

FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN PRADERAS ARTIFICIALES DESTINADAS A LECHE DEL SUR DE CHILE

TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF PASTURE IRRIGATION FOR MILK PRODUCTION, IN SOUTHERN CHILE

Juan Nissen M. y Manuel Mancilla S., Inst. de Ingeniería Agraria y Suelos, Fac. de Cs. Agrarias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia. E-mail jnissen@uach.cl

ABSTRACT

Key words: Irrigation, pasture, technical and economic feasibility, milk production.

There are several manners that can be used to increase pasture production, one of which is irrigating during dry periods. It is important to generate information regarding the technical and economic feasibility of investment in equipment for pasture sprinkler irrigation in southern Chile. A total of 60 irrigation projects were carried out, using different combinations of factors involved, such as: different irrigation equipments (quick coupling pipes, hose rewinding drum, central pivot and K-Line); energy sources (gravimetric energy, electricity and oil); water sources (superficial and groundwater); irrigated surface areas (10 and 25 ha) and partial project financing through Law 18.450 (0 and 50 % irrigation subsidy). For each project, technical and economic aspects were calculated, analyzing investment and annual costs per hectare. The results showed that the central pivot was the system that required the lowest water flow for the application of the irrigation rate; on the contrary, quick coupling systems used the greatest water flow. In terms of the investment costs, K-Line systems showed the lowest and those of the central pivot were the more expensive. Regarding energy sources, systems with a water fall (gravity) and diesel operation required the lowest investment, whereas electrically powered systems were the most expensive. In general, projects without an irrigation subsidy (Law 18.450) were not

RESUMEN

Palabras claves: Riego, pradera artificial, factibilidad técnica y económica, producción de leche.

Existen distintas formas para incrementar la producción de una pradera, siendo una de ellas el abastecimiento oportuno de agua, en periodos cuando esta escasea. Atendiendo este aspecto, resulta de importancia generar antecedentes sobre la factibilidad técnica y económica de la inversión en equipamiento de riego por aspersión en praderas artificiales, para las condiciones del Sur de Chile. Para esto se formularon 60 proyectos de riego, de acuerdo a diferentes combinaciones de factores involucrados como: tipo de equipo de riego por aspersión (acople rápido, carrete automático, pivote central y K-Line); fuente de energía (caída de agua, electricidad y petróleo); fuente de agua (superficial y subterránea); superficie regada (10 y 25 ha) y financiamiento por parte de Ley 18.450 (0 y 50%). En cada proyecto se calcularon aspectos técnicos y económicos, analizando costos de inversión y anuales por hectárea. Los resultados mostraron que el pivote central fue el sistema que requirió los menores caudales de agua para aplicar la tasa de riego; por el contrario, el sistema de acople rápido usó los mayores caudales. En el caso de los costos de inversión ($\$ \text{ha}^{-1}$) los menores fueron del sistema K-Line y los del pivote central fueron los más costosos. En cuanto a la fuente energética, los sistemas con una caída de agua (gravedad) y diesel fueron los con menor inversión; mientras

economically profitable (for 10 and 25 ha), except for the K-Line projects (10 and 25 ha) and quick coupling projects (10 and 25 ha). On the other hand, some 25 ha subsidized irrigation projects were economically attractive, being outstanding K-Line and central pivot systems, which presented the greatest marginal income of this study, reaching \$173.229 ha⁻¹. Systems that used underground water had a negative income, even when they were subsidized.

que los eléctricos fueron los más costosos. En general, proyectos sin bonificación (Ley 18.450) no son un negocio rentable (10 y 25 ha), exceptuando los proyectos K-Line (10 y 25 ha), acople rápido (10 y 25 ha) y pivote central (25 ha), todos energizados por una caída de agua (gravedad). Por otra parte, al ser bonificados, algunos proyectos en 25 ha son atractivamente rentables, destacando los sistemas K-Line y pivote central, que presentaron las mayores utilidades marginales de este estudio, llegando a \$173.229 ha⁻¹. El escenario con mayores pérdidas correspondió a los sistemas que usan aguas subterráneas, aun cuando estos usen la bonificación.

INTRODUCCION

Las praderas constituyen la base de alimentación del sector pecuario del Sur de Chile. Igual que otros cultivos, su nivel de producción depende de la disponibilidad de agua, entre otros factores. Cuando se producen sequías tempranas en primavera, estas inciden fuertemente en la producción, reduciendo la presencia de especies nobles e incluso causando la pérdida de siembras de praderas (Robert, 2008). Existen pocos estudios que evalúen el efecto del riego sobre praderas artificiales en el Sur de Chile. En un ensayo de evaluación del efecto del riego en la productividad de una pradera permanente sembrada de trébol blanco y ballica, realizado en el Centro Regional de Investigación Remehue entre los años 1994 y 2000, se observó un incremento promedio de 2.035 kg MS ha⁻¹ con respecto al secano (Ortega, s/f). Por su parte Robert (2008), sometió una pradera artificial de ballica al efecto del riego, frecuencia de corte y fertilización nitrogenada, en la comuna de La Unión, provincia del Ranco. Se produjeron efectos significativos atribuibles al riego, al tipo de corte y a la fertilización nitrogenada. En términos absolutos, el mejor rendimiento de pasto se obtuvo aplicando riego, corte menos frecuente y 250 kg de N ha⁻¹, con 14.011 kg MS ha⁻¹. En términos relativos, el riego fue 60% más efectivo al estar combinado con cortes frecuentes de la pradera, pero asociado a bajas producciones (Aumento de producción,

1.835 kgMS ha⁻¹). Por otra parte, al estar asociado a cortes menos frecuentes y con altas producciones, su incidencia fue menor (13%). Al realizar riego no se detiene la producción en verano, especialmente usando cortes cada 45 días. En Nueva Zelanda se reportan 5 kg MSha⁻¹ como índice de incremento de producción por cada milímetro adicional de agua de riego (Holmes *et al.*, 2002). Como hipótesis del presente trabajo se plantea que el uso del riego por aspersión en praderas artificiales del sur de Chile destinadas a producción de leche, bajo al menos una de las modalidades planteadas, presentará utilidades marginales positivas. El objetivo general del estudio busca encontrar el sistema de riego por aspersión que mejor se adapte a praderas artificiales, desde el punto de vista técnico y económico. Como objetivos específicos se busca determinar la incidencia en los costos de algunas variables de riego, como el uso de diferentes fuentes de energía, fuentes de agua, número de hectáreas a regar y fuentes de financiamiento. También se estudió la variabilidad de los requerimientos de caudal, altura dinámica total y las potencias netas de los proyectos diseñados en el estudio.

MATERIAL Y MÉTODO

Para analizar la factibilidad técnica y económica de implementar riego por aspersión en pradera, se diseñaron y formularon

Cuadro 1. Parámetros físico-hídricos de suelo y de riego considerados.
Table 1. Considered soil physical and irrigation parameters.

