

P A N E L 3

ANALISIS DEL IMPACTO ECONOMICO DE TECNOLOGIAS
DE RIEGO

SR. LUIS GUROVICH R.
INGENIERO AGRONOMO
FACULTAD DE AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE CHILE

" ANALISIS DEL IMPACTO ECONOMICO DE TECNOLOGIAS DE RIEGO "

INDICE :

1. El Problema Económico del Riego en la Agricultura Nacional.
2. Presentación del Problema.
3. El Impacto de una Tecnología Moderna.
4. Riesgos y otras consideraciones.
5. Relación Riego Rendimiento.
6. Objetivo y Contenido del Estudio.

1. El Problema Económico del Riego en la Agricultura Nacional.

El crecimiento de la población y de la actividad económica en Chile, han determinado un constante aumento en la demanda por agua de riego, hasta el punto que se está produciendo una escasez relativa de este factor de la producción agrícola, en cuanto a su disponibilidad en el lugar y tiempo oportunos. Es decir, el agua no es un "bien libre", sino que un recurso escaso que tiene un costo social. Es necesario, por lo tanto, considerar a este recurso con un criterio técnico y económico mucho más riguroso que en el pasado, cuando su abundancia relativa implicaba pocas restricciones en su aprovechamiento.

Si bien la agricultura es la actividad productiva que consume por sobre el 90% de las disponibilidades totales de agua disponible entre las regiones I a VII, es también, por lo general, la actividad con menos prioridad de acceso a este recurso, a medida que este recurso se hace más escaso. De acuerdo con los datos del Cuadro 1, un 21.3% de la superficie arable de Chile es de riego permanente, y un 44.6% adicional se considera de riego eventual; la contribución económica de la agricultura regada a la producción agropecuaria total del país supera el 75% total del país (Figueroa, Sáez y Schneider, 1987).

Esta alta participación económica del riego en la producción de alimentos y fibras, obliga a incrementar la eficiencia de utilización de este recurso; esto último se puede lograr incentivando inversiones en tecnologías de riego más eficientes.

De acuerdo a los conceptos anteriores, las medidas legales y administrativas que se adopten en la racionalización del aprovechamiento de este recurso, deben ser las más adecuadas para facilitar una mejor asignación del agua entre los diferentes usuarios y dentro del sector agrícola, para que se estimule su uso más eficiente en aquellos cultivos y situaciones edafoclimáticas de mayor rentabilidad (Venezian y Gurovich, 1980).

CUADRO 1
Agricultura de riego en Chile

	Miles de hectÁreas
Superficie arable	5.484
Suelos que necesitan riego para producir	1.654
Tierras arables, pero con limitaciones técnicas y/o económicas con las tecnologías de riego del momento	1.330
Suelos con riego permanente (85% seguridad)	1.170
Tierras bajo canal con riego eventual o de temporada	800
Tierras de secano en las cuales se justifica económicamente el riego	530
Fuente: Comisión Nacional de Riego, 1987.	

CUADRO 2
Agricultura de riego en Chile

	1900	1914	Año 1926	1938	1970	1984
Superficie regada 85% de seguridad	500	600	667	853	1170	1200
Superficie con riego eventual	285	375	500	600	630	600
Superficie total con riego permanente equivalente	586	713	817	1033	1359	1380
(Los valores de este cuadro están dados en miles de hectÁreas).						

Fuente: Comisión Nacional de Riego, 1987.

En el plan de riego de 1967 del MOP, se adoptó una norma que fija en un 30% la ponderación de una hectárea de riego eventual en relación a una de riego permanente. De esta manera, para determinar la superficie de riego equivalente, se suma a la superficie de riego permanente un 30% de la superficie de riego eventual.

De acuerdo a los datos presentados en el Cuadro 1, puede apreciarse que gran parte de la superficie cultivable de Chile requiere del riego para su aprovechamiento agrícola rentable. Esto se debe a que la mayor parte del territorio en que se puede realizar agricultura, corresponde a un ecosistema semi-árido de tipo Mediterráneo (lluvias invernales abundantes, en invierno y una estación seca de 8 - 9 meses).

De las cifras del Cuadro 1 se desprende que la agricultura de riego en Chile representa alrededor de 2 millones de hectáreas, lo que ubica a Chile en el lugar 25 entre los países del mundo en cuanto a superficie y entre los primeros 6 lugares en su proporción con respecto a la superficie arable total (Fukuda, 1976; Wollman, 1968).

La gran incidencia del riego en la producción de la agricultura nacional ha motivado numerosos estudios sobre los recursos de aguas, las prácticas de riego y la eficiencia del riego, tópicos que han recibido además la atención especial de diversos organismos internacionales. Es interesante observar que ya la primera misión internacional del Banco Mundial/FAO (1952), ponía énfasis en la necesidad de mejorar la distribución del agua y su uso en los predios, además de expandir las áreas de riego, como medidas para aumentar la productividad y el desarrollo agrícola del país. Un cuarto de siglo más tarde, un reciente análisis del Banco Mundial (1980) sobre la economía chilena, sigue encontrando los mismos problemas en materia de riego y hace recomendaciones similares, recalcando la prioridad de mejorar la eficiencia del uso del agua en el actual sistema de canales y embalses al interior del predio.

A pesar de reconocerse la importancia del mejor uso del agua de riego en el desarrollo de la agricultura chilena, resulta interesante analizar la causa por la cual esta práctica de producción no haya tenido un mejoramiento significativo en tantos años. Entre el conjunto de razones que se podría señalar, no cabe duda que lo fundamental ha sido la falta de estímulo económico para que el agricultor haga mejor uso del agua. Este aspecto es el que ha recibido menos atención en los estudios y recomendaciones citados en los párrafos anteriores, si bien en los últimos años se comienza a reconocer que la falla de establecer un sistema racional de precios para el agua ha sido una limitante básica para estimular su uso más racional.

Adicionalmente, no puede dejar de señalarse, que las graves distorsiones político-sociales experimentadas por la agricultura chilena y la complejidad técnica y administrativa envueltas en el problema del uso y asignación del recurso agua de riego, han jugado un papel fundamental en el estancamiento experimentado en el mejoramiento de las prácticas de riego en el predio agrícola.

El mejoramiento del riego tiene su expresión técnica en el concepto de eficiencia de utilización, que es la relación entre el volumen de agua recibida en el predio y aquel efectivamente aprovechado por los cultivos. La eficiencia de utilización resulta de la interacción entre las características hídricas del suelo y el manejo del agua de riego.

En Chile, las prácticas de riego tradicionales tienden a mantenerse en el tiempo, transmitiéndose las técnicas de un agricultor a otro sin mayores variaciones, entre zonas de suelos de muy diversas características hídricas (Gurovich, 1980). Un detallado estudio acerca de las eficiencias de riego en Chile (Gurovich, 1978) indica que la eficiencia de aplicación del agua de riego a nivel predial, puede estimarse en un 25%, valor que debe compararse con otros estudios publicados (Jensen, 1976) que indican una eficiencia de 47% en promedio para la agricultura regada de todos los Estados Unidos y de un 76% para el caso de Israel (Schumueli, 1973).

El desarrollo y la difusión mundial de tecnologías de riego avanzadas, como el riego por mangas o tuberías enterradas de baja presión, el riego por aspersión y micro-aspersión, y el riego por goteo y microproject, han dado lugar a una serie de interrogantes, cuya solución demanda un análisis técnico-económico exhaustivo.

El objetivo de este análisis es identificar las condiciones en las que alguna de las tecnologías de riego alternativas, permita la mayor rentabilidad de las inversiones necesarias para su implementación al interior del predio agrícola. Asimismo, es necesario establecer normas y técnicas para la selección entre las alternativas evaluadas y analizar el impacto económico de la incorporación de la tecnología seleccionada sobre la productividad de los cultivos.

Los productores agrícolas aspiran a lograr beneficios económicos con riesgos mínimos; en el proceso de toma de decisiones de inversión, deben tener en consideración: 1) las expectativas de precios de los productos agrícolas y 2) la respuesta de los cultivos a inversiones alternativas, en diversas tecnologías de producción.

En el caso del riego tecnificado, el agricultor tiene que establecer la cantidad, oportunidad y uniformidad óptimas del riego y el costo implícito en el mejoramiento de estos parámetros, así como evaluar los beneficios esperados y los riesgos eventuales sobre la productividad y/o la calidad de los cultivos, si no se implementan los aspectos tecnológicos del riego en un nivel óptimo; sobre esta base, el productor puede seleccionar la tecnología económicamente más atractiva.

2. Presentación del Problema.

El suelo es un medio para la interacción de los principales factores incidentes en la productividad de los cultivos: agua, fertilizantes, semillas, etc. Debido a las características fisiográficas y topográficas del suelo y a su infiltrabilidad, casi siempre sólo una parte del agua aplicada a través del riego, queda efectivamente retenida en el perfil del suelo ocupado por las raíces de los cultivos, en una condición de disponibilidad acorde con los requerimientos de evapotranspiración de las plantas. De este modo, el volumen de agua de riego que es distribuido sobre el campo, es habitualmente mucho mayor que aquel volumen que resulta efectivamente disponible para el uso por el cultivo.

La eficiencia de riego es medida por la relación entre el agua efectivamente almacenada en el suelo y el agua aplicada; este parámetro varía con las características físicas del suelo y con la tecnología de riego utilizada en cada caso. Suelos con una escasa capacidad de retención del agua o con valores extremos de infiltrabilidad, como por ejemplo, suelos arenosos, suelos con una pendiente abrupta o suelos arcillosos, son considerados suelos de "baja calidad" (1) desde el punto de vista del riego; por otra parte un terreno plano, con suelos de textura franco arenosa a franco arcillosa, es considerado de "alta calidad", por sus favorables características de infiltrabilidad y de retención de agua.

Las tecnologías de riego modernas son evaluadas por el incremento de la capacidad del suelo para permitir altos rendimientos de los cultivos. La eficiencia de aplicación del agua en el sistema tradicional de riego por surcos, en un terreno de texturas medias, es alrededor de 40%; pero esta eficiencia se incrementará significativamente con la aplicación del agua de riego por aspersión u otros sistemas de riegos mecánicos. Siendo todos los otros factores de producción iguales, la eficiencia de riego puede ser de 85% al regarse por aspersión; bajo riego por goteo, la eficiencia se incrementará adicionalmente, hasta valores cercanos al 95%.

Podría enfatizarse que el incremento relativo de la eficiencia de riego, cuando se pasa de una tecnología tradicional a una técnica moderna, es mayor para un suelo de "baja calidad", de acuerdo con la definición de los párrafos anteriores. Sin embargo, la transición a tecnologías modernas de riego requiere inversiones en equipos y adiestramiento del personal, así como también el consumo de energía para la operación del sistema de riego mecánico. De este modo, la transición tecnológica envuelve una relación entre altas eficiencias de riego y altos costos de capital y de operación.

(1) En el texto siguiente se utiliza las expresiones "alta calidad" y "baja calidad" de los terrenos agrícolas en relación con la infiltrabilidad y la capacidad de retención de los suelos.

La relación básica que gobierna la aplicación de agua bajo las diferentes tecnologías, es la función de respuesta del cultivo al agua. Esta función relaciona la producción obtenida con los niveles de agua almacenada en el suelo, que resultan efectivamente disponibles para las plantas, a lo largo de la temporada de riego. Estos niveles están claramente asociados con la forma - tecnología - de aplicación del agua en el campo.

Las diferentes tecnologías de riego tienen niveles variables de eficiencia de riego, así como diferentes requerimientos de energía y capital; el precio efectivo del agua es también diferente. Para un suelo de características físicas específicas, cuando los precios del agua son suficientemente bajos, los costos de energía (por ejemplo, para presurización) son el principal origen del precio efectivo del agua.

Las propiedades de la función de respuesta del cultivo al agua, sugieren que tecnologías de riego que impliquen precios del agua efectivos mayores, utilizarán un riego más eficiente y las inversiones en riego tendrán rentabilidades más altas; por esta razón, para precios de agua muy baratos, el uso de tecnologías tradicionales tiene rentabilidades mayores que aquellas generadas por tecnologías modernas. Sin embargo, cada tipo de suelo tiene precios de agua críticos, por encima de los cuales las otras prácticas de producción requieren de un riego más eficiente, para lograr así la rentabilidad esperada del conjunto de inversiones productivas.

Los precios críticos de agua disminuyen con la "calidad del terreno". La maximización del beneficio sugiere que las tecnologías de riego modernas incrementan la rentabilidad en áreas con precios del agua relativamente altos y con baja "calidad del terreno". Las tecnologías tradicionales tienen mayor rentabilidad cuando las "calidades de terreno" son altas, y los precios del agua son bajos.

La maximización del beneficio asociado a las inversiones en tecnología de riego, tiene tres resultados posibles:

- 1.- Las tecnologías modernas incrementan a ambos, la rentabilidad y la eficiencia de uso del agua, cuando el agua y los costos de la producción son muy altos y la calidad del terreno para el riego es baja;

- 2.- Las tecnologías modernas de riego permiten aumentar la producción y mejorar la eficiencia de uso del agua, cuando el agua y los precios de la producción son altos y la "calidad del terreno" es baja;
- 3.- Las tecnologías de riego tradicionales tienen alta rentabilidad, pero requieren más agua que las técnicas modernas; deben utilizarse cuando la "calidad del terreno" es alta y los precios del agua suficientemente bajos.

Para justificar su elección, la tecnología moderna tiene que generar beneficios operacionales (definidos como ingresos menos costos variables) en relación con la tecnología tradicional, para cubrir sus costos de inversión.

La tecnología tradicional tiene beneficios operacionales altos en áreas donde el uso de esta técnica permite obtener altos rendimientos de los cultivos, y cuando la disponibilidad del recurso agua no constituye un factor limitante. La conducta de maximización del beneficio sugiere que las tecnologías modernas tendrán que ser seleccionadas para lugares con precios del agua y de la producción relativamente altos; y "calidades del terreno" bajas. En áreas con terrenos llanos y de "alta calidad" y con suministro amplio de agua barata, podrán usarse tecnologías de riego tradicionales con mayor beneficio económico.

3. El Impacto de una Tecnología Moderna.

Cuando tecnologías de riego modernas son introducidas por primera vez en una región, consideraciones económicas determinan que ellas sean adoptadas primero en áreas con terrenos marginales, altos precios del agua y altos valores de los cultivos (tal es el caso de la uva de mesa en el valle del Río Copiapó, cultivada en faldeos de cerros - terrenos nunca antes cultivados - y regadas en su totalidad por goteo). A menudo, la introducción de esas tecnologías incrementan la base productiva del terreno, puesto que ellas hacen lucrativa la utilización de ciertos terrenos marginales y previamente ociosos. Los ejemplos en el Norte Chico de nuestro país en los últimos 10 años avalan plenamente la afirmación anterior.

La tecnología moderna también tiende a incrementar los rendimientos en terrenos previamente cultivados bajo otros sistemas de riego. Este incremento del rendimiento puede tener un efecto "bumerang" puesto que también incrementará el abastecimiento del producto, y asumiendo una demanda inelástica, los precios de la producción podrían tender a bajar. Este efecto sobre el precio puede reducir el ritmo de adopción de una nueva tecnología; esta situación aún no se presenta en forma significativa en el área de producción de uva de mesa y otros frutales, por el continuo incremento en el mercado de los consumidores de esta fruta en los países desarrollados. Sin embargo, el efecto comentado ha sido observado en cultivos extensivos (granos, pastos, etc.) en otros países y en nuestro país, en localidades aisladas, como la producción de hortalizas en La Chimba, Antofagasta.

La adopción de tecnologías modernas puede tener también un impacto substancial sobre los valores del terreno; puede incrementarse el valor de terrenos marginales y de tierras que usan agua costosa, en relación con el valor de terrenos de "alta calidad", con abastecimiento de agua de bajo costo, ubicados en la misma zona. Por otra parte, el efecto del precio efectivo del agua tiende a reducir los ingresos de los agricultores, por lo que estos tienden a continuar usando la tecnología de riego tradicional; por este motivo, el valor de las tierras de "alta calidad" puede disminuir en términos reales, como resultado de la adopción de tecnologías de riego modernas.

El fenómeno comentado se ha observado en algunas transacciones comerciales en la zona central del país, especialmente cuando el precio de la tierra ha estado por debajo de las expectativas de rentabilidad, por ejemplo, en la época de altas importaciones de productos manufacturados y pocas exportaciones de productos agrícolas, que resultó de valores fijos en los cambios internacionales de divisas.

La propagación de la nueva tecnología - los incrementos en su adopción se refieren al proceso de difusión - es gradual y puede tomar varios años. De acuerdo con la teoría de difusión tecnológica, una nueva tecnología es primero adoptada en sitios donde ella tiene ventajas económicas y técnicas evidentes por sobre la tecnología tradicional, antes de adoptarse gradualmente en regiones donde tiene ventajas menores. Los factores que impulsan el proceso de difusión son:

- 1.- El ritmo en el cual los agricultores aprenden como utilizar la nueva tecnología y se dan cuenta de sus ventajas específicas;
- 2.- el costo de los sistemas y la reducción de estos costos con el tiempo;
- 3.- el aumento de la eficiencia en esa tecnología en las condiciones específicas del país o la región.

El riego por goteo ha sido el primero en adoptarse en Áreas de suelos marginales y con precios de agua altos, para su aplicación en cultivos de alto valor; tal es el caso en los valles del Norte Chico de nuestro país. Después, con el paso del tiempo, su uso se está difundiendo a Áreas con "alta calidad" de terreno y bajos precios del agua y mucho después, para ser usado para el riego de cultivos de bajo valor económico.

La difusión del riego por goteo podría incrementarse con el mejoramiento de la programación del uso de los sistemas de goteo, a medida que los agricultores se familiarizan con el sistema y con la disminución de los costos de inversión y operación del equipo (Gurovich et. al. 1986).

En los casos en que el efecto del crecimiento de la producción, asociado con la difusión del riego por goteo, tiende a reducir los precios de los productos, el efecto del precio tiende a aminorar la velocidad del proceso de difusión. La difusión de los sistemas de goteo es más rápida en los cultivos cuyos precios no son afectados substancialmente por los cambios en el abastecimiento, como por ejemplo cultivos con una demanda elástica (frutas de exportación, hasta la temporada 1987 - 88).

La extensión y el ritmo de difusión de una tecnología de riego moderna son mayores cuando los recursos regionales de agua son limitados y agotables, más que renovables. La política y actividades gubernamentales también afectan el proceso de difusión; ejemplos de semejantes actividades incluyen estudios de investigación públicos, con el objetivo de mejorar el uso de los equipos de riego, y de asesorar directamente al agricultor sobre la implementación de las nuevas tecnologías.

Por otro lado, la difusión del uso de técnicas modernas de riego es desalentada donde los precios del agua y de la energía son subsidiados; el apoyo económico al precio de la producción tenderá también a alentar la difusión. En este sentido, es conveniente asociar los conceptos anteriores a las bases establecidas en la Ley No. 18450 de Fomento a las Inversiones en Riego y Drenaje, dictada en 1986 y en plena vigencia en la actualidad.

Las bases conceptuales de ese cuerpo legal, y el mecanismo de asignación de los recursos disponibles para el fomento del riego y drenaje, apuntan en una dirección correcta de no subsidiar el agua y/o la energía, sino mas bien en el estímulo económico positivo de inversiones reales, de parte de los productores privados, en la implementación de equipos de riego mecánico, o en el perfeccionamiento de sistemas superficiales tradicionales.

La Ley No. 18450 establece que el Estado, durante ocho años contados desde la vigencia de la Ley, financiará hasta en un 75% el costo de construcción y reparación de obras de riego y drenaje y las inversiones en equipos y elementos de riego mecánico, siempre que se ejecuten para cumplir con las siguientes finalidades:

- a) Incrementar el Área de riego, en este caso pasar de una condición de secano, o de riego eventual, a la de pleno riego.
- b) Mejorar el abastecimiento de agua en superficies regadas en forma deficitaria, es decir, aumentar la seguridad de riego con que cuenta un predio determinado, y
- c) Habilitar suelos agrícolas con problemas de drenaje deficiente.

Los proyectos presentados son analizados desde el punto de vista técnico y legal y son admitidos a concurso aquellos que cumplen con la Ley, su reglamento, y las bases del concurso específico.

La selección de los proyectos admitidos a concurso se realiza determinando para cada uno de ellos un puntaje que define su orden de prioridad, sobre la base de las siguientes variables:

1. Aporte: El Estado puede bonificar hasta un 75% del costo total de las obras. Sin embargo, a mayor aporte relativo del interesado, mayor será el puntaje del proyecto y viceversa.
2. Costo total de la obra: Esta variable incluye los costos de preparación del proyecto, cubicaciones, precios unitarios, adquisición de equipos, supervisión de la ejecución de la obra y gastos generales. En igual forma que el punto anterior, a menor costo relativo de la obra, se le asigna a ésta mayor puntaje y viceversa.
3. Superficie beneficiada: La superficie beneficiada por el proyecto es la tercera variable a considerar, asignándose un mayor puntaje mientras mayor sea la superficie incorporada al riego definitivo y viceversa.

4. Riesgos y Otras Consideraciones.

Las operaciones agrícolas están sujetas a riesgos e incertidumbres substanciales; los agricultores toman medidas activas para reducir las consecuencias negativas de las incertidumbres; una de las medidas mas importantes es la introducción del riego tecnificado.

Lluvias variables y otros fenómenos climáticos causan incertidumbres en el abastecimiento del agua en muchas áreas del mundo; las tecnologías de riego modernas, con altas eficiencias de aplicación del agua de riego, son implementadas por esta razón por los agricultores, para reducir el impacto de la escasez de agua estacional. De este modo, cuando el agua de una determinada fuente es repartida, de acuerdo con un orden de prioridad, los agricultores con más baja prioridad estarán más dispuestos a optar por una tecnología moderna, que los agricultores o cultivos a los que se le asigna una alta prioridad.

Hay evidencias experimentales de que tecnologías modernas de riego pueden utilizar agua de baja calidad en forma más eficiente que las técnicas de riego tradicionales. Por lo tanto, estas técnicas novedosas son más apropiadas para ser adoptadas en áreas con agua de baja calidad (en relación a su concentración salina y/o presencia de Sodio y Boro) o fuentes de agua variables (todo lo demás se asume como constante). En algunas áreas, el proceso de difusión será iniciado con el agua de baja calidad; pero como el proceso continúa, los agricultores provistos con agua de más alta calidad también cambiarán a la nueva tecnología, en una segunda etapa, al comprobar la rentabilidad de las inversiones en riego.

Las tecnologías de riego modernas reducen también los costos de aplicación e incrementan la productividad de otros factores de la producción. Así, por ejemplo, sistemas por aspersión y por goteo son utilizados para la aplicación de fertilizantes y pesticidas, reduciendo de este modo, los costos de aplicación de productos agroquímicos. El riego por goteo en particular, permite también reducir substancialmente las cantidades de fertilizantes y pesticidas aplicados, debido a la alta eficiencia de aplicación, de distribución y de utilización de estos productos. Cultivos y suelos que requieren tratamientos químicos intensivos son de este modo más apropiados para adoptar esas tecnologías modernas, con ventajas económicas evidentes.

La operación de los sistemas de goteo envuelve menos ocupación de mano de obra que los sistemas tradicionales, especialmente en suelos de textura arenosa; para el caso del riego por surcos, la longitud de las hileras del cultivo es corta, lo que encarece todas las otras prácticas de producción. Por otro lado, los sistemas de riego modernos requieren una mano de obra más capacitada; consecuentemente, la falta de personal capacitado puede impedir un proceso acelerado de difusión. Los programas de capacitación para la operación y mantenimiento de sistemas de riego modernos juegan un rol importante en la velocidad de adopción de nuevas técnicas de riego.

Tecnologías de riego modernas - y riego por goteo en particular - son fácilmente automatizadas. Está ampliamente comprobado que la instalación de accesorios sensores, incorporados dentro de los sistemas automatizados, hacen posible un incremento significativo en el rendimiento de los cultivos, puesto que el riego puede ser accionado de acuerdo con las necesidades reales de los cultivos. La difusión de las tecnologías de computación y automatización electrónica de los equipos agrícolas, acelerará y aumentará la diseminación de tecnologías de riego modernas.

La situación inversa es también valedera: la adopción de tecnología moderna puede acelerar la difusión de las computadoras y la automatización; en muchos casos las dos tecnologías están siendo incorporadas en forma simultánea. Ciertas consideraciones de política ambiental hacen más atractivas las tecnologías de riego modernas, e intensifican su adopción: en las regiones donde el agua subterránea está contaminada, el uso de tecnologías de riego modernas resultan apropiadas para reducir el impacto ambiental, gracias a que permiten reducir la percolación del agua y la escorrentía superficial. Esto puede hacer conveniente incluso un cuerpo legal de fomento fiscal, en forma similar a la Ley de Fomento a las Inversiones en Riego, para situaciones específicas de contaminación ambiental relacionada con el uso ineficiente del agua de riego.

La evidencia empírica de la adopción y el uso de técnicas modernas de riego apoya los modelos hipotéticos sugeridos por consideraciones económicas. Por ejemplo, en muchas regiones de los Estados Unidos e Israel, donde el riego por goteo tiene condiciones extremadamente favorables (baja "calidad" de suelos, precio del agua muy alto, y un alto valor del producto), esta tecnología tiene ritmos de adopción muy rápidos y tiende a incrementar aún más los rendimientos y disminuir el uso de agua por hectárea, comparados con la tecnología previamente utilizada (la región del desierto de Aravá de Israel es un ejemplo especialmente bueno; otro ejemplo de importancia, a nivel mundial, es la acelerada adopción del riego por goteo en los valles de los ríos Copiapó, Elqui y Limarí y sus afluentes, en Chile). En las regiones donde las ventajas económicas del riego por goteo son menos notables, como el Valle Central de California o las regiones V, VI y Metropolitana en Chile, la adopción del método de riego por goteo es menos substancial y su efecto de incremento del rendimiento de los cultivos es menos impresionante.

La posibilidad de adopción de nuevas técnicas es algo menor por parte de agricultores que utilizan aguas superficiales, puesto que con el bombeo de agua subterránea es fácil proveer la presión adicional requerida por los sistemas presurizados. Los métodos por goteo y por aspersión fueron primeramente adoptados para frutas y hortalizas de alto valor (uvas, cítricos, berries y hortalizas frescas), y sólo más tarde por hortalizas de bajo valor por hectárea (tomates para la industria, lechuga y cultivos de campo). La adopción gradual de algunos sistemas de riego presurizados es un reflejo del conocimiento acumulado y de la reducción substancial en el costo de los equipos mecánicos de riego.

5. Relación Riego - Rendimiento

La relación riego - rendimiento, que ha sido evaluada con diversos niveles de profundidad en diferentes lugares del mundo, requiere de una evaluación sistemática en nuestra pujante agricultura, especialmente con el impulso que la aplicación de la Ley de Fomento a las Inversiones en Riego y Drenaje está dando a los siguientes aspectos:

- 1) la incorporación de suelos que no tienen aptitud agrícola con métodos de riego tradicionales,
- 2) la producción frutícola y hortícola y
- 3) el incremento en la seguridad de la adecuada disponibilidad de agua en suelos de riego eventual.

En este sentido, el presente trabajo se ha orientado al desarrollo de un modelo para organizar la información acerca de los costos reales involucrados en el riego tecnificado (inversiones y costos de operación), así como una evaluación de la rentabilidad de diferentes tecnologías de riego, para definir la factibilidad y conveniencia de financiar proyectos específicos de mejoramiento del riego agrícola, que requieran líneas de crédito públicas o privadas para su implementación en el campo.

El nivel más alto de rendimiento de los cultivos está determinado por las condiciones ecológicas y su potencial genético. La posibilidad de alcanzar este rendimiento máximo siempre depende de las inversiones necesarias para lograr un equilibrio entre: 1) el aporte de agua desde el suelo hasta el sistema radicular y 2) la demanda evapotranspirativa de la atmósfera. El efecto de aporte de agua sobre los rendimientos de los cultivos permite evaluar la planificación, el diseño y la operación de sistemas de riego alternativos. Los regímenes de riego deficitarios, que causan stress hídricos asociados con: a) desuniformidad de riego, b) oportunidad subóptima y/o c) láminas de reposición subóptimas, tienen un efecto negativo sobre la evapotranspiración y el rendimiento.

Las relaciones entre evapotranspiración y rendimiento han sido evaluadas en diferentes cultivos y regiones del mundo. La Ecuación 1 resume estas relaciones, desde un punto de vista genérico:

$$\left(1 - \frac{Y_{\text{real}}}{Y_{\text{max}}}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_{\text{real}}}{ET_{\text{max}}}\right) \quad \text{Ecuación 1}$$

En que:

Y_{real} = rendimiento efectivo del cultivo.
 Y_{max} = rendimiento máximo del cultivo.
 ET_{real} = evapotranspiración efectiva.
 ET_{max} = evapotranspiración máxima.
 K_y = factor de respuesta del cultivo.

La literatura presenta un conjunto amplio y bastante heterogéneo de valores de cada uno de los términos de la Ecuación 1. El resumen más completo sobre el tema ha sido publicado por J. Doorenbos y otros colaboradores en 1979 (FAO # 33); continuas actualizaciones de estos valores han servido de base para las funciones de producción utilizadas en el presente trabajo.

El objetivo principal de este estudio es la estructuración sistemática de la información relevante sobre:

- 1) el diseño del sistema de riego más apropiado, desde el punto de vista de combinaciones específicas de suelo, clima y cultivo,
- 2) el costo y los beneficios del riego tecnificado, con fines de referencia para la evaluación económica de proyectos alternativos de tecnificación del riego. Adicionalmente, se establece una función de rentabilidad de las inversiones en tecnificación del riego, para diferentes alternativas de inversión.

OBJETIVO Y CONTENIDO DEL ESTUDIO

La publicación del presente estudio "Análisis del Impacto Económico de Tecnologías de Riego" fue coordinado y dirigido por la Corporación de Fomento de la Producción - CORFO, estando su ejecución a cargo de la Facultad de Agronomía de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

El objetivo de este estudio es la estructuración sistemática de la información relevante sobre:

- 1) el diseño del sistema de riego más apropiado para un predio, desde el punto de vista de combinaciones específicas de suelo, clima y cultivo.
- 2) el costo y los beneficios del riego tecnificado, con fines de referencia para la evaluación económica de proyectos alternativos de tecnificación del riego. Adicionalmente, se establece una función de rentabilidad de las inversiones en tecnificación del riego, para diferentes alternativas de inversión.

En el capítulo I, se presenta una introducción al tema del problema económico del riego en la agricultura nacional, detallándose algunos aspectos relacionados con el posible impacto de la adopción de técnicas modernas de riego, sobre los rendimientos de los cultivos y los costos de producción. Se analiza los conceptos básicos de la Ley 18450, sobre fomento a las inversiones en riego y drenaje, y se presenta algunas consideraciones sobre la relación riego - rendimiento de los cultivos.

En el capítulo II, se analiza brevemente algunos trabajos de investigación publicados en revistas científicas y técnicas, acerca del tema de este estudio, como antecedentes bibliográficos relevantes.

La metodología empleada se basa en un modelo técnico - económico del riego agrícola, desarrollado para este estudio, que se complementa con un enfoque computacional que utiliza la técnica de planillas electrónicas.

Los siguientes modelos son considerados como componentes de la inversión en tecnología de riego.

- nivelación de suelos
- aprovechamiento de agua subterránea desde un pozo
- embalse predial de acumulación de agua
- capacitación de personal para el riego
- sistema de riego por bordes
- sistema de riego por surcos
- sistema de riego por tubería enterrada o manga
- sistema de riego por aspersión
- sistema de riego por goteo o microjet

Para cada uno de los diferentes modelos involucrados en las inversiones en tecnificación del riego, en el capítulo III se presenta: a) el modelo técnico de diseño, con un diagrama de flujo y un conjunto de ecuaciones que definen las relaciones cuantitativas entre los componentes del diseño del correspondiente aspecto; b) adicionalmente, se describe un modelo económico asociado al componente de la inversión en riego analizado antes.

Se presenta además un conjunto de elementos que definen las funciones de producción del agua de riego, para diferentes situaciones, basados en la experimentación local y extranjera al respecto. A continuación se analiza las respuestas obtenidas en conversaciones informales con productores agrícolas e Ingenieros Agrónomos, acerca de 10 temas fundamentales asociados a la tecnología de riego actual y sus proyecciones futuras.

Se analiza dos casos reales acerca de inversiones alternativas en riego, por medio del uso del modelo global desarrollado en este estudio. Se compara técnica y económicamente:

- a) el riego tecnificado por surcos y por goteo en un parro-nal
- b) el riego tecnificado por bordes y el riego por aspersión en una empastada de alfalfa.

Después de las conclusiones del presente estudio, se detalla un conjunto de referencias bibliográficas relevantes sobre el tema, consultadas para la elaboración de este texto. Como anexos al estudio, se ha preparado tres componentes adicionales:

- 1) Un conjunto de 6 diskettes que contienen las planillas electrónicas que permite el análisis técnico - económico de un amplio rango de situaciones posibles.
- 2) El Manual del Usuario del sistema computacional "Economía del Riego".
- 3) Un diaporama (diapositivos sincronizados con el texto grabado en cassette).

La ejecución del trabajo fue responsabilidad del Profesor de la Facultad de Agronomía Dr. Luis A. Gurovich, que contó con la colaboración del Ingeniero Agrónomo Sr. Samuel Ortega, como ayudante de investigación, y actualmente Profesor de la Universidad de Talca.

La dirección y coordinación del estudio por parte de CORFO fue desempeñada por el Ingeniero Agrónomo Sr. Javier Herreros.