

FUNCIONES DE DEMANDA DE AGUA SUBTERRÁNEA PARA EL ESTE MENDOCINO

Lic. Carla Verónica Barbazza

Instituto Nacional del Agua – Centro de Economía, Legislación y Administración del Agua (INA – CELA)

Belgrano 210 Oeste Mendoza (5500) Teléfono: 0261 – 4287921 Fax: 0261- 4285416

E-mail: cbarbazza@hotmail.com - celaa@mendoza.edu.ar

RESUMEN

La salinización de acuíferos es un tema preocupante en el Este de la Cuenca Norte de Mendoza, principalmente en los departamentos de San Martín, Rivadavia y Junín, donde se encuentran las principales áreas cultivadas del Este mendocino. En esta zona existen áreas críticas donde el agua del segundo nivel del acuífero presenta tenores salinos no aptos para el riego agrícola, y donde se ha comenzado a salinizar el tercer y último nivel

Dado que la sobreexplotación del acuífero es la principal causa de salinización, sería necesario implementar estrategias tendientes a reducir las cantidades demandadas de agua subterránea. Una de las diversas formas de lograr esto es a través de un cambio en el costo de bombeo vía un aumento en la tarifa eléctrica y/o la implementación del cobro volumétrico. En este sentido, el objetivo de la investigación consiste en estimar funciones de demanda de agua subterránea. Éstas constituyen una herramienta muy útil ya que permiten prever el cambio en las cantidades demandadas de agua subterránea, por parte de los productores, ante un cambio en el costo de extracción. Por otra parte también permiten analizar la incidencia de otros factores económicos e hidrológicos sobre la cantidad de agua empleada.

Las funciones de demanda de agua se estimaron en forma directa, analizando las cantidades de agua bombeada a diferentes profundidades (diferentes precios). También se analizó la influencia sobre las cantidades extraídas de agua de otros factores que varían de finca a finca. Estos son: conductividad eléctrica del agua del suelo, tamaño de la propiedad, sistema de riego, derecho a riego superficial. Para esto se utilizaron datos a nivel de finca (sección cruzada), provenientes de un censo realizado en San Martín, en el año 2001, por el Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua. (CRA – INA).

Por otra parte, se realizó un análisis estadístico descriptivo de la información utilizada en las regresiones.

De acuerdo a los resultados obtenidos, un aumento de la tarifa eléctrica del 10% (considerando constantes la eficiencia de la bomba y la altura de bombeo, que son los otros componentes de la variable costo) ó un aumento en el costo de extracción (del 10%) originado en el cobro volumétrico, ocasionaría una disminución en la cantidad de agua bombeada del 12.8% para el caso de explotaciones con derecho a riego. En el caso de fincas sin derecho a riego esta disminución oscilaría entre un 5.7% y 7.0%. Por otra parte, el gasto en energía (\$/ha/ciclo vegetativo) disminuiría para aquellos productores que realizan uso conjunto y aumentaría para quienes realizan uso exclusivo.

Palabras claves: agua subterránea – funciones de demanda – salinización de acuíferos – costo de bombeo

INTRODUCCION

El agua es un recurso indispensable para el desarrollo económico social, lo que adquiere particular relevancia en zonas áridas como Mendoza. Esta provincia, si bien constituye un destacable ejemplo de buena administración de los recursos hídricos, mantiene una larga deuda por la ausencia de una adecuada gestión del agua subterránea. Esta falencia ha permitido la sobreexplotación de los acuíferos, lo que ha perjudicado tanto la calidad como la cantidad de sus aguas.