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad aparente	0,75	g cm ⁻³
Poros de agua útil	19	%
Profundidad de suelo	40	cm
Eficiencia de riego	75	%
Criterio de oportunidad de riego	50	%
Lámina neta	28,5	mm
Lámina bruta	38,0	mm
Frecuencia de riego	6	días
Superficie mínima de riego diaria (10 ha)	1,7	ha día ⁻¹
Superficie mínima de riego diaria (25 ha)	4,3	ha día ⁻¹
Evapotranspiración máxima	4,95	mm día ⁻¹
Coefficiente Kc	1,0	-

numerosos proyectos. Para ello, se fijaron supuestos agronómicos representativos de la zona sur de Chile, detallados en el Cuadro 1. Sin embargo, se debe tener presente que estas características de suelo son variables. También se fijaron algunos supuestos hidráulicos. Para la determinación del diámetro de las tuberías, la velocidad de circulación del agua dentro de ella debía ser inferior a 1,5 ms⁻¹. Para determinar la clase de resistencia de la tubería a utilizar, se consideraron las presiones de trabajo de cada proyecto, incluyendo la posibilidad de golpe de ariete. Para todos los proyectos diseñados se utilizaron tubos de PVC para la conducción

desde la unidad de bombeo, tubería principal y sub-principales, calculándose sus pérdidas de carga de acuerdo a la fórmula de Hazen-Williams (Bustamante, 1996). Otro supuesto fue la ubicación de la bomba; esta se encontraba a 100 m de distancia, con una diferencia de altura de 10 m entre el nivel de agua y el lugar de riego. Para el pozo profundo, este se consideró con una profundidad total de 80m y con una altura dinámica del agua de 60m.

Diseño y formulación de proyectos de riego.

Para la formulación y diseño de proyectos de riego por aspersión se consideraron los siguientes factores y sub-factores (Cuadro 2).

Cuadro 2. Factores considerados para el diseño de proyectos de riego por aspersión.
Table 2. Considered factors for the design of sprinkler projects.

	Factores				
	Fuente energética	Fuente de agua	Sistema de riego	Superficie de riego (ha)	%Bonificación Ley 18.450
Sub- factores	Caída de agua	Subterránea	Acople rápido PVC	10	0%
	Diesel	Superficial	Carrete automático	25	50%
	Electricidad	---	Pivote central	---	---
	---	---	K-Line	---	---

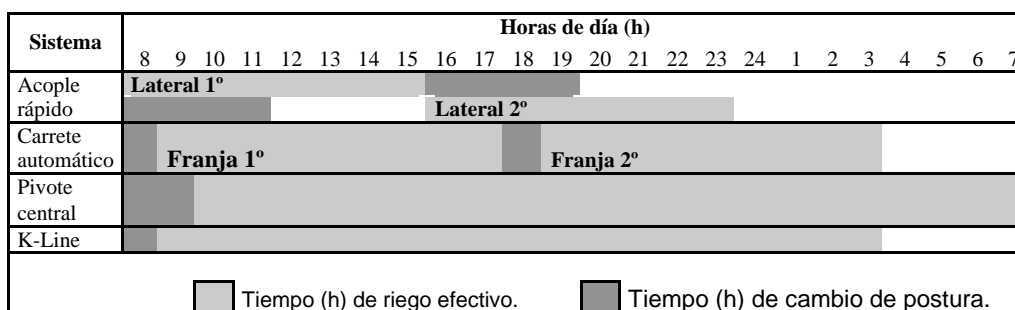


Figura 1. Tiempos de riego y orden de posturas para los diferentes sistemas de riego.

Figure 1. Irrigation times and position changes for the different irrigation systems.

El número de proyectos formulados resultó de las combinaciones entre los factores y subfactores, algunas de las cuales no fueron posibles de formular, por lo que se omitió su creación. Ejemplo: combinación agua subterránea y extracción por gravedad o diesel.

Sistemas de riego. Los sistemas de riego por aspersión que pueden ser utilizados en praderas y considerados para este estudio fueron siguientes:

-Sistema de acople rápido. Es el clásico sistema de aspersión semi-móvil, que presenta tuberías de acople rápido, en PVC. Para el diseño con este sistema, la condición más importante es la selección y disposición de los aspersores, procurando un alto coeficiente de uniformidad. La selección del aspersor se realizó en función de la presión de trabajo y número de horas disponibles. Para cumplir esto último, se debió considerar dos juegos de tuberías móviles, evitando así los tiempos muertos por traslado de tuberías y además de cumplir con las 16 h de tiempo de riego mínimo, exigido por la Ley 18.450. Se seleccionó un aspersor con caudal de 1.560 L h^{-1} a una presión de 3,5 bar, dispuesto en cuadrado de 18 m x 18 m, considerando 2 posturas diarias, cada una de 8 horas, totalizando 16 horas de riego diario (Figura 1).

-Sistema de carrete automático. El parámetro de diseño para este sistema fue la selección del cañón de riego, dependiente del caudal y del tiempo de riego. Este sistema sólo se limitó por los tiempos requeridos para los cambios

de posición y se programó para regar 2 franjas diarias, cuyas dimensiones se determinaron en relación a los anchos de trabajo y porcentaje de traslape de las franjas de riego (en 10 y 25 ha). Para la superficie de 10 ha se seleccionó un cañón de riego y un carrete que riega 2 franjas de 30 x 290m cada una en 9,8 h, empleando un tiempo de riego diario de 19,7 h día⁻¹. Para la superficie de 25 ha, se seleccionó un equipo que riega 2 franjas de 70 x 307 m, con un tiempo de riego de 9,8 h y empleando un tiempo de trabajo diario de 19,5 h día⁻¹ (Figura 1).

-Sistema de pivote central. Para este sistema, debido al alto grado de automatización, se consideró un tiempo de operación de 22 h día⁻¹ (Figura 1). Para su dimensionamiento, se calculó el radio de trabajo necesario para las 10 y 25 ha, lo que determinó el número de tramos necesarios y su respectivo voladizo. Los aspersores seleccionados para este equipo fueron de baja presión, conectados a mangueras bajantes de 1,7 m. Para el diseño de proyectos con este sistema se programó un cambio diario. Se seleccionó un aspersor de $0,45 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ que operaba a 2 bar y con un tiempo de operación de 19 h día⁻¹ (Figura 1).

-Sistema K-Line. Es un sistema relativamente nuevo, creado en Nueva Zelanda. Este presenta una línea de riego de polietileno flexible, que hace posible arrastrarlo por una cuadrimoto sin dejar de regar, permitiendo una disminución en los tiempos de cambio de posición y además en la mano de obra necesaria (K-Line Irrigation, 2001).

Superficie de riego. Generalmente esta variable la determina el agricultor, pero para el estudio se consideraron superficies de 10 y 25 ha.

Ley 18.450. Esta ley, por medio de concursos públicos, permite bonificar hasta un 75% de la inversión de total de riego. Para los fines del presente estudio se consideró postular a una bonificación de un 50% (Chile, Inia, 1989).

Utilizando los parámetros de diseño y ubicación determinados de acuerdo a los puntos anteriores, se procedió al cálculo de los costos.

Costos de inversión. Son los costos de equipos, construcciones y servicios, requeridos para la implementación de los proyectos de riego. Los equipos fueron de marcas conocidas en el mercado, facilitadas por empresas colaboradoras para este estudio. Para el cálculo de costo de equipos se consideró un valor de US dólar de \$480.- Los honorarios requeridos para la instalación de los equipos fueron de \$20.000 jornada⁻¹ para el maestro instalador y de \$10.000 jornada⁻¹ para el ayudante del instalador. Los costos del estudio topográfico fueron de \$9.000 ha⁻¹ y los honorarios de diseño de proyecto \$60.000 ha⁻¹. Además, se consideraron los costos de un consultor, cuando se postuló a Ley 18.450 y que ascendieron a un 10% de los costos de inversión total de los proyectos.

