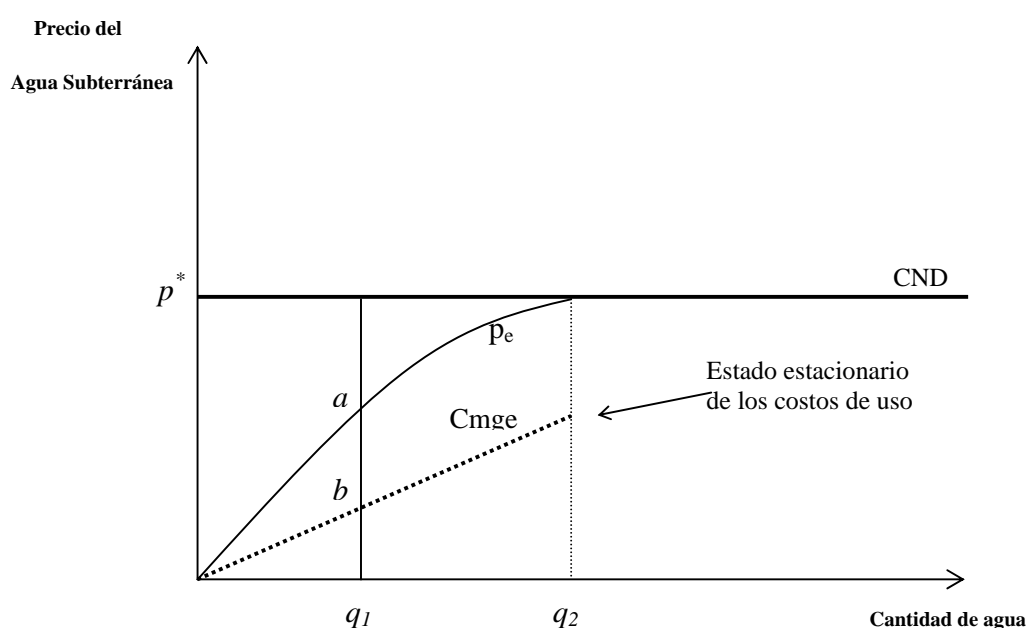
II.4 Manejo de las Aguas Subterráneas

Dada la importancia de las aguas subterráneas en el futuro de la producción agrícola, el manejo central de los mismos es fundamental para lograr un resultado socialmente óptimo con respecto a su uso. Cuando la extracción de agua excede a la recarga, el recurso se irá destruyendo a través del tiempo hasta que su oferta se demasiado escasa o el costo marginal de extracción de aguas aptas sea prohibitivo. Esto implica que el coste marginal de uso está asociado con la menor cantidad de agua disponible en un periodo futuro, es decir, un costo de oportunidad intertemporal donde una unidad usada en el presente implica la no disponibilidad de esta cantidad en el futuro. Por lo tanto, una asignación eficiente debería considerar estos costos de uso, pues ellos son los que indican la verdadera escasez del recurso. De aquí la necesidad de un precio eficiente que exhiba la verdadera oferta, el cual debería incorporar tanto los **costos de extracción** como los **costos de uso**.

Siguiendo a Koundouri, P. (2004), esto puede observarse en el siguiente Gráfico donde la línea punteada representa los costos marginales de extracción para el riego (Cmge). Si el agua no se encuentra disponible en cuanto a su calidad para riego, la alternativa será recurrir en otros costos, obviamente más elevados, como ser la

desalinización; estos se representan por la línea **CND** (costos por no disponibilidad) para la cual se supone una cantidad disponible no limitada y constante. La línea de precio eficiente muestra la eficiencia del precio del agua incorporando tanto los costos de extracción como los de uso.

Gráfico II: Manejo Eficiente del Agua Subterránea



Suponiendo que, contrariamente a la situación actual, todos los derechos de aguas subterránea pueden comprarse y venderse libremente independientemente de la tenencia de la tierra. El precio sombra del agua subterránea se encontraría entre el precio que los compradores están dispuestos a pagar y el precio al que los vendedores están dispuestos a aceptar. El comprador puede hacerse de este recurso con su coste de extracción ($b \cdot q_1$) o incurrir, en caso de que no esté disponible directamente, en CND ($p^* \cdot q_1$). Por lo tanto, la cantidad máxima a la cual se está dispuesto a pagar viene representada por la distancia $p^* a$. Pero para la cantidad q_1 los costes de uso vienen dados por la distancia ab . Si estos costes de uso no son tenidos en cuenta, la cantidad de agua

extraída será superior a la socialmente eficiente, esto puede verse extendiendo la línea de C_m hasta cortar con la línea CND . La cantidad óptima debe determinarse con el precio óptimo p_e , el cual determina un estado estacionario de los costos de uso en el momento en que la suma de los costos marginales de extracción y el de uso llegan a ser iguales a los costos que se debe incurrir para tener aguas disponible de una fuente no apta.

Por lo tanto, sin un manejo óptimo del agua o, alternativamente, en presencia de un régimen competitivo de extracción que ignore los costos de uso, el precio será ineficiente y por lo tanto su uso, al no tener en cuenta las externalidades negativas futuras ocasionadas.

Al ser difícil la estimación de los costes de uso, la instrumentación del control de extracción suele hacerse mediante otros medios. Para el caso de la provincia de San Juan, en el año 1979 se modificó el Código de Aguas provincial prohibiéndose la concesión de nuevas perforaciones para el uso de aguas subterráneas, aunque algunas perforaciones se realizaron posteriormente con permisos acordados anteriormente a la resolución. Es decir, que el instrumento utilizado por la provincia fue la restricción de oferta, lo cual significa una medida para aumentar el precio del agua subterránea y por ende, contemplar de alguna manera, los costes de extracción. Como este sistemas de concesiones rige hasta hoy en día, para el otorgamiento de permisos adicionales debería realizarse estudios hidrogeológicos para tener conocimiento de la oferta natural del este recurso, y mantener una cantidad inferior a q_2 , para evitar la sobreexplotación de este recurso.