La salinización de acuíferos es un tema preocupante en el Este de la Cuenca Norte de Mendoza, principalmente en los departamentos de San Martín, Rivadavia y Junín, donde se encuentran las principales áreas cultivadas del Este mendocino. En esta zona existen áreas críticas donde el agua del segundo nivel del acuífero presenta tenores salinos no aptos para el riego agrícola, y donde se ha comenzado a salinizar el tercer y último nivel (Llop, 1999)

Dado que la sobreexplotación del acuífero es la principal causa de salinización (Llop, 1997; Alvarez et al., 2004), sería necesario implementar estrategias tendientes a reducir las cantidades demandadas de agua subterránea. Una de las diversas formas de lograr esto es a través de un cambio en el costo de bombeo vía un aumento en la tarifa eléctrica y/o la implementación del cobro volumétrico¹. En este sentido la función de demanda de agua subterránea constituye una herramienta muy útil ya que permite prever el cambio en las cantidades demandadas de agua subterránea, por parte de los productores, ante un cambio en el costo de extracción. Por otra parte también permite analizar la incidencia de otros factores económicos e hidrológicos sobre la cantidad de agua empleada.

FUNCIÓN DE DEMANDA DE AGUA Y ELASTICIDAD

El concepto de demanda al que haremos referencia en este trabajo es aquel que describe la conducta de los usuarios de un bien, en este caso el agua subterránea.

La cantidad demandada de agua subterránea por parte de los productores, depende de su precio y otros factores tales como el acceso y precio del agua superficial, los sistemas de riego empleados, la salinidad de los suelos, etc.

La función de demanda es la relación entre la cantidad demandada de agua subterránea en un período determinado, su precio y el resto de los factores. Al representarla gráficamente se mantienen constantes los demás factores que afectan la cantidad demandada:

¹ Actualmente el cobro por la utilización de aguas subterráneas se realiza en función del diámetro de la perforación (a mayor diámetro, mayor es el canon anual que se cobra).

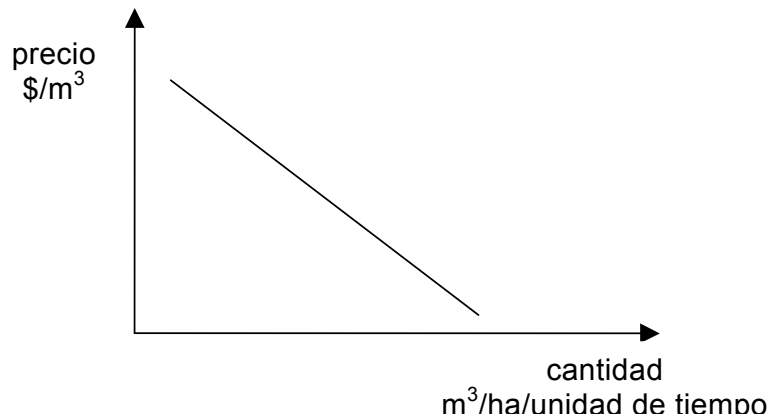


Figura 1. Función de demanda de agua

Cuando el precio es bajo la cantidad demanda de agua subterránea es relativamente grande. A medida que el precio aumenta las cantidades demandadas disminuyen. Los cambios en el precio producen movimientos a lo largo de la curva de demanda, mientras que las variaciones en cualquiera de los otros factores originan desplazamientos de la curva. En la figura 2 un aumento del precio produce un movimiento a lo largo de la curva de A a B y la adopción de un sistema de riego más eficiente (ineficiente) desplaza la curva de demanda hacia la izquierda (derecha).