Costos anuales. Corresponden a los costos por concepto de la implementación de un sistema de riego; estos se obtienen de la suma de costos fijos y costos operacionales.

Costos fijos. Son aquellos producidos independientemente del tiempo de uso anual que tengan los equipos e infraestructura de riego. La depreciación asumida fue la lineal, o sea, los bienes se deprecian en igual valor cada año. Además no se consideró un valor residual al final de sus vidas útiles. De acuerdo a los sistemas en estudio, estos presentaron distintas vidas útiles: 10 años para los sistemas de acople rápido y K-Line; para los sistemas de pivote central y carrete automático se asumieron vidas útiles de 15 años. Otro costo fue el interés al capital fijo, donde se asumió un 12% de los costos de inversión totales. Para los proyectos con fuente

energética eléctrica, se debió asumir el costo fijo correspondiente al pago anual por potencia contratada y el costo fijo correspondiente a la tarifa. Para fines del presente estudio, se consideró un valor de potencia contratada de \$1.560 kW⁻¹ por mes y un costo fijo de \$1600 por mes.

Costos operacionales. Son aquellos relacionados directamente con el nivel de actividad que presente cada sistema. Los costos en energía fueron: para el caso de la fuente eléctrica de \$50 por kWh y el litro de combustible diesel de \$550 L⁻¹, el cual incluye \$20 L⁻¹ adicionales por concepto de transporte al predio. Para la mantención y reparación de sistemas eléctricos se aplicó el 4% del costo de equipos y construcciones, mientras que para los sistemas diesel fue de un 5%. Los costos de mano de obra son dependientes de la complejidad y de los equipos requeridos por el sistema de riego utilizado. Para el sistema de acople rápido y pivote central la jornada hombre se valoró en \$5.000 y \$7.000, respectivamente. Para el sistema de carrete automático la jornada tractor se valoró en \$80.000 y para el sistema K-Line el valor de la jornada cuadrimoto ascendió a \$20.000. Para el caso de interés al costo de operación, que refleja el uso alternativo de los recursos, se consideró un 12%.

Evaluación económica. Esta evaluación se realizó por medio de un presupuesto parcial, en donde se enfrentaron los costos anuales con los ingresos adicionales, ambos productos de la implementación de riego sobre una pradera, lo que se resume en una utilidad marginal. Los ingresos adicionales, producto del aumento de la producción de la pradera por efecto del riego, fueron calculados en base a litros de leche vendida a planta. Para este estudio se consideró un aumento de producción neta de 1.600 kg MS ha⁻¹, que fueron traducidos a 1.600 litros de leche a un precio de \$200 L⁻¹. De acuerdo a lo anterior, el ingreso producto de la implementación del riego es de \$320.00 ha⁻¹ año⁻¹. La utilidad marginal de cada proyecto se calculó de acuerdo a dos posibles escenarios: uno donde el agricultor asume los costos de inversión íntegramente y el otro en donde el

agricultor se hace acreedor de la bonificación de un 50% de los costos totales de inversión por medio de la Ley 18.450, ley de fomento de la inversión privada en obras de riego y drenaje.

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presentación y discusión de resultados se hizo por medio de comparaciones técnicas y económicas de los cuatro sistemas de riego estudiados, evaluándolos bajo distintos escenarios energéticos y de localización de su fuente de agua.

Evaluación de requerimientos de caudal. De acuerdo a las características de evapotranspiración y de suelo (Cuadro 1), se determinaron los caudales requeridos para cada sistema de riego. En la Figura 2 se observa que para una misma superficie existen diferentes requerimientos de caudal, los que dependen del tiempo efectivo de riego diario de cada sistema. Este último está determinado por el nivel de automatización y/o tiempos requeridos para los cambios de posturas. Por lo tanto, a medida que aumenta el grado de automatización, los tiempos efectivos de riego aumentan, haciendo que los caudales requeridos para una superficie

sean menores.

Los caudales también se ven afectados por la demanda de mano de obra, que limita los tiempos de operación de los sistemas. La mano de obra a su vez esta limitada por el número de horas de luz del día. Lo anterior se observa claramente en el caso del sistema de acople rápido, el que necesita mucha mano de obra. En la Figura 2 se observa que al comparar los cuatro sistemas, los menores requerimientos en caudal son del pivote central, pues presenta un alto grado de automatización y mínimos requerimientos de mano de obra. Le sigue el carrete automático y el sistema K-Line; por último, el sistema que necesita los mayores caudales fue el de acople rápido, pues presenta los menores tiempos de riego efectivos, debido a los altos requerimientos de mano de obra y además limitado por las horas de luz del día. Al comparar los sistemas de mayor y menor caudal, se puede observar que el pivote central presenta caudales de un 27,3% menores que el sistema de acople rápido, valor que marca una diferencia notoria entre los dos sistemas.

Cargas dinámicas totales. De acuerdo al diseño hidráulico de cada proyecto, las cargas dinámicas totales están compuestas por cuatro ítems: la presión de entrada al sistema, la diferencia topográfica, las pérdidas por roce en

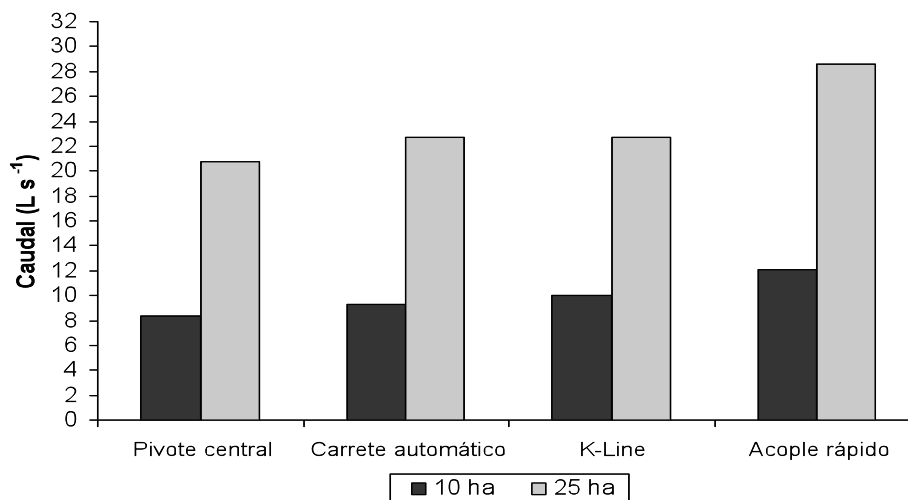


Figura 2. Caudales totales requeridos por los sistemas de riego (10 y 25 ha).

Figure 2. Total water flow rate required by different irrigation systems (10 and 25 ha).

conducción y otras pérdidas.

Cargas dinámicas totales para sistemas de riego abastecidos con aguas superficiales. En la Figura 3 se observa que cada sistema de riego presenta distintas cargas dinámicas totales, las cuales están fuertemente influenciadas por el ítem de presión de entrada para cada sistema. Dentro de los cuatro sistemas de riego evaluados, el pivote central, que trabaja con aspersores de baja presión, fue el que presentó las menores cargas dinámicas totales, que alcanzaron los 42 y 43 mca, en las 10 y 25 ha, respectivamente. En segundo lugar se ubicó el sistema K-Line. Este sistema trabaja con aspersores de impacto de presión media, produciendo cargas dinámicas totales de 51 y 53 mca para las 10 y 25 ha, respectivamente. Luego le sigue el sistema de acople rápido, con cargas dinámicas totales de 60 y 61 mca, en las 10 y 25 ha. Este sistema, al igual que el anterior, trabaja con aspersores de presión media e impacto, los que comparativamente presentan

presiones superiores, debido a un mayor radio de mojadura. El sistema de carrete automático presentó las mayores cargas dinámicas totales, que alcanzan los 84 y 88 mca, en las 10 y 25 ha. Estas altas presiones se deben a los aspersores de alta presión que se requieren, los que trabajan con radios de 43 m, para el caso de las 10 ha y de 52 m, para las 25 ha. Además, en este sistema se generan pérdidas extras por la turbina de enrollamiento de la tubería. A pesar de que se utilizan los mismos sistemas para ambas superficies, existen leves diferencias entre las cargas dinámicas totales de un mismo sistema para las distintas superficies (10 y 25 ha), las cuales son producto del mayor recorrido que presenta el agua en la mayor superficie, aumentando las pérdidas por efecto del roce hidráulico.

Cargas dinámicas totales para sistemas de riego abastecidos con aguas subterráneas. Al igual que en el caso anterior, existen diferencias en las cargas dinámicas totales entre los cuatro

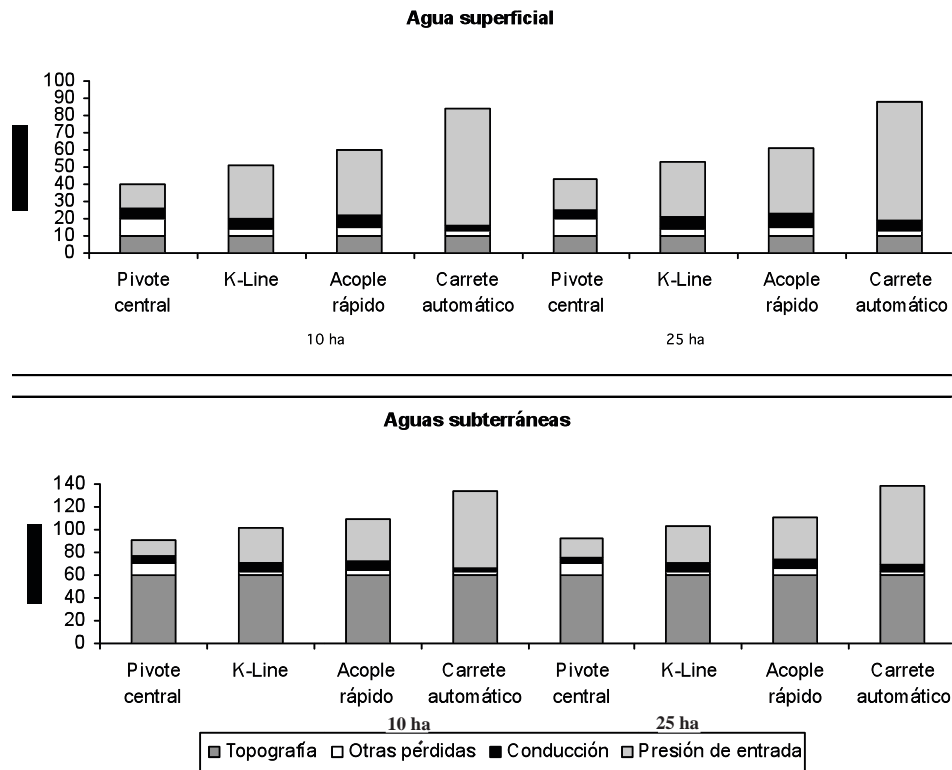


Figura 3. Carga dinámica total de los diferentes sistemas de riego.

Figure 3. Total manometric height of the different irrigation systems.

sistemas evaluados, producto de las presiones de trabajo de cada sistema.

Para estos casos es posible observar (Figura 3) un aumento en las cargas dinámicas totales en todos los sistemas de riego, producto de la profundidad de extracción del agua, la cual se produce a 60 m (nivel dinámico del pozo). En la Figura 3 se puede observar que los sistemas presentan igual comportamiento que en el caso de las aguas superficiales, pues el sistema de menor requerimiento en carga dinámica total fue el pivote central con 90 y 93 mca, en las 10 y 25 ha, respectivamente. Por otro lado, el carrete automático fue el que presentó las cargas dinámicas totales mayores, con valores de 134 y 138 mca, en las 10 y 25 ha, respectivamente. Con cargas dinámicas intermedias se ubicaron los sistemas K-Line y acople rápido.

Potencias netas. De acuerdo a las cargas dinámicas totales y los caudales requeridos por cada sistema, se calcularon las potencias netas requeridas para cada caso, clasificándolas de acuerdo al factor fuente de agua. La potencia neta de cada sistema es determinante en los costos energéticos que se deben asumir, ya que una mayor potencia implica un mayor gasto de electricidad y/o diesel, requerido para energizar los sistemas.

Potencias netas para sistemas de riego abastecidos con aguas superficiales. En el Cuadro 3 es posible ver que los sistemas riego presentaron distintos requerimientos de potencia neta, de acuerdo a las cargas dinámicas totales y caudales (para 10 y 25 ha). De los cuatro sistemas estudiados, el sistema con menor requerimiento de potencia neta por hectárea y

total fue el K-Line, presentando requerimientos de 0,6 hp ha⁻¹, lo que significó potencias netas totales de 6,8 hp en 10 ha y 15,9 hp para las 25 ha.

En segundo lugar se ubicó el sistema pivote central, a pesar de presentar las menores cargas dinámicas totales y caudales de los cuatro sistemas. Adicionalmente, se debió considerar la potencia requerida por los motores de cada una de las torres que movilizan la estructura. Cada motor requiere una potencia de 1 hp. Por lo tanto, para las 3 torres que requieren las 10 ha, se deben adicionar 3 hp extras, en tanto que para las 5 torres que requieren las 25 ha, se deben adicionar 5 hp extras. De este modo, este sistema presenta potencias netas por hectárea de 0,7 hp ha⁻¹ para ambas superficies, con lo que sus requerimientos de potencias totales corresponden a 7,5 y 16,8 hp para las 10 y 25 ha, respectivamente. En tercer lugar se ubicó el sistema de acople rápido, el cual presentó potencias netas por hectárea de 0,9 hp ha⁻¹ en ambas superficies, llegando a requerimientos de potencias netas totales de 9,6 y 23,4 hp para 10 y 25 ha, respectivamente. Por último, y a pesar de los bajos caudales de trabajo, se situó el carrete automático como el sistema con mayores requerimientos en potencias netas, producto de las altas cargas dinámicas totales. Las potencias netas fueron de 1 y 1,1 hp ha⁻¹, lo que significó requerimientos totales de potencia de 10,4 y 26,5 hp, para 10 y 25 ha, respectivamente.

Potencias netas para sistemas de riego abastecidos con aguas subterráneas. Al igual que el caso anterior, existieron diferencias de requerimientos de potencias netas entre los cuatro sistemas estudiados. En el mismo Cuadro

Cuadro 3. Potencias netas por hectárea y para el total de la superficie a regar, para diferentes sistemas de riego.

Table 3. Net power per hectare and for the total area under irrigation, for the different irrigation systems.

Sistema	Potencias Netas							
	Aguas superficiales				Aguas subterráneas			
	10 ha		25 ha		10 ha		25 ha	
hp ha ⁻¹	Total	hp ha ⁻¹	Total	hp ha ⁻¹	Total	hp ha ⁻¹	Total	
K-Line	0,6	6,8	0,6	15,9	1,3	13,0	1,2	30,7
Pivote central	0,7	7,5	0,7	16,8	1,3	13,5	1,3	31,1
Acople rápido	0,9	9,6	0,9	23,4	1,6	16,6	1,7	41,7
Carrete automático	1	10,4	1,1	26,5	1,6	17,7	1,7	41,7

3 se puede observar, que el sistema de pivote central presentó las menores potencias netas por hectárea, requiriendo de 1,3 y 1,2 hp ha⁻¹, en las 10 y 25 ha, respectivamente. Luego se ubicó el sistema K-Line, que presentó requerimientos de potencia neta de 1,3 hp ha⁻¹ en las 10 y 25 ha. En tercer lugar se situó el carrete automático y el acople rápido, que en 25ha presentaron potencias netas por hectárea de 1,7 hp ha⁻¹ y 41,7 hp totales. Sin embargo, en las 10 ha el carrete presentó un requerimiento de potencia neta total de 16,6 hp y el acople rápido 17,7 hp.

Al comparar las potencias netas de sistemas con aguas superficiales versus subterránea, es posible ver que los sistemas con agua subterránea presentan potencias entre un 74 y 97% superiores a las requeridas por los sistemas que utilizan fuente de agua superficial.

Costos de inversión. Los costos de inversión fueron el resultado de la suma de tres ítems: equipos y materiales, construcción y estructura y servicios.

Costo de inversión por hectárea de cuatro sistemas de riego abastecidos por aguas superficiales y energizados por electricidad. De acuerdo a la Figura 4, se observó que los costos de inversión variaron de acuerdo al sistema riego y la superficie regada, coincidiendo con lo señalado por Jara (2002). Dentro de estos costos de inversión, algunos ítems presentaron mayor influencia que otros, como fue el caso de los equipos y materiales, los cuales determinaron las variaciones de los costos de inversión entre los cuatro sistemas de riego estudiados. En la misma figura se observa que en las 10 ha, los menores costos de inversión los presentaron los sistemas de acople rápido y K-Line, con inversiones de \$1.649.959 y \$1.659.018 ha⁻¹, respectivamente. Por otro lado, los sistemas más costosos fueron el carrete automático y el pivote central, con inversiones de \$2.452.800 y \$2.745.737 ha⁻¹, respectivamente. Estos dos sistemas de mayor inversión presentaron costos un 49% y 66% superiores con respecto al sistema de acople rápido, respectivamente. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Ortega (2000), donde el sistema semi-fijo (acople rápido) presentó el valor más bajo de inversión, por debajo de los sistemas de carrete

automático y de pivote central.

También se pudo observar para la misma modalidad, que los costos de inversión disminuyen al aumentar el número de hectáreas regadas, lo cual se debe principalmente a la dilución de los costos en equipo y materiales. Lo anterior es visible para el sistema de acople rápido, el cual presentó un costo de inversión en las 25 ha de \$1.181.099 ha⁻¹ y en el caso del sistema K-Line, los costos logran disminuir a \$1.073.748 ha⁻¹. Esta disminución se acentuó aun más en los sistemas de mayor valor, tal como ocurrió con el carrete automático y pivote central, presentando una inversión por hectárea similares las que fueron de \$1.506.186 ha⁻¹ y \$1.500.939 ha⁻¹, respectivamente. La similitud entre los costos de inversión de estos sistemas concordó con los obtenidos por Ortega (2000). *Costo de inversión por hectárea de cuatro sistemas de riego abastecidos por aguas superficiales y energizados por diesel.* Al igual que en la modalidad anterior, los costos de inversión variaron de acuerdo al sistema de riego y la superficie regada. Además, el ítem de equipos y materiales fue el que presentó la mayor influencia dentro de los costos de inversión.

En 10 ha el sistema con menor inversión fue el K-Line, con \$886.512 ha⁻¹, seguido por el acople rápido con \$1.053.344 ha⁻¹ y por último el carrete automático, con un costo por hectárea de \$1.812.767 ha⁻¹, lo que significó una inversión de 104% más con respecto al sistema más económico, que fue el K-Line (Figura 4). Al aumentar la superficie regada a 25 ha, hay una disminución de los costos de inversión, causada por la baja en el costo por hectárea de equipos y materiales, además de la dilución de los costos en construcción e infraestructura. Así, para las 25 ha el sistema más económico sigue siendo el K-Line, con costos de inversión de \$852.577 ha⁻¹, seguido por el acople rápido, con una inversión de \$935.329 ha⁻¹ y por último, el sistema de carrete automático, el cual presentó la mayor disminución de sus costos de inversión por efecto de la superficie, siendo estos de \$1.209.694 ha⁻¹. Para este escenario no se consideró el pivote central, ya que para éste la electricidad es imprescindible, para energizar

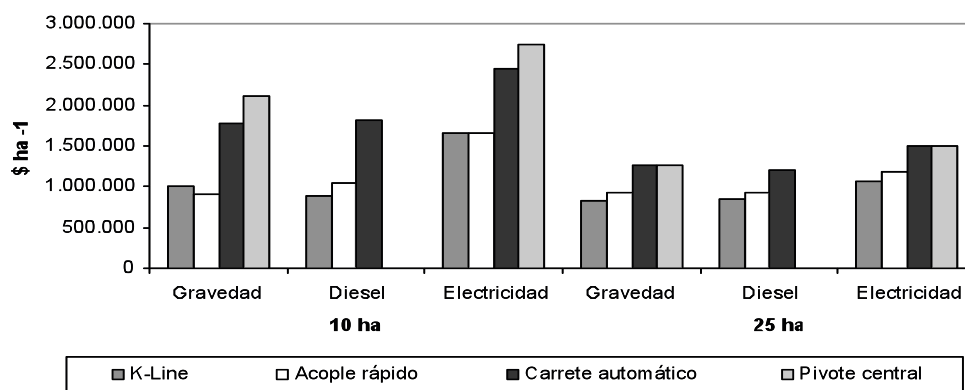


Figura 4. Costos de inversión por hectárea de diferentes sistemas de riego abastecidos por aguas superficiales.

Figure 4. Investment costs per hectare for the different irrigation systems supplied by superficial water.

los motores de cada torre.

Costo de inversión por hectárea de cuatro sistemas de riego abastecidos por aguas superficiales y energizados por una caída de agua (gravedad). Este escenario se encuentra condicionado por las características fisiográficas e hidrológicas del Sur de Chile y además por el sistema de riego con el cual es combinable. En esta condición se prescinde de la unidad de bombeo y además no existen gastos por concepto de energía.

En la Figura 4 se puede observar que para la superficie de 10 ha el sistema de acople rápido fue el de menor costo de inversión, siendo este de \$916.410 ha⁻¹, seguido por el sistema K-Line con \$1.002.025 ha⁻¹. Al igual que casos anteriores con otras fuentes de energía, los sistemas de carrete automático y pivote central fueron los que presentaron los mayores costos de inversión por hectárea, siendo estos de \$1.786.024 ha⁻¹ y \$2.112.868 ha⁻¹, respectivamente. Al aumentar la superficie regada a 25 ha, los costos de inversión por hectárea disminuyeron, ubicando a K-Line como el sistema de menor costo de inversión por hectárea, con \$830.909 ha⁻¹. Luego le sigue el sistema de acople rápido, con \$931.310 ha⁻¹. Al igual que para las 10 ha, los sistemas de carrete automático y pivote central fueron los que presentaron los mayores costos de inversión por hectárea, siendo estos de \$1.308.663 ha⁻¹ y \$1.549.680 ha⁻¹, respectivamente. Estos sistemas presentaron las mayores disminuciones en sus

costos por hectárea.

Costo de inversión por hectárea de cuatro sistemas de riego abastecidos por aguas subterráneas y energizados por electricidad. En este escenario entra a jugar un rol fundamental el ítem de construcción y estructuras, pues se requiere de la perforación y habilitación de un pozo profundo para la extracción del agua, obra de alto costo.

En la Figura 5 se observa que para 10 ha los sistemas con menores costos de inversión fueron el acople rápido y el sistema K-Line, presentando costos de \$3.372.332 ha⁻¹ y \$3.386.378 ha⁻¹, respectivamente. Por otra parte, los sistemas más costosos fueron el carrete automático y el pivote central, con inversiones de \$4.176.712 ha⁻¹ y \$4.400.325 ha⁻¹, respectivamente. Al aumentar la superficie a 25 ha, los costos de inversión disminuyeron, producto de la dilución de los costos en construcción y estructura como en servicios. Lo anterior redujo los costos de inversión a \$1.975.748 ha⁻¹ y \$2.078.135 ha⁻¹, en los sistemas K-Line y acople rápido, respectivamente. Para esta superficie los sistemas de carrete automático y pivote central fueron los más costosos y a la vez los que presentaron las mayores reducciones en sus costos de inversión, los que correspondieron a \$2.376.524 ha⁻¹ y \$2.324.935 ha⁻¹, respectivamente.

Comparación de costos de inversión por hectárea de sistemas de riego con tres fuentes

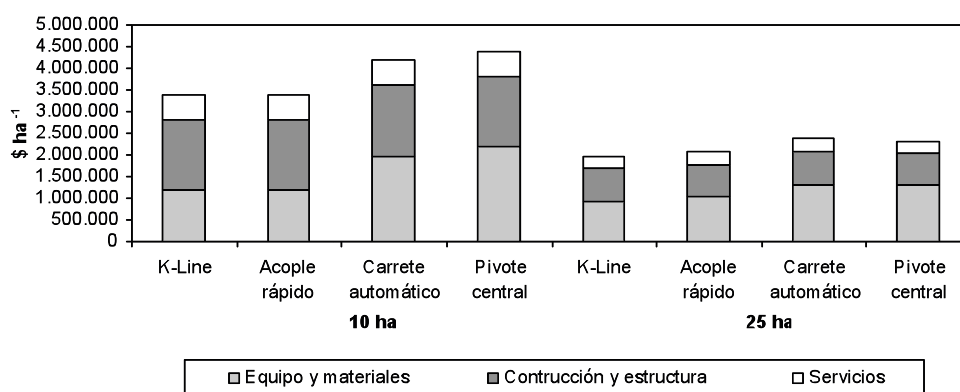


Figura 5. Costo de inversión por hectárea de cuatro sistemas de riego abastecidos por aguas subterráneas y energizadas por electricidad.

Figure 5. Investment costs per hectare for four irrigation systems supplied by underground water and powered by electricity.

de energía distintas. De acuerdo a la Figura 6, se observó que los proyectos energizados por medio de diesel y una caída de agua (gravedad), exhibieron costos de inversión por hectárea similares y los más bajos del estudio, tanto en las 10 como 25 ha. Por otra parte, para ambas superficies, las mayores inversiones se produjeron en los proyectos energizados por medio de electricidad, debido a que estos deben incurrir en una serie de instalaciones extras, como una extensión de la línea eléctrica y la respectiva sub-estación; esta última con una potencia dependiente de la bomba requerida.

Comparación entre costos de inversión para diferentes fuentes de agua. Los proyectos abastecidos por agua subterránea, fueron las que presentaron las mayores inversiones, debido a los costos de la perforación y habilitación del pozo profundo, necesarios para la extracción del agua. Por otra parte, las menores inversiones se produjeron con el uso de fuente de agua superficial, las que solo requirieron de una captación tradicional.

Costos anuales. Los costos anuales son los costos que se asumen por conceptos de implementación del riego por aspersión. Estos costos corresponden a la suma de costos operacionales y costos fijos, estos últimos de acuerdo a la vida útil de cada sistema.

Comparación entre costos anuales por hectárea

de tres fuentes energéticas distintas, usando aguas superficiales. En la Figura 6 se observa que los costos anuales variaron con respecto a la fuente energética utilizada. En 10 y 25 ha, los menores costos anuales se producen en sistemas energizados por gravedad, que no presentan costos por concepto de energía, produciendo además una disminución en el interés al costo operacional.

Proyectos de 10 ha energizados vía diesel presentan costos anuales inferiores a los energizados por electricidad, a pesar que esta última sea una energía más barata.

Esto se debió a que los sistemas eléctricos presentan costos fijos mayores, producto de su depreciación e interés al capital fijo. Para las 25 ha todos los proyectos presentaron una disminución en sus costos anuales, lo que fue más notorio en los sistemas eléctricos, producto de la dilución de los costos fijos. Esto último trajo como consecuencia que los costos anuales sean similares entre los sistemas energizados por diesel y electricidad en esta superficie. Ortega (2000) señala que los montos de inversión para los sistemas energizados por diesel son levemente superiores a los energizados eléctricamente, contraponiéndose con lo obtenido en este estudio. Lo anterior se debió a diferentes valores de las fuentes energéticas usados en ambos estudios.

Costos anuales por hectárea de cuatro sistemas

de riego abastecidos por aguas subterráneas y energizadas por electricidad. Esta modalidad representa el escenario más adverso para un proyecto de riego, desde el punto de vista económico. En la Figura 7 se observa que dentro de los costos anuales, los costos fijos son más importantes que los costos operacionales, siendo además más altos que los de los proyectos que usan agua superficial. Al igual que en escenarios anteriores, el sistema K-Line fue el que tuvo los menores costos anuales para las 10 ha, presentando un costo anual de \$1.027.427 ha⁻¹ año⁻¹. Este fue seguido por los sistemas de acople rápido, pivote central y carrete automático, con costos anuales de \$1.152.411, \$1.189.618 y \$1.257.719 ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente. Para el caso de las 25 ha, todos los sistemas presentaron una disminución en sus costos anuales por efecto del aumento en la superficie. El pivote central fue el que presentó la mayor disminución, alcanzando los \$680.043 ha⁻¹ año⁻¹. Con un costo anual similar de \$694.208 ha⁻¹ año⁻¹ se sitúa el sistema K-Line. En tercer y cuarto lugar se ubicaron los sistemas de acople rápido y carrete automático, con costos anuales de \$757.137 y \$882.080 ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente.

Evaluación económica. Para la evaluación

económica de cada proyecto se realizó un presupuesto parcial, calculando la utilidad marginal. En este estudio sólo se evaluó al riego como una tecnología, que permite aumentar la producción de la pradera destinada a leche. De acuerdo a lo anterior, se calcularon las utilidades marginales de cada proyecto.

Utilidades marginales por hectárea de cuatro sistemas de riego abastecidos por aguas superficiales y energizadas por electricidad. En el Cuadro 4 se observa que para 10 y 25 ha los cuatro sistemas sin bonificación presentaron utilidades marginales negativas, debido a que los ingresos generados por el riego fueron inferiores a los costos anuales.

Cuando se aplica la bonificación del 50% a los costos de inversión, se observa que los sistemas K-Line y pivote central, en 25 ha, son los únicos que presentan utilidades marginales positivas. Estos resultados se contraponen con los obtenidos por Ortega (2000), donde las mejores rentabilidades, corresponden al equipo de riego semi-fijo (acople rápido). Para el caso de los sistemas de acople rápido y carrete automático se siguen obteniendo cifras negativas, pero con menores pérdidas. Lo anterior también se produjo en las 10 ha en los cuatro sistemas de riego estudiados.

Utilidades marginales por hectárea de cuatro

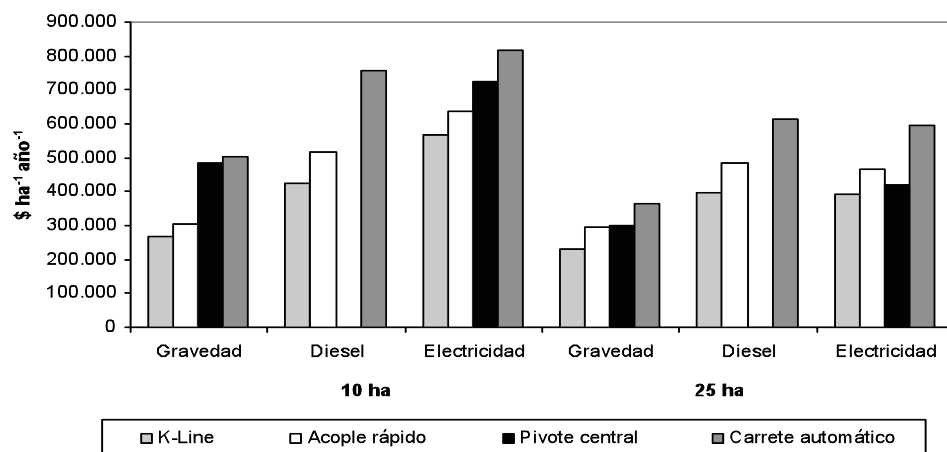


Figura 6. Comparación de costos anuales por hectárea de sistemas de riego energizados por tres fuentes energéticas distintas, abastecidos con aguas superficiales

Figure 6. Annual costs per hectare for irrigation systems powered by different energy sources supplied with superficial water.

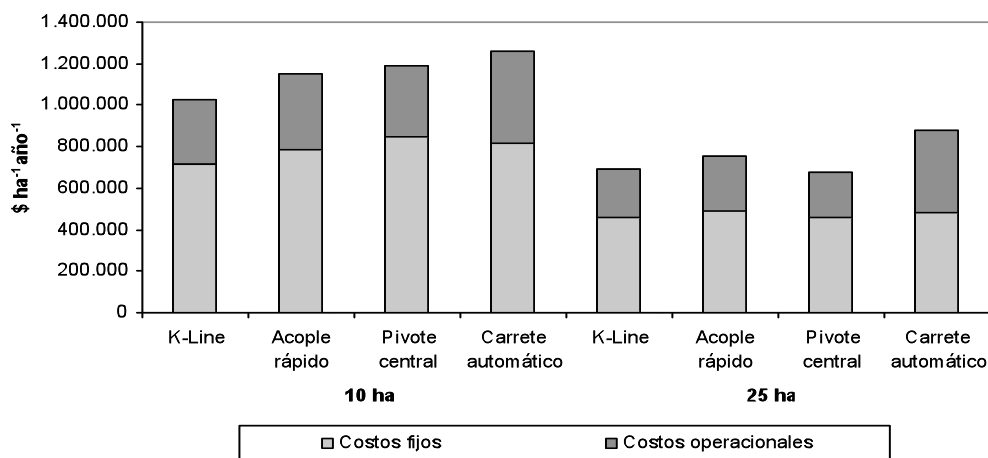


Figura 7. Costos anuales por hectárea de cuatro sistemas de riego abastecidos por aguas subterráneas y energizadas por electricidad.

Figure 7. Annual costs per hectare of different irrigation systems supplied by underground water and powered by electricity.

sistemas de riego abastecidos por aguas superficiales y energizadas por diesel. En el Cuadro 5 se observa que en las 10 ha los tres sistemas de riego estudiados presentaron utilidades marginales negativas, a pesar de presentar bonificación. El sistema que presentó las menores pérdidas es el K-Line con bonificación, con $-\$18.734 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Para 25 ha, las utilidades marginales siguen siendo negativas sin bonificación. Por otra parte, con bonificación también se produjeron utilidades marginales negativas, a excepción del K-Line, que fue el único sistema que presentó una mínima utilidad marginal positiva. Para ambas

áreas, el carrete automático fue el que presentó las mayores pérdidas, lo que concuerda con Ortega (2000).

Utilidades marginales por hectárea de cuatro sistemas de riego, abastecidos por aguas superficiales y energizadas por una caída de agua (gravedad). En el Cuadro 6 se observa que en las 10 ha los sistemas K-Line y de acople rápido presentan utilidades marginales positivas, que aumentan al ser subvencionados, llegando a utilidades de $\$151.099 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, para el sistema K-Line. Le siguen los sistemas de acople rápido y pivote central, este último sólo presentó cifras positivas cuando es subvencionado.

Cuadro 4. Utilidades marginales por hectárea de cuatro sistemas de riego abastecidos por aguas superficiales y energizadas por electricidad.

Table 4. Net income per hectare for irrigation systems supplied by superficial water and powered by electricity.

Superficie	Financiamiento	K-Line	Acople rápido	Pivote central	Carrete automático
		$\$ \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$			
10 ha	Sin bonificación	-247.984	-318.413	-405.657	-498.594
	Con bonificación	-85.806	-157.820	-176.392	-280.171
25 ha	Sin bonificación	-74.109	-147.964	-98.940	-274.251
	Con bonificación	30.540	-33.237	26.038	-150.484

Cuadro 5. Utilidades marginales por hectárea de cuatro sistemas de riego abastecidos por aguas superficiales y energizadas por diesel.

Table 5. Net income per hectare for irrigation systems supplied by superficial water and powered by diesel fuel.

Superficie	Financiamiento	K-Line	Acople rápido \$ ha ⁻¹ año ⁻¹	Carrete automático
10 ha	Sin bonificación	-106.499	-195.454	-437.228
	Con bonificación	-18.734	-91.173	-255.578
25 ha	Sin bonificación	-77.595	-162.655	-295.277
	Con bonificación	6.810	-70.058	-193.663

En el carrete automático este siempre presentó utilidades marginales negativas en ambas superficies, producto de sus altos costos operacionales. Para las 25 ha se observó que los sistemas K-Line, acople rápido y pivote central sin bonificar presentaron utilidades marginales positivas, las que fluctuaron entre \$21.666 y \$90.969 ha⁻¹ año⁻¹. Estos sistemas aumentan considerablemente sus utilidades marginales con una bonificación, fluctuando entre \$117.552 y \$173.229 ha⁻¹ año⁻¹ para acople rápido y K-Line, respectivamente. En el caso del carrete, este también presentó un valor positivo, pero la más baja utilidad marginal con bonificación entre los cuatro sistemas estudiados.

Utilidades marginales por hectárea de cuatro

sistemas de riego, abastecidos por aguas subterráneas y energizados por electricidad. En el Cuadro 7 se puede observar, que en 10 y 25 ha existen utilidades marginales negativas, las cuales aumentan en las 10 ha, por los altos costos fijos que presentan cada uno de los proyectos en esta superficie. Para el caso de las 25 ha, a pesar de la dilución de sus costos fijos, las utilidades marginales siguen siendo negativas. Haciendo uso de la bonificación del 50% de los costos de inversión totales, las utilidades marginales siguen siendo negativas, pero con menores pérdidas que las producidas cuando no existe subvención. Aquí también es posible ver, que el presente escenario es el menos favorable de todos los estudiados.

Cuadro 6. Utilidades marginales por hectárea de cuatro sistemas de riego abastecidos por aguas superficiales y energizadas una caída de agua (gravedad).

Table 6. Net income per hectare of irrigation systems supplied by superficial water and powered by gravity.

Superficie	Financiamiento	K-Line	Acople rápido \$ ha ⁻¹ año ⁻¹	Pivote central	Carrete automático
10 ha	Sin bonificación	51.899	17.218	-164.408	-183.676
	Con bonificación	151.099	107.942	13.073	-33.650
25 ha	Sin bonificación	90.969	25.352	21.666	-46.023
	Con bonificación	173.229	117.552	127.141	60.180

Cuadro 7. Utilidades marginales por hectárea de cuatro sistemas de riego abastecidos por aguas subterráneas y energizadas electricidad.

Table 7. Net income per hectare of irrigation systems supplied by underground water and powered by electricity.

Superficie	Financiamiento	K-Line	Acople	Pivote	Carrete
			rápido	central	automático
\$ ha ⁻¹ año ⁻¹					
10 ha	Sin bonificación	-707.427	-832.411	-869.618	-937.719
	Con bonificación	-406.094	-502.679	-502.743	-582.746
25 ha	Sin bonificación	-374.208	-437.137	-360.043	-562.080
	Con bonificación	-181.362	-234.705	-166.951	-366.582

CONCLUSIONES

De los resultados del presente trabajo es posible obtener las siguientes principales conclusiones:

- El sistema de riego de acople rápido en praderas destinadas a leche presentó utilidad marginal positiva sólo cuando existe abastecimiento con aguas superficiales y se energiza con una caída de agua. Lo anterior es independiente de la superficie regada y de la aplicación de una bonificación o subsidio.

- El método de riego mediante carrete automático presentó utilidad marginal positiva sólo cuando existe abastecimiento con aguas superficiales, se energiza con una caída de agua, si se usa una superficie regada igual o mayor a 25 ha y se aplica una bonificación de un 50% en sus costos de inversión. Este sistema presentó siempre los mayores costos anuales, altos costos de inversión y los mayores requerimientos de potencia, convirtiéndolo en el sistema menos recomendable para regar praderas.

- El sistema de pivote central presenta utilidad marginal positiva cuando se abastece con aguas superficiales, se energiza con una caída de agua y se riega una superficie de 10 ha con 50% de bonificación en sus costos de inversión, o bien se riega una superficie de 25 o más hectáreas, con o sin bonificación. También es posible obtener utilidad marginal positiva con este sistema al impulsar aguas superficiales con

energía eléctrica, regando superficies mayores o igual a 25 ha y usando una bonificación de 50%.

- La metodología de riego K-Line presenta utilidad marginal positiva cuando se abastece con aguas superficiales, se energiza con una caída de agua, se usa una superficie regada de 10 ha o más, con o sin bonificación. También es posible obtener utilidad marginal positiva con este sistema al impulsar aguas superficiales con energía eléctrica o diesel, regando superficies mayores a 25 ha y usando una bonificación de 50%. En los proyectos desarrollados en el presente estudio, el sistema K-Line requirió siempre las menores potencias, presentó los menores costos anuales, los menores costos de inversión y obtuvo siempre los mayores ingresos marginales y es, por todo lo anterior, el sistema más recomendable para regar praderas.

- Ningún proyecto que usó como fuente de abastecimiento las aguas subterráneas obtuvo un ingreso marginal positivo.

- Con los resultados anteriores, la hipótesis planteada al inicio se acepta.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue realizado a través del Proyecto M2P15 , Convenio Consorcio Lechero-FIA-Universidad Austral de Chile.

BIBLIOGRAFIA

- BUSTAMANTE, J. 1996. Manual de obras menores de riego. Santiago, Chile, Ed. Antártico. 346 p.
- CHILE, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACION REMEHUE (INIA). 1989. Ley de fomento a obras de riego y drenaje. Boletín Técnico INIA. N° 148. Osorno, Chile. 30 p.
- HOLMES, C. W.; BROOKES, I. M.; GARRICK, D. J.; MACKENZIE, D. D. S.; PARKINSON, T. J.; WILSON, G. F. 2002. Milk production from pasture. Massey University, Palmerston North. New Zealand. 601 p.
- JARA, L. 2002. Alternativas de inversión para la puesta en riego de los predios del sistema Laja Diguillín en Yungay. Tesis de Ingeniero Civil Agrícola. Concepción, Universidad de Concepción. 123 p.
- K-LINE IRRIGATION. 2001. Sistema de riego K-Line. (On line) <http://www.k-linena.com/new_page_2.htm>. (23-11-2007).
- ORTEGA, L. 2000. Informe Final Estudio "Rentabilidad de Rubros Agropecuarios con Riego en la Xa. Región" (CORFO/INIA). CRI Remehue-INIA. Osorno, Chile.
- ORTEGA, L. s/f. Aplicación de tecnología de riego y drenaje en pradera de la zona sur. Ed. Instituto de Investigación Agraria. Chile. 7 p.
- ROBERT, L. 2008. Efecto del riego, frecuencia de corte y la fertilización nitrogenada sobre la producción de una pradera artificial de ballica, en la comuna La Unión. Tesis Licenciado en Agronomía. Valdivia, Universidad Austral de Chile. 62 p.