II.5 Contaminación: Anegamiento y Salinidad

Otro factor indispensable a tener en cuenta para la agricultura provincial son las prácticas incorrectas de riego que producen anegamiento, salinización, degradación de los suelos y contaminación del agua que genera grandes externalidades para otros agricultores. El anegamiento se produce por el aporte excesivo de agua en sistemas que tiene un drenaje natural limitado. Una vez ocurrido el anegamiento, la salinidad aparece elevando la concentración de sales en la tierra regada. Uno de los factores que producen salinización es el crecimiento de la capa freática. Es decir que si la precolación y la recarga superan a la evaporación y al drenaje natural, los niveles freáticos suben y terminan por causar anegamiento. El remedio para la subida de los niveles freáticos consiste en el

drenaje y en un mejor manejo de las aguas para reducir la percolación; pero el primero es caro, y el segundo exige inversiones a nivel de las fincas y la capacitación los agricultores.

Sin bien no hay datos que calculen la contaminación general en la provincia, es claro que el papel del Departamento de Hidráulica provincial en el mantenimiento de los drenes, junto a los controles de los niveles freáticos realizados por organismos gubernamentales y/o agricultores, serían políticas apropiadas para evitar el anegamiento y la salinidad. Otro factor de suma importancia es la implementación de sistemas de riego modernos que aumenten su eficiencia, esto se analizará de aquí en adelante.

III. La tecnología de riego

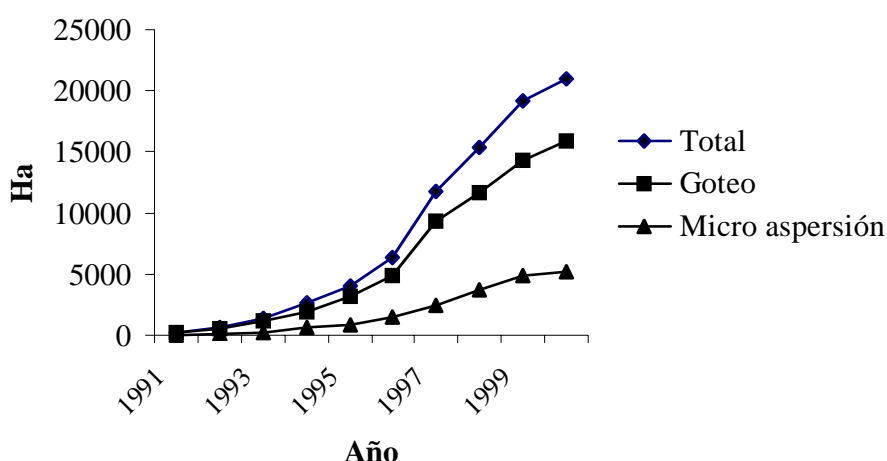
Al tratar la tecnología de riego, se diferenciará entre las tecnologías tradicionales y las modernas. Las primeras son aquellas basadas en la energía gravitacional donde la irrigación se realiza a través de sistemas por surco y por inundación, dispersando el agua sobre el área cultivada. En las tecnologías modernas, se agruparan aquellas que reciben el nombre de riego presurizado de bajo volumen, predominando en estas el riego por goteo y por micro aspersión.

Las tecnologías modernas comienzan a tener importancia en Argentina a partir de 1991, impulsado en las provincia de La Rioja y Catamarca, siguiendo con un crecimiento mayor en la provincia de San Juan (Chambouleyron y otros, 1998). Este gran impulso de las tecnologías de riego presurizado de bajo volumen, puede verse en el Grafico III, mostrando el fuerte crecimiento que tuvo en la década del noventa, donde los costes de inversión de estos equipos bajaron con respecto a los años anteriores y los incentivos para su implementación comienzan a ser mayores. Como se verá mas adelante, esta tendencia creciente de las tecnologías modernas tiene un efecto importante sobre el uso de las aguas subterráneas, y a su vez, la disponibilidad de este recurso es un factor crucial para los emprendimientos de tecnificación de riego.

En sus inicios, las tecnologías modernas comienzan a adoptarse en tierras sin derechos de agua superficial para riego, tierras marginales, de bajo precio, utilizándose solamente fuentes subterráneas. Luego, los sistemas por goteo y micro aspersión comienzan a utilizarse en tierras con derecho a riego, sirviéndose tanto fuentes superficiales como

subterráneas (Miranda, 2001). En el trasfondo de esta adopción se encuentra la comparación, por parte del agricultor, de los beneficios y coste marginales de un nuevo y más tecnificado proyecto de irrigación.

Gráfico III : Evolución de superficie regada con tecnologías modernas. Periodo 1990 - 2001, Pcia de San Juan



Fuente: Elaboración propia en base a los datos del Cuadro II (Anexo)

Lo que diferencia las tecnologías modernas de las tradicionales, además de los costos de inversión, es la eficiencia en la irrigación asociada. La eficiencia en el riego se calcula como el cociente entre el agua efectiva y el agua aplicada por el agricultor al campo. Mientras que el agua aplicada se define como el monto total de agua usada por el agricultor para regar el campo, el agua efectiva es la cantidad realmente usada por el cultivo. La diferencia de estos dos conceptos claves se da por la pérdida de agua relacionada a los procesos de evaporación y por drenaje de subsuelo. La eficiencia global para la Argentina relacionado a las practicas tradicionales es, en promedio, del 40% (Banco Mundial, 2000). Esto significa que cada 10 litros usados para el riego, solo 4 litros son los realmente usados por el cultivo. Esto muestra la gran ineficiencia en el uso de agua derivado de los métodos de riego por surco e inundación.

La teoría económica se puede aplicar para determinar la tecnología a utilizar y la cantidad óptima de agua a usar, es decir, aquella que maximiza los beneficios del productor agrícola. En el trabajo de Caswell y Zilberman (1986) se focaliza el rol que juega la calidad de la tierra en el momento de adoptar una tecnología determinada, llegando al resultado de que bajo ciertas condiciones, las tecnologías de riego modernas aumentan la producción a la vez que ahorran agua, pero estas ganancias derivadas de la tecnología son mayores cuando la calidad de la tierra es menor. Por lo tanto, existe una calidad de la tierra α_0 tal que para una calidad inferior a éste nivel crítico, $\alpha < \alpha_0$, la inversión en la tecnología de riego implica una ganancia relativamente mayor que para niveles de calidad mayores.

La división legal dicotómica con respecto al derecho a riego dada en la Provincia de San Juan, es un factor adicional en el estudio de la elección del agua y tecnología a usar, pues en tierras sin derecho a riego la decisión de cultivarlas o no, depende fuertemente de la forma técnica de extraer el agua para regarlas, mientras que en tierras con derecho a riego, la implementación de tecnologías mas complejas dependerá del producto marginal neto asociado.

III.1 Modelo de Elección

Se presentará un modelo de elección de la aplicación de agua para el cultivo y la elección de la tecnología de riego basado en los de optimización, comúnmente usados en la literatura económica, tratando de explicar formalmente las decisiones y sus consecuencias para provincias en que la agricultura solo es posible mediante la irrigación, como lo es la provincia de San Juan. Aquí se supondrá que la calidad de la tierra es relativamente homogénea, pues se pretende mostrar como se determina la cantidad de agua a utilizar por un agricultor racional y la tecnología a emplear, y como puede afectar esto a los recursos hídricos subterráneos. Supongamos primeramente que estamos tratando con un monocultivo, algo característico de los minifundios sanjuaninos, con un monto fijo de hectáreas. Se denotará a la producción y al agua efectiva por hectárea con c y e , respectivamente. Se utilizará la función de producción usada por Caswell y Zilberman (1986), la cual es una forma de caracterizar la productividad del agua; esta viene dada por

$$c = f(e) \tag{1}$$

Con esta función se quiere significar que la producción de cada hectárea será una función del agua efectiva por hectárea. En esta exposición se supondrá que la función es creciente, es decir, que la productividad marginal del agua efectiva es positiva, pero a tasas decrecientes hasta un determinado punto de saturación, llegando a alcanzar el producto, *ceteris paribus*, una cantidad del cultivo por hectárea c^* para una cierta cantidad de agua efectiva e^* , que depende del cultivo específico que se trate y de las condiciones en la que está la tierra.

El agua aplicada por hectárea bajo la tecnología i se denota por a_i donde $i = t, m$ donde t quiere significar el uso de las tecnologías tradicionales, mientras que m el de las modernas. La efectividad de riego, tal como fue definida anteriormente, en términos matemáticos viene dada por el cociente

$$h_i = e_i / a_i \quad (2)$$

Con respecto a las relaciones funcionales cabe aclarar que h_i vendría determinado por los la tecnología de irrigación, i , y por la calidad de la tierra, pero como estamos suponiendo que es homogénea, el ignorarla por ahora no perturbará el análisis. Por otro lado, el agua efectiva, e_i , queda determinado por el coeficiente de eficiencia en el riego, h_i (y por ende, de la tecnología) y por la cantidad de agua aplicada, a_i , siendo esta última la variable de elección.

Por las definiciones dadas, puede apreciarse que se cumple la siguiente relación : $0 < h_t < h_m < 1$. Esto es así debido a que las tecnologías de riego por goteo y micro aspersión presuponen una mejor utilización del agua que los métodos por surco y por inundación, de modo que las aguas que aplican las tecnologías modernas, al ser ahorradoras, tienden a aproximarse al agua efectivamente utilizada por el cultivo particular.

Al momento de tener en cuenta los costos, evidentemente las tecnologías modernas al ser mas capital intensivas son mas costosas que las tradicionales. Se denotará a el costo por hectárea con k_i , incorporando tanto los costos de operación propios de la tecnología como el costo de oportunidad de la inversión realizada, sin incluir los costos propios de la utilización del agua. Puesto que las tecnologías modernas implican un costo

elevado en la instalación inicial, estos pueden ser diferidos a través del tiempo, rol que cumple el mercado financiero, de manera de poder incluirlos aquí junto con los costos operativos de la campaña, por mas de que este análisis sea estático. La elección dinámica para el agricultor en evaluar la inversión mediante el cálculo del valor actual neto, es lo que debería hacerse en realidad para determinar la conveniencia de un proyecto tecnológico, pero aquí el análisis se hará a través de la renta de la tierra bajo dos posibles tecnologías y la elección por una u otra quedará en el signo de la cuasi-renta diferencial. Debido a los mayores costes que implican la complejidad tecnológica, se cumple que $k_m > k_t$.

La elección por parte del agricultor de la tasa de aplicación de agua y de la tecnología de riego, aquella maximizadora de sus beneficios, puede dividirse en dos pasos: primero determina el agua a aplicar para cada tecnología y luego elige la tecnología de riego que le resulta más rentable.

Sea $\Pi_i(\alpha)$ la cuasi-renta por hectárea, es decir, la renta exclusiva de la tierra, con la tecnología i , y suponiendo que se le cobra el precio p_a por el agua aplicada, donde está determinado por los costos necesarios para obtener el agua en condiciones de riego. Debido a las características propias del mercado de agua en la provincia donde históricamente en el “mercado” de agua, la oferta actúa para responder las necesidades de demanda, este podría representar un precio privado o uno social, dependiendo de si existen medidas regulatorias de oferta para su control, o por ejemplo, el canon por el mantenimiento de los drenes por parte del Departamento de Hidráulica provincial. Luego el problema de la elección sería determinado mediante la resolución del siguiente problema

$$\Pi_i = \underset{a_i}{\text{Max}} \{ p f(h_i a_i) - p_a a_i - k_i \} \quad (3)$$

Al resolverlo, se tiene la siguiente condición de primer orden

$$p f'(h_i a_i) h_i(\alpha) - p_a = 0 \quad (4)$$

Denotando por f' al producto marginal del agua usada (aplicada), siendo, matemáticamente la derivada parcial de la función de producción con respecto al agua aplicada, es decir, $f'(\cdot) = \partial f(\cdot) / \partial a_i$. Es oportuno definir aquí el precio del agua efectiva

como el precio del agua aplicada dividido la eficiencia del riego. Esta definición deviene de la necesidad de establecer una relación precio-cantidad del agua usada por el cultivo, ponderando el precio o coste marginal de la utilización de los recursos hídricos por un factor que es el inverso a la eficiencia de irrigación, de manera que el ahorro del agua determinará mas bien la cantidad de agua que efectivamente se usa por la planta; pero como el precio cuantifica el costo de oportunidad del agua efectiva, es evidente que éste será mayor cuanto mayores sean las perdidas de agua en la irrigación. La condición de primer orden también puede expresarse como

$$pf'(\cdot) = p_a / h_i \quad (5)$$

Luego el óptimo requiere que el agricultor aplique agua a sus tierras hasta el punto en el que el valor del producto marginal de ésta sea igual al precio del agua efectiva. Puesto que el precio del agua efectiva bajo la tecnología moderna es menor debido a la mayor eficiencia de riego, mayores niveles de agua efectiva serán usados y por las características de la función de producción, un mayor producto será obtenido. Ahora, dada una cierta tecnología, si tenemos dos calidades de tierra diferentes, el coeficiente de eficiencia de irrigación será mayor para aquella tierra de mejor calidad y por lo tanto menor será el precio del agua efectiva, y por ende, el producto por hectárea también será mayor. Por lo tanto, los defectos por calidad de tierra podrían ser compensados con la instalación de tecnologías modernas. De aquí podemos ver el rol fundamental que juegan las tecnologías de riego presurizado de bajo volumen para lograr un mayor producto por hectárea, primer paso para lograr una expansión agrícola eficiente, un mayor aprovechamiento de las tierras y un mejor uso del recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos.

De la condición de primer orden del problema de optimización se obtiene la cantidad de agua que maximiza la cuasi-renta del agricultor. Para ser mas ilustrativos, se usará una función de producción de Cobb Douglas, comúnmente utilizada en la literatura económica. Denotando por B , a todos los otros insumos y condiciones climáticas-ambientales intervinientes en la actividad agrícola, y δ , un factor que determina la

influencia de la cantidad de agua efectiva en el cultivo, tal que $0 < \delta < 1$, tenemos la siguiente función de producción

$$c_i = B e^\delta, \quad \text{para } e \leq e^* \quad (6)$$

Donde e^* indica el punto de saturación, indicando la máxima cantidad de agua consumida por el cultivo. Aplicando la condición de primer orden, se tiene

$$B \delta e_i^{\delta-1} = p_a / h_i$$

De aquí obtenemos que

$$a_i = \{ (B \delta)^{1/1-\delta} h_i^{\delta/1-\delta} \} / p_a^{1/1-\delta} \quad (7)$$

A partir de esta relación que indica la cantidad óptima de agua a utilizar por el agricultor para una determinada tecnología i , podemos resaltar los siguientes hechos:

- Puesto que la tecnología moderna implica una mayor eficiencia en el riego, es decir, $h_m > h_t$, luego por (7), la cantidad de agua aplicada a las tierras es mayor, en otros términos, $a_m > a_t$. Esto deviene de la conducta racional del agricultor al observar que con las tecnologías modernas la eficiencia de riego es mayor, induciéndolo a aplicar mayores niveles de agua para de este modo, aumentar la cantidad de agua efectiva y con ella el cultivo por hectárea. De aquí se desprende un hecho social fundamental: Si bien las tecnologías de riego presurizado son ahorradoras de agua, la conducta de maximizar los beneficios particulares por parte del agricultor lo llevan a aplicar mayores niveles de agua, lo que puede generar un resultado socialmente ineficiente relacionado a la sobreexplotación de este recurso.
- Otro factor a destacar es el precio del agua. Como se dijo, este precio indica los costes que se deben incurrir para tener agua lista para regar, entre estos se encuentran, los costos de perforaciones, los costes de energía o combustible para bombear el agua y las mediadas de política que implique cuotas o tributos, el canon anual comúnmente cobrado por el departamento

de hidráulica de la provincia en tierras con derecho a riego a fin de utilizar el agua, ya sea superficial o subterránea. De la relación (7) se observa que con precios mayores de agua, el agua a utilizar será menor para cualquier tecnología. De aquí surge un resultado importante para la política económica provincial pues, mediante la política fiscal o regulatoria que aumente este precio, puede controlar el uso de este recurso escaso.

- Por ultimo, dada la división legal de tierras en la provincia con respecto al derecho a riego, es trivial que aquellas tierras sin derecho al riego superficial tendrán un precio del agua mayor, debido a que el total de las fuentes hídricas deben extraerse del subsuelo mediante bombeo, de aquí se deriva que la cantidad de agua a aplicar será menor, donde las tecnologías modernas juegan un rol fundamental para el mejor aprovechamiento de esas aguas. De este modo las condiciones del mercado del cultivo, como ser favorables precios internacionales, aumentaría la demanda por tecnologías de riego moderna para la explotación de nuevas tierras.

Debido al aumento del agua a aplicar en la utilización de tecnologías modernas, la demanda de aguas subterráneas, en el papel tanto de complementarias como de sustitutas de las superficiales, es mayor. Por lo tanto la perdurabilidad del recurso hídrico subterráneo es necesaria para poder apoyar los emprendimientos agrícolas adicionales y los ya establecidos que aumentaron en productividad debido a las técnicas más eficientes de irrigación. Es decir que las políticas medioambientales encaminadas a propender la sustentabilidad de este recurso tienden a generar un soporte físico para el desenvolvimiento tecnológico y el consecuente aumento en las hectáreas cultivadas hasta el punto de saturación de la difusión tecnológica, siguiéndole, como especie de suerte, un nuevo cambio tecnológico, impulsado por las posibilidades de expansión hacia tierras nuevas y por el incremento de los rendimientos de las tierras ya cultivadas, el que implica una mayor eficiencia de irrigación y con ello un mejor manejo en el uso del agua, aunque con una mayor tasa de extracción. El curso final de estos sucesos interrelacionados por las propiedades físicas y por las señales de mercado puede converger a una expansión agraria

temporalmente eficiente o no; quedando en manos de las políticas hídricas el futuro resultado de las fuerzas propias del mercado.

Detrás de estas conclusiones extraídas a partir de la ecuación (7) y de sus relaciones, queda la cuestión de determinar que tecnología usar en tal o cual circunstancia. Si bien el uso de las tecnologías de riego mas complejas aumentan la productividad media de las tierras, la inversión en éstas por parte del agricultor son motivadas por la renta asociada. Puesto que las inversiones iniciales en estos equipos pueden ser considerables, como así también pueden implicar unos mayores costos operativos, el agricultor decidirá por aquella tecnología que le reditúe una mayor renta, es decir, si los ingresos derivados de la instalación superan a sus costes. De aquí que la decisión final de la adopción de estas tecnologías dependerá de la renta diferencial entre las dos tecnologías, es decir

$$\Delta\Pi = \Pi_m - \Pi_t = p [c_m(\alpha) - c_t(\alpha)] - p_a [a_m(\alpha) - a_t(\alpha)] - (k_m - k_t) \quad (8)$$

Debido a las características de la función de producción y al ser mayor la eficiencia en el riego en tierras de mayor calidad, esta diferencial disminuirá, pudiendo ser negativa, a medida que la calidad de las tierras se incrementan. Esta hipótesis nos dice, que si la calidad de la tierra es muy superior, los métodos tradicionales deben ser elegidos por los agricultores. Obviamente la decisión final del agricultor también dependerá de si los costes de instalación varían, y del precio del cultivo. Este ultimo jugo un gran papel en las decisiones de la instalación de tecnologías de riego de los agricultores sanjuaninos, pues como señala Miranda O. (2001), la mayoría de estas inversiones se concentro en los frutales, como ser la uva para consumo fresco y aquella para vinificar, y el olivo para la producción de aceite, por su alto valor en el mercado externo y condiciones impositivas favorables. Esto implica también la importancia de la tecnología de irrigación para el desarrollo industrial sanjuanino, dado el gran porcentaje de industrias alimentarias consumidoras de insumos agrícolas internos, como ser las bodegas vineras y las aceiteras.

III. 2 La tecnología de riego y la expansión agraria: Evidencia Empírica

Como se señaló anteriormente, las tecnologías modernas para irrigación juegan un rol muy importante en la expansión agrícola, y mas aun en provincias como San

Juan, donde el agua es una condición *sine qua non* para la actividad agrícola. La explosión en la década del 90' de estas instalaciones de riego modernas se vieron acompañadas por un aumento en la superficie cultivada del 36% (Cuadro III). Nos es mera casualidad que los mayores aumentos se registraron en los olivos, los frutales y la vid; cultivos donde se concentraron las mayores inversiones en irrigación. Mientras que en 1990 la superficie cultivada en Olivos era de 5.147 has., en el año 2000 alcanzó las 14.000 hectáreas. Del mismo modo los Frutales que a principios de la década representaban 1.910 has., alcanza unas 6565 has. a principios del nuevo siglo. En menor grado queda registrada esta expansión en su principal cultivo, la vid, con un crecimiento del 3%, pero con fuertes cambios estructurales internos relacionados con los varietales finos mas demandados, y el acomodamiento de los precios relativos.

Con respecto a la distribución de las inversiones en tecnologías modernas de irrigación, es importante señalar que al representar grandes inversiones iniciales como mayores costes de operación, estas se encarrilaron, como se señaló anteriormente, hacia cultivo y sectores capaces de enfrentar estas economías de escala. Entre estas características se encuentra el tamaño de explotación agropecuaria, el impulso de diferimientos impositivos, el mercado del cultivo y otros factores que hacen que la brecha dada por (8) se amplíe.

Para mostrar la influencia de la tecnología en el aumento de las hectáreas cultivadas, se podría comparar la proporción de hectáreas con tecnologías modernas en la cantidad total de hectáreas regadas (cultivadas). Para 1990 este cociente es de 0,003531 (258 has / 73.068 has), es decir, que ni el 1% de la superficie regada total puede ser explicada por sistemas de goteo y micro aspersión; mientras que para el año 2000 el cociente es de 0.21075 (20.992 has / 99.606 has), o sea que aproximadamente el 21% del área total cultiva es regada con métodos de riego presurizados de bajo volumen. Por lo tanto, la expansión hacia nuevas tierras y la mayor productividad en la tierras ya cultivadas con los cambios estructurales mencionados, fue acompañado por la difusión de tecnologías de riego mas complejas, y dado el mayor requerimiento de agua que requiere todo este proceso de desarrollo, particularmente por el cultivo en nuevas tierras sin derecho a riego como por los incentivos a utilizar mas agua derivados del mejor aprovechamiento de éstas

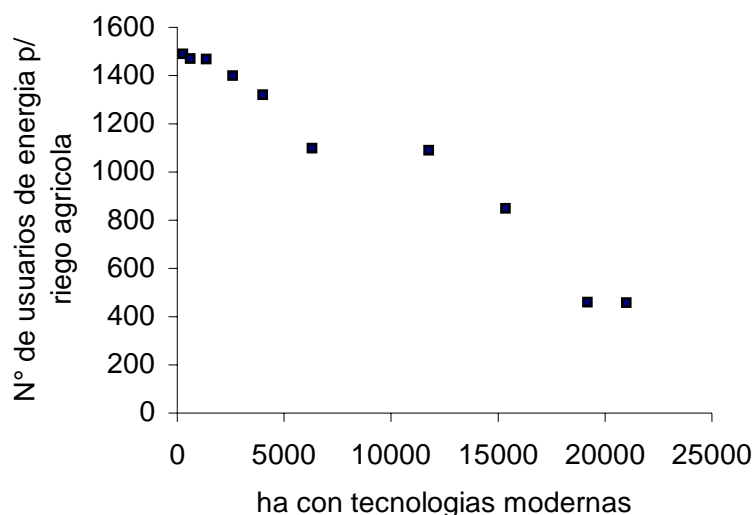
generado por las tecnologías de irrigación modernas, es que se sostiene la hipótesis central del presente trabajo: el desarrollo agrícola de la provincia requiere de una utilización mayor de aguas subterráneas tanto para riego total como complementario, y a su vez la disponibilidad de este recurso en cuanto a su calidad y cantidad intertemporal es central para el aprovechamiento de tecnologías de riego mas eficientes y para que este desarrollo agrícola sea perdurable y continuo.

III.3 Tecnología de riego, aguas subterráneas y energía eléctrica

Implementar un sistema de riego por goteo demanda mayores niveles de inversión inicial. Al difundir el uso de aguas subterráneas, las tecnologías modernas tienden a aumentar los costos operativos del agricultor individual. Como se señalo antes, se puede bombear agua utilizando energía eléctrica o combustible. Hay una notoria diferencia entre estas dos fuentes energéticas en lo que hace a los costos del agricultor y que determinará una relación muy importante entre el uso del agua subterránea en las diferentes estaciones de la campaña con la elección de la energía para el bombeo. Mientras que contratar el servicio de energía eléctrica agrícola implica altos costos fijos (cargo fijo mensual de energía haya o no consumo realizado por el usuario), en el uso del combustible el costo fijo es bajo, pero el variable (es decir, aquel que depende de la cantidad de agua extraída) es alto. Por lo tanto, el agricultor al minimizar sus costes tendrá en cuenta si el uso que realiza de agua subterránea, es complementario o sustituto de otras fuentes que pudiera o no tener. Es decir, si el agricultor bombea agua para satisfacer los meses de verano, que es donde mas baja es la oferta superficial, le convendrá usar combustible, pues de ese modo se liberaría del cargo fijo que debería pagar por la tarifa agrícola. Si por el contrario, el agricultor usa solo agua subterránea para el riego, entonces le convendrá contratar un servicio eléctrico, pues el cargo variable es menor en relación al combustible.

Durante la década del 90', a la vez que se hizo notar un fuerte impulso en tecnologías de riego modernas, hubo una disminución en al cantidad de usuarios que contrataban la tarifa eléctrica. Esta fuerte relación puede también verse en un diagrama de dispersión (Gráfico VI).

Grafico IV: Tecnología de riego y ahorro de energía



Fuente: Elaboración propia en base a los Cuadro III y IV del Anexo

La explicación que se realiza en el presente trabajo para este hecho reside en la mayor eficiencia derivada de los sistemas de riego presurizados de bajo volumen: luego de la instalación de sistemas de tecnología moderna, la demanda por aguas subterráneas es canalizada solo en periodos estacionales, mientras que durante el año, al ser mas eficiente la utilización de las fuentes superficiales, no se requiera en la misma intensidad el agua del subsuelo, por lo tanto le convendrá al agricultor librarse del costo fijo de energía eléctrica y sustituirlo con combustible o con tarifas eléctricas no agrícolas que requieren una menor utilización de kw/hora. Esta hipótesis se refuerza con el hecho de que la distribución espacial de los pozos se concentra en los departamentos que rodean la ciudad de San Juan y que por lo tanto utilizan las aguas subterráneas en forma complementaria, sin embargo aquellos departamentos mas alejados que tienen una mayor dependencia del agua del subsuelo, registran un mayor consumo de energía eléctrica para riego (Miranda O., 1999). A pesar de esto una cierta relación inversa entre las tecnologías mas complejas y el uso de energía eléctrica de tarifa agrícola debe verificarse en tierras sin derecho a riego siguiendo la hipótesis sostenida en este apartado en cuanto al efecto que produce la eficiencia en

irrigación por la menor cantidad de Kw/hora necesarias, y aquí la sustitución podría hacerse a través del contrato de tarifas eléctricas no agrícolas.

IV. Conclusiones

El principal resultado de este trabajo, es la fuerte relación que existe entre la expansión agraria y la mayor productividad agrícola, con el desarrollo sustentable de los recursos hídricos y en particular en lo que se refiere a la explotación de fuentes subterráneas dada la etapa histórica de desarrollo económico en la que se encuentra la provincia. Al tratar los aspectos históricos se observó como la agricultura provincial fue extendiéndose a la par de construcciones de obras hídricas que aprovecharan mejor el uso de las fuentes superficiales, dadas principalmente por el caudal del Río San Juan. Sin embargo, el posterior desarrollo no pudo quedar acotado por este recurso, de manera que estas mayores exigencias históricas llevaron a los agricultores a realizar la explotación de recursos hídricos subterráneos, lo cual no solo posibilita disminuir el riesgo agrario proveniente de la variabilidad de la entrega de agua, sino también la expansión hacia nuevas fronteras alejadas del oasis formado en los departamentos que rodean a la ciudad de la provincia. De aquí la importancia de este recurso en el estadio actual de desarrollo, en el que se observa una demanda mundial creciente por los productos de la zona y sus consecuentes eslabonamientos hacia otros sectores que implican un mayor nivel de ocupación.

Al ser la agricultura sanjuanina tan dependiente del riego, ésta será perdurable si su insumo principal (agua y tierra) es perdurable. El mal uso de las técnicas de riego produce una serie de efectos contaminantes, tanto de los acuíferos como de las tierras cultivadas. Por lo tanto la política agraria provincial debe ir conjuntamente con las políticas medioambientales a fin de tener una agricultura sustentable.

La promoción de las tecnologías de riego presurizado de bajo volumen contribuye a aumentar la productividad de las tierras regadas, mejorar el uso del agua e incentivar la producción en nuevas tierras. Sin embargo los costos para adquirirla pueden ser prohibitivos para pequeños agricultores, los cuales son la gran mayoría de la Provincia de San Juan.

Las conclusiones arribadas en cuanto al uso del agua y la tecnología de riego fueron de especial importancia a la hora de determinar la política económica regulatoria capaz de internalizar el precio sombra de las aguas tanto subterráneas como superficiales. Se vio el incentivo a una mayor utilización de agua que produce la mayor eficiencia en su utilización. Este efecto puede apaciguarse con un mayor precio del agua. Las políticas que actúan sobre este precio se encuentran establecidas por los cánones cobrados por el departamento de hidráulica, pero con respecto al uso de aguas subterráneas su precio es un precio privado derivado de los costes de extracción. Por lo tanto, para aspirar a un uso socialmente eficiente, los costos ínter-temporales que tiene la extracción de aguas subterráneas deben ser tenidos en cuenta por los agricultores a la hora de tomar las decisiones sobre la elección de bombear agua del subsuelo.

Si bien un instrumento de control del uso de las aguas subterráneas puede hacerse a través de la tarifa eléctrica, hay muchos incentivos y cierta facilidad en eludirla, dada su capacidad de sustitución por otras fuentes energéticas. Un control directo sobre la relación de cantidad de pozos por hectárea, en relación con el estado de las aguas subterráneas en la región específica, puede ser más eficaz para el control de la extracción. A pesar de toda medida que pudiese imponerse, el marco institucional y legal es fundamental para que queden correctamente aplicadas las medidas de control directo o regulación. De esta manera, el carácter privado que tiene las aguas subterráneas (Código Civil Argentino), puede limitar en cierto modo algunos tipos de regulación más directa.

Adicionalmente, el buen estado de los acuíferos determina, en gran parte, la base para el asentamiento tecnológico, pues como se vio la difusión de tecnologías modernas de irrigación traería aparejado una mayor demanda de fuentes subterráneas, de aquí la gran importancia que juegan estas en el desarrollo tecnológico agrícola y, en consecuencia, en el incremento de la productividad total derivada de esta serie de innovaciones de irrigación.

Bibliografía

Agie, J (1968) *Almacenamiento de agua subterránea en las cuencas de Tulum y Ullum-Zonda*. Centro Regional de Aguas Subterránea (P-013). Secretaría de Recursos Hídricos, San Juan.

Chambouleyron, J; Fornero, L; Mirábile, C; Morábito, J; Núñez, M; Salatino, S (1998) *Riego Presurizado: su evolución en diferentes regiones de Argentina*. La Revista del Riego 14, 20-23.

Carruter, I. y Stoner, R. (1981) *Economic Aspects and Policy Issues in Groundwater Development*. World Bank Staff, Working Paper N° 496.

Caswell, M. y Zilberman, D. (1986) *The Effects of Well Depth and Quality on the Choice of Irrigation Technology*. American Journal of Agricultural Economics, Vol. 64 N°5.

CEPAL - CFI (1963) *Los Recursos Hidráulicos de Argentina*. Informe Preliminar sobre las labores cumplidas por la misión conjunta de la CEPAL Y CFI.

Conrad J. M. y Clark, C. W. (1987) *Natural Resource Economics: Notes and problems*. Cambridge University Press.

Departamento de Hidráulica (1999) *Sistema de riego y distribución del agua en los valles de Tulum Ullum y Zonda*. Cuaderno de Divulgación, N° 1. Gobierno de la Provincia, San Juan.

Feder G., Just R. y Silberman D. (1981) *Adoption of Agricultural Innovations in Developing Countries: A Survey*. World Bank. Staff Working Paper N° 444.

Foster, S. , Chilton J. , Moench, M., Cardy, F. Schiffler, M (2000) *Groundwater in Rural Development*. Worl Bank Technical Paper N° 463.

Furlotti R., Guimaraes R. y Pellegrino, J., (1984) *Condiciones Hidrogeológicas e hidroquímicas en la cuenca de Ullum-Zonda*. Documento técnico D-95. Centro Regional de Aguas Subterráneas, San Juan.

Gobierno de la Provincia de San Juan (1991) *Estudio sobre vitivinicultura de San Juan*. Secretaría de Vitivinicultura, Gobierno de la Provincia, San Juan.

Koundouri, P. (2004) *Current Issues in Economics of Groundwater Resource Management*. Journal of Economic Surveys Vol. 18 (N° 5)

Miranda, O. (1999) *El uso de agua subterránea para riego en los valles sanjuaninos*. Primeras Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y Agroindustriales, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires.

Miranda, O. (2001) *Difusión de tecnología de riego presurizado de bajo volumen en la Provincia de San Juan*. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan.

Miranda, O. (2002) *Difusión de tecnología de riego en el oeste argentino*. Revista Argentina de Economía Agraria. Nueva Serie, Vol. V(1), 3-14.

Nicholls, William H., *El lugar de la agricultura en el Desarrollo Económico* ..Centro Regional de Ayuda Técnica, México, 1998 .

Secretaría de Planificación (1991) *Censo Nacional Agropecuario 1988. Resultados Generales. Provincia de San Juan*. Vol. 14. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Buenos Aires.

Young, R. A. y Haveman, R. H. (1985) *Economics of Water Resources : A Survey*. Handbook of Natural Resource and Energy Economics. Vol. II. Kneese Sweeney Editors.

Anexo: Cuadros de datos utilizados

Cuadro I: Caudales Medios del Río San Juan. Periodo 1909 -1999

Año	Caudal m3/seg.	Variación(%)	Año	Caudal m3/seg	Variación(%)
1909	34.6	---	1955	42.6	-29.47
1910	30	-13.2947977	1956	31.4	-26.2910798
1911	26.4	-12	1957	61.3	95.2229299
1912	58.4	121.212121	1958	39.9	-34.9102773
1913	33	-43.4931507	1959	40	0.25062657
1914	208	530.30303	1960	44.1	10.25
1915	143.2	-31.1538462	1961	52.2	18.3673469
1916	54.1	-62.2206704	1962	37.7	-27.7777778
1918	60.9	12.5693161	1963	81	114.854111
1919	223.7	267.323481	1964	34.1	-57.9012346
1920	96.8	-56.7277604	1965	88.9	160.703812
1921	117.17	21.0433884	1966	49.7	-44.0944882
1922	76.5	-34.7102501	1967	31	-37.6257545
1923	54	-29.4117647	1968	19.9	-35.8064516
1924	29.5	-45.3703704	1969	28.3	42.2110553
1925	47.4	60.6779661	1970	21	-25.795053
1926	139.5	194.303797	1971	23.5	11.9047619
1927	75.3	-46.0215054	1972	101.5	331.914894
1928	59.9	-20.4515272	1973	53.5	-47.2906404
1929	62.7	4.67445743	1974	52.9	-1.12149533
1930	123.3	96.6507177	1975	34.5	-34.7826087
1931	87.5	-29.0348743	1976	28.9	-16.2318841
1932	51.7	-40.9142857	1977	71.3	146.712803
1933	50.9	-1.54738878	1978	101.1	41.7952314
1934	103.6	103.536346	1979	46.1	-54.4015826
1935	50.1	-51.6409266	1980	73.5	59.4360087
1936	44.7	-10.7784431	1981	32.6	-55.6462585
1937	66.6	48.9932886	1982	120.6	269.93865
1938	38.7	-41.8918919	1983	83.2	-31.0116086
1939	32	-17.3126615	1984	114.6	37.7403846
1940	69.8	118.125	1985	45.8	-60.034904
1941	163.6	134.383954	1986	80.8	76.419214
1942	92.6	-43.398533	1987	147.4	82.4257426
1943	67.7	-26.8898488	1988	52	-64.7218453
1944	88.8	31.1669129	1989	50.9	-2.11538462
1945	42.7	-51.9144144	1990	32.3	-36.5422397
1946	36.6	-14.2857143	1991	77.2	139.009288
1947	37.89	3.52459016	1992	77	-0.25906736
1948	59.1	55.9778306	1993	53.8	-30.1298701
1949	36.2	-38.7478849	1994	46.5	-13.5687732
1950	38.8	7.18232044	1995	30.3	-34.8387097
1951	33.8	-12.8865979	1996	23.6	-22.1122112
1952	49.6	46.7455621	1997	124.7	428.389831
1953	122.7	147.379032	1998	44.7	-64.1539695
1954	60.4	-50.7742461	1999	50.6	13.1991051

Fuente: Elaboración Propia en base a datos del Departamento de Hidráulica, San Juan.

CuadroII: Evolución de la superficie cultivada en hectáreas por tipo de cultivo en la Provincia de San Juan. Periodo 1874-2000

Año	Vid	Alfalfa	Cereales y forr.	Hortalizas	Frutales	Olivos	Total
1874	1592	55986		s/d	s/d		66334
1895	7929	56569	17842	s/d	s/d		82340
1914	23542	43300	15512	s/d	s/d		82354
1937	24455	23540	15192	s/d	1000	50	85633
1947	28088	19477	10859	s/d	1500	4987	88394
1960	45241	8648	5497	7475	2384	6947	80493
1961	44569	8955	s/d	6525	2450	9520	81010
1962	48198	8040	s/d	6288	2130	9200	81352
1963	48785	6735	s/d	8433	2890	9120	83759
1964	51106	9970	s/d	7511	3120	8768	91546
1965	51806	13025	s/d	9039	2510	8260	89434
1966	52536	13025	s/d	8119	2614	8541	93420
1967	53699	13025	s/d	6228	2589	8100	92592
1968	54885	13025	s/d	5874	3105	7945	85266
1969	56769	13025	s/d	6380	3215	7765	88916
1970	57455	6263	5838	7225	3035	7524	86483
1971	56277	6913	9380	6930	2983	7438	83763
1972	56101	9283	10779	8911	3147	7242	85412
1973	57624	13175	10090	9190	2684	7284	91743
1974	58689	11018	17963	9134	2777	7293	96046
1975	62577	18106	20286	8622	2874	7296	102309
1976	61661	14470	19095	9562	2881	7306	100628
1977	63223	13880	19310	8260	3038	7226	101270
1978	63308	11800	17480	952	3037	7131	101683
1979	58203	7660	15830	9411	2934	6822	94085
1980	59517	5643	12975	8016	3055	5865	89713
1981	60072	7410	10430	7141	2481	5449	85789
1982	60243	5950	9450	8548	2473	5491	87795
1983	61220	6950	8970	6724	1940	5046	83920
1984	60612	6120	9031	6525	1944	5013	83144
1985	60215	7014	8457	6090	1942	4979	81708
1986	59000	6942	7081	5401	1941	4947	78383
1987	58780	7125	6205	5027	1943	4927	76882
1988	58967	7231	5825	6975	1945	4916	78638
1989	45975	7842	5452	10947	3213	4275	70455
1990	46150	8056	4575	7230	1910	5147	73068
1996	46990	7420	2410	8531	4520	10150	82711
2000	47529	6537	1817	11074	6565	14020	99601

Fuente: Elaboración Propia en base a datos de Gobierno de la Provincia (1991), Miranda O. (2001), Lizana, Carlos y otros (1983)

Cuadro IV: Área regada Con Riego Presurizado de bajo Volumen. Periodo 1991-2000.

Año	Goteo	Micro aspersión	Total
1991	258	0	258
1992	549	57	606
1993	1185	169	1354
1994	1956	644	2600
1995	3167	834	4001
1996	4844	1469	6313
1997	9305	2452	11757
1998	11676	3669	15345
1999	14268	4906	19174
2000	15838	5155	20993

Fuente: Miranda Omar, 2001.

Cuadro V: Usuarios de energía eléctrica- tarifa agrícola. Periodo 1990-2000

Año	Usuarios energía eléctrica
1991	1490
1992	1470
1993	1468
1994	1400
1995	1320
1996	1100
1997	1090
1998	850
1999	460
2000	458

Fuente: Energía San Juan