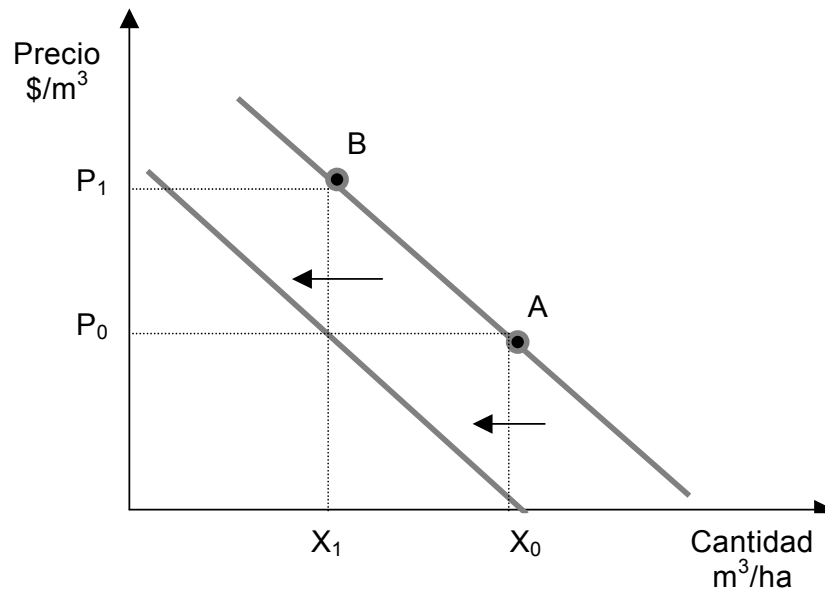


Figura 2. Desplazamiento de la curva de demanda

Otro concepto importante a tener en cuenta es la “elasticidad - precio de la demanda” o “elasticidad de la demanda” que mide la variación porcentual de la cantidad demandada de un bien ante una variación de su precio en un 1%, manteniéndose constantes los demás factores que afectan a la cantidad demandada.

METODO UTILIZADO

Existen diversos métodos para estimar demandas por agua: el método de la función de producción, transacciones de agua, valor de la tierra y modelos de programación (Bertranou, 1976). En este trabajo la función de demanda de agua se estimó en forma directa, analizando las cantidades de agua bombeada a diferentes profundidades (diferentes precios). Este método implica que, a igualdad en la eficiencia de las bombas, aquellos que tengan que extraer el agua desde mayor profundidad (lo que significa mayor costo) utilizarán menos agua que aquellos para quienes el costo sea menor (Bertranou, 1976).

También se analizó la influencia de otros factores que varían de finca a finca. Estos son: conductividad eléctrica del agua del suelo, tamaño de la propiedad, sistema de riego, derecho a riego superficial. Por lo tanto, se ajustó a los datos una función de demanda del tipo:

$$Y = f(P, CE, R, Z, D) \quad (1)$$

en donde:

Y = cantidad de agua subterránea utilizada.

P = costo de bombeo.

CE= conductividad eléctrica del agua del suelo

R= vector de variables artificiales correspondiente al sistema de riego

Z= tamaño de la explotación

D= vector de variables artificiales correspondiente al derecho a riego.

CARACTERIZACION DE LAS VARIABLES RELEVANTES

La expresión (1) contiene las variables que conformarán las funciones de demanda a ser estimadas. A continuación se presenta una caracterización de dichas variables:

Cantidad de agua subterránea utilizada: esta variable representa la cantidad de agua subterránea que emplea cada finca por hectárea.

Costo de bombeo: esta variable representa el costo de la energía eléctrica empleada para extraer agua. Se espera que mientras mayor sea el costo de bombeo que enfrenta el productor menor será la cantidad de agua subterránea empleada.

Conductividad eléctrica del agua del suelo (microsiem/cm): esta variable puede influenciar en la cantidad de agua empleada ya que el agua no sólo es utilizada para el consumo

de la planta sino también para lavar el suelo; por lo tanto, a mayor salinidad del agua del suelo se esperará un mayor uso del agua.

Variables artificiales correspondiente al sistema de riego: la variable cualitativa “sistema de riego” presenta tres categorías:

RC: riego cimalco
RSM: riego por surco o melga
RP: riego presurizado

Dado que el riego presurizado es un sistema más eficiente que el resto, se espera que aquellas fincas que poseen riego presurizado utilicen menos agua que las fincas que poseen riego cimalco, por surco o melga.

Tamaño de la explotación: la influencia del tamaño de la firma en las cantidades utilizadas de agua está dada por la hipótesis de que las fincas más grandes estarían en condiciones económicas de poseer tecnologías de riego más eficientes y por lo tanto utilizarían menos agua para regar sus cultivos.

Variables artificiales correspondiente al derecho a riego: el hecho de que una finca posea o no posea derecho a riego (es decir tenga o no tenga acceso al agua superficial) tiene fundamental importancia con relación a las cantidades de agua subterránea utilizada. Al ser el costo del agua superficial menor que el costo del agua subterránea, las fincas que poseen derecho a riego utilizan agua subterránea como complemento a fin de cubrir los déficit estacionales de agua superficial que ocurren normalmente en primavera. Por lo tanto aquellas explotaciones que no poseen agua superficial utilizarán más agua subterránea que aquellas firmas que tienen acceso al agua superficial.

FUENTE Y GENERACION DE LA BASE DE DATOS EMPLEADA

A fin de estimar la demanda de agua subterránea se utilizaron datos a nivel de finca (sección cruzada), provenientes de un censo realizado en San Martín por el Centro Regional Andino del Instituto Nacional del Agua. (CRA – INA).

Dicho censo se llevó a cabo en el año 2001 en el área más afectada por el proceso de salinización que comprende parte de los distritos Alto Salvador, Chapanay, Montecaseros, Tres Portañas, El Divisadero y Chivilcoy. Este estudio relevó información sobre las características técnicas de las perforaciones, las producciones y usos del agua de los predios agrícolas. Las propiedades censadas en el área sumaron un total de 1622.

Según el censo, la estructura del área cultivada en la zona de estudio es la siguiente (Alvarez et al., 2004):

Tabla 1. Superficie cultivada

cultivo	vid	frutales	olivos	chacra	forraje	total
Superficie (ha)	10013.1	1895.1	75.75	295	172.95	12451.9
Porcentaje	80.4	15.2	0.6	2.4	1.4	100

La base de datos que surgió del censo fue completada con información obtenida de un relevamiento de pozos llevado a cabo por la Inspección de Cauce Montecaseros. Posteriormente se procedió a depurar la base de datos eliminando aquellas perforaciones que:

- No poseían ruta y folio, ya que sin este dato no era posible obtener los consumos eléctricos y en consecuencia las cantidades extraídas de agua
- Se encontraban abandonadas
- No poseían datos de caudal, sin esta información no era posible calcular las cantidades bombeadas de agua
- No poseían datos de conductividad eléctrica
- Se valían de combustible, y no de electricidad, para bombear agua.
- Se utilizaban para abastecimiento industrial

Por otra parte, se eliminaron aquellas fincas que:

- No poseían información sobre las hectáreas cultivadas, sin la cual no se podía calcular los m³ de agua aplicados por hectárea
- Poseían más de un pozo activo y alguno de ellos no tenía la información necesaria para calcular las cantidades de agua extraída. Esto iba a originar una subestimación de las cantidades bombeadas de agua en la propiedad.

Como resultado de esta depuración quedaron 138 fincas, las que representan un total de 2812.5 has cultivadas y con cuya información se estimó económicamente la función de demanda de agua subterránea para el ciclo vegetativo (septiembre a abril). La estructura del área cultivada correspondiente a estas fincas es la siguiente:

Tabla 2. Superficie cultivada

cultivo	vid	frutales	olivos	chacra	forraje	total
Superficie	2385.84	271.2	22.4	72	61.5	2812.55
Porcentaje	84.82	9.64	0.79	2.56	2.19	100

Para poder estimar las cantidades de agua bombeada en cada pozo fue necesario contar con los correspondientes consumos eléctricos. Debido a que los datos de producción y hectáreas cultivadas relevadas en el censo correspondían al ciclo agrícola 2000–2001, se decidió trabajar con los consumos eléctricos correspondientes al ciclo vegetativo de este período. Para ello se acudió al EPRE quien brindó los datos correspondientes al año 2001 y al último trimestre del año 2000. El resto de los consumos fue solicitado a la cooperativa eléctrica que funciona en la región (Coop. Alto Verde y Algarrobo Grande).

Las variables utilizadas en las regresiones fueron calculadas y medidas de la siguiente manera:

Cantidad de agua subterránea utilizada: esta variable está expresada en m³/ha/ciclo vegetativo. Para aquellas explotaciones con sistemas de riego no presurizados (riego cimalco ó riego por surco o melga) el calculo de esta variable se realizó en función del consumo eléctrico de cada finca durante el período vegetativo, el caudal y la potencia de la bomba:

$$m3 = \frac{\text{consumoeléctrico}(kw/h) * \text{caudal}(m3/h)}{\text{Potencia}(kw)} \quad (2)$$

En el caso de explotaciones con sistemas de riego presurizado resulta necesario conocer cuanta energía se ha empleado para extraer agua y cuanta para distribuirla. Dado que no se contaba con esta información, a estas fincas se les asignó un valor de 8.500 m³/ha/ciclo vegetativo, el cual es consistente con la evapotranspiración de los cultivos y los requerimientos de lixiviación.

Costo de bombeo: esta variable está expresada en \$/m³. Su calculo se realizó en función del gasto en energía en que incurrió cada finca durante el período vegetativo y el agua total bombeada durante dicho período:

$$\text{costo}(\$/m3) = \frac{\text{Gastoenergía}}{\text{aguabombeada}} \quad (3)$$

Cabe aclarar que el gasto en energía no incluye los cargos fijos referidos a comercialización y uso de red (sólo contempla el cargo variable referido a consumo de energía) ya que éstos no son relevantes para el productor a la hora de decidir cuanta cantidad de agua extraer. El monto que el productor paga por estos conceptos es independiente de la cantidad de energía que consuma para bombear el agua.

Conductividad eléctrica del agua del suelo: expresada en microsiem/cm. Si bien correspondería utilizar datos de la CE del agua del suelo, ya que es la salinidad del mismo la que afecta los rendimientos de los cultivos y por lo tanto la cantidad de agua empleada, se trabajó con información referida a la CE del agua de riego. La razón para justificar el uso de la CE del agua de riego la constituye el hecho de que en la zona bajo análisis los suelos son predominantemente arenosos, lo que hace que la salinidad del agua del suelo y del agua de riego no difieran en forma significativa.²

Variabes artificiales correspondiente al sistema de riego: los diferentes sistemas de riego presentes en la región son riego presurizado, riego cimalco y riego por surco o melga. Por lo tanto, la variable cualitativa “sistema de riego” presenta tres categorías:

- RC: riego cimalco

² En estudios realizados por el CELA, se observa que la salinidad del suelo (conductividad eléctrica del estrato a saturación) supera por muy poco valor a la conductividad eléctrica del agua de riego. La relación entre ambas desciende en algunos casos a 1,1, siendo siempre menor de 2 (Llop, 1997).

RC = 1 si tiene riego cimalco
0 si ocurre otra cosa

- RSM: riego por surco o melga

RSM = 1 si riega por surco o melga
0 si ocurre otra cosa

- RP: riego presurizado

RP = 1 si tiene riego presurizado
0 si ocurre otra cosa

La categoría base (categoría de comparación) que se introdujo en las regresiones fue RP.

Tamaño de la explotación: Los valores que toma esta variable están dados por la cantidad de hectáreas cultivadas de la explotación.

Variables artificiales correspondiente al derecho a riego: los valores que toma esta variable son:

D = 1 si la finca posee derecho a riego
0 si ocurre lo contrario

Con toda esta información se estimaron tres funciones de demanda distintas:

- Una función de demanda global, para la cual se utilizó la información proveniente de las 138 fincas seleccionadas.

- Una función de demanda para fincas que no poseen derecho a riego (uso exclusivo de agua subterránea): en este caso se seleccionaron, dentro de las 138 firmas, aquellas que no poseían derecho a riego, es decir que realizan un uso exclusivo del agua subterránea, y se trabajó con ellas en la estimación econométrica. Estas firmas sumaron un total de 44.

- Una función de demanda para fincas que poseen derecho a riego (uso conjunto de agua superficial y subterránea): en este caso se seleccionaron, dentro de las 138 firmas, aquellas que poseían derecho a riego, es decir que realizan un uso conjunto del agua superficial y subterránea, y se trabajó con ellas en la estimación econométrica. Estas firmas sumaron un total de 94.

ANALISIS ESTADISTICO

A continuación se presenta un análisis estadístico descriptivo de los datos empleados en las estimaciones de las funciones de demanda.

Tabla 3. Datos estadísticos de las firmas que no poseen derecho a riego

	Agua subterránea (m3/ha/ciclo vegetativo)	Costo (\$/m3)	Conductiv (microsiem/cm)	Has cultiv
Media	13251	0.009	2155	19
Mediana	12612	0.007	2195	16
Max	42354	0.035	5010	80
Min	950	0.004	770	2
St. Dev.	8218	0.006	1061	15
Coef. Var.	62.0%	66.7%	49.2%	78.9%
Observ.	44	44	44	44

Tabla 4. Datos estadísticos de las firmas que poseen derecho a riego

	Agua subterránea (m3/ha/ciclo vegetativo)	Costo (\$/m3)	Conductiv (microsiem/cm)	Has cultiv
Media	3929	0.016	2099	21
Mediana	2781	0.008	1726	17
Max	24416	0.229	6830	76
Min	25.3	0.002	665	2.45
St. Dev.	4184	0.03	1137	14.86
Coef. Var.	106.5%	187.5%	54.2%	70.8%
Observ.	94	94	94	94

Agua

Los productores cuyas explotaciones poseen derecho a riego emplearon, en promedio, 3929 m3/ha de agua subterránea durante el ciclo vegetativo 2000 -2001, a fin de cubrir el déficit de agua superficial.

Aquellas fincas que satisfacen sus demandas hídricas solamente con bombeo, es decir no poseen derecho a riego, utilizaron en promedio 13251 m3/ha de agua subterránea durante dicho ciclo. Este valor es similar al valor de la mediana (12612) el que nos está indicando que en la

mitad de los casos se utilizaron 12612 m³/ha/ciclo vegetativo ó menos, y en la otra mitad se superó ese valor. Por otra parte, el consumo promedio de agua subterránea es similar al que obtuvo el CRA para la zona de estudio (12277 m³/ha/año) considerando el porcentaje de cada cultivo, el consumo de los cultivos o evapotranspiración y la eficiencia de aplicación del agua (60%) (Alvarez et al., 2004).

Tabla 5. Distribución de frecuencias agrupada y distribución de frecuencias acumuladas de las cantidades de agua subterránea bombeada por las fincas que no poseen derecho a riego

Intervalo de clase (m ³ /ha/ciclo vegetativo)	f	f acumulada	% acumulado
0 - 2500	3	3	6.81%
2501 - 5000	1	4	9.09%
5001 - 7500	4	8	18.18%
7501 - 10000	10	18	40.90%
10001 - 12500	3	21	47.72%
12501 - 15000	10	31	70.45%
15001 - 17500	6	37	84.09%
17501 - 20000	0	37	84.09%
20001 - 22500	2	39	88.63%
22501 - 25000	0	39	88.63%
25001 - 27500	2	41	93.18%
27501 - 30000	1	42	95.45%
30001 - 32500	1	43	97.72%
32501 - 35000	0	43	97.72%
35001 - 37500	0	43	97.72%
37501 - 40000	0	43	97.72%
40001 - 42500	1	44	100.00%

Costo

Existe una marcada diferencia entre el costo medio de extracción (costo de energía) de las propiedades con derecho a riego (0.016 \$/m³) y las propiedades sin derecho a riego (0.009 \$/m³). Pero, si se observan las distribuciones de frecuencias del costo de bombeo para ambos tipos de explotaciones, se aprecian distribuciones asimétricas.

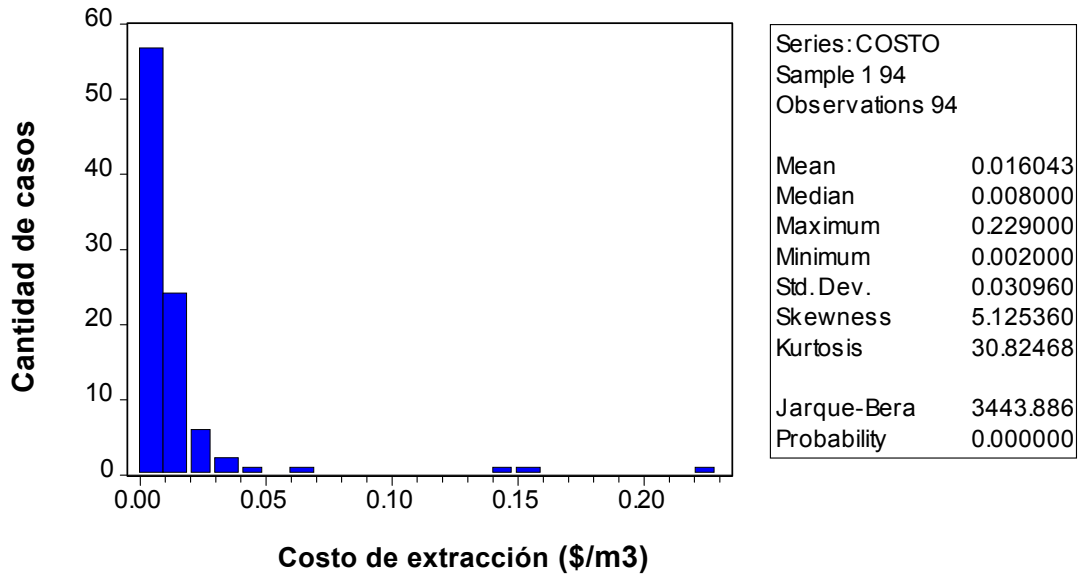


Figura 3. Propiedades con derecho a riesgo
Costo de extracción

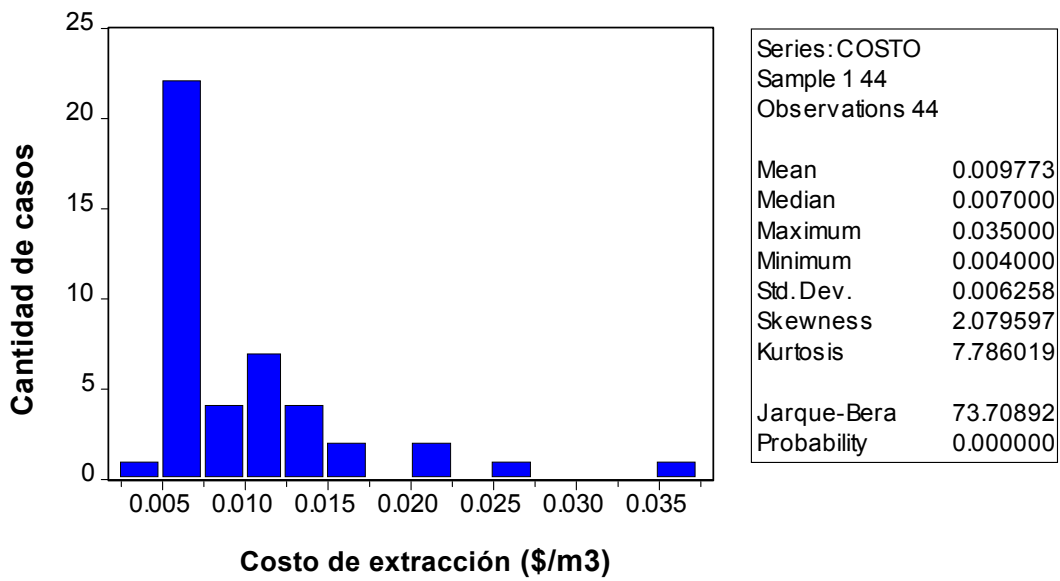


Figura 4. Propiedades sin derecho a riesgo
Costo de extracción

Cuando una distribución es visiblemente asimétrica la media proporciona una estimación falsa de la tendencia central (valor alrededor del cual se acumulan los datos) a causa de su sensibilidad hacia calificaciones extremas que no están balanceadas en ambos lados de la distribución. En estos casos se toma la mediana como medida de la tendencia central.

Los valores de las medianas obtenidos para los dos tipos de explotaciones son bastantes similares: 0.007 \$/m³ para fincas sin derecho a riego y 0.008 \$/m³ para fincas con derecho a riego.

Las diferencias entre los costos de extracción de las firmas están dadas básicamente por:

- Diferencias en las alturas de bombeo
- Diferencias en las eficiencias de las bombas
- Diferencias en cuanto al horario en que se extrae agua (en alta o en baja)

Las fincas que no poseen derecho a riego consumen el 91.22% de la energía en baja y el resto en alta; mientras que aquellas propiedades que poseen derecho a riego consumen en baja el 81.50% y en alta el 18.50% de la energía. Es decir las primeras son más cuidadosas en cuanto al horario de bombeo. Esto podría explicar, en parte, la pequeña diferencia entre los valores de las medianas.

Tabla 6. Consumo de electricidad

Finca	% de energía consumida en:	
	Alta	Baja
sin derecho	8.78%	91.22%
con derecho	18.50%	81.50%

Conductividad eléctrica del agua subterránea

En la zona de estudio los suelos son predominantemente arenosos y el cultivo principal en las explotaciones es la vid. La vid es un cultivo sensible a la salinidad y en un suelo arenoso puede cultivarse con éxito (sin disminución en el rendimiento) con agua de una salinidad máxima de 2.000 micromhos/cm (INTA EEAM).

Dado que, en promedio para la muestra, la conductividad del agua subterránea ronda los 2.000 micromhos/cm, los productores no necesitarían usar agua para lavar suelos pues el nivel de salinidad (2.000 micromhos/cm) en promedio aún no afectaría los rendimientos. Por lo tanto se podría esperar que la variable conductividad no resulte significativa en las regresiones

Sistema de riego

El sistema de riego predominante es el que se realiza por surco o melga. Le siguen en orden de importancia, aunque con valores muy bajos, el riego cimalco y el riego presurizado.

En la muestra se observa que el riego presurizado sólo es utilizado por aquellas fincas que utilizan exclusivamente agua subterránea. Las fincas que realizan uso conjunto riegan

principalmente con agua superficial y utilizan agua subterránea para cubrir déficit estacionales. Estas firmas tienen pocos incentivos a emplear tecnologías ahorradoras de agua ya que el canon que pagan por el uso del agua superficial es un monto fijo, no existe ningún cargo volumétrico.

Tabla 7. Propiedades sin derecho a riego. Sistema de riego

Sist. de riego	Frecuencia	Porcentaje
Cimalco	4	9.09%
Surco o melga	36	81.82%
Presurizado	4	9.09%
Total	44	100%

Tabla 8. Propiedades con derecho a riego. Sistema de riego

Sist. de riego	Frecuencia	Porcentaje
Cimalco	1	1.06%
Surco o melga	93	98.94%
Presurizado	0	0%
Total	94	100%

RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presentan 3 tablas con los resultados obtenidos para cada una de las demandas³. Para cada caso se utilizó como método de estimación el de Mínimos Cuadrados Ordinarios (M.C.O).

La forma funcional con la que se logró el mejor ajuste fue, para los tres casos, la potencial (ó doble logarítmica, ó de elasticidad constante) A fin de lograr la linealidad en los parámetros, condición necesaria para utilizar M.C.O., se transformaron las variables a través de logaritmos

**Tabla 9. Demanda Período Vegetativo
Uso Exclusivo y Conjunto**

³ En el apéndice se encuentran las diferentes regresiones que se analizaron hasta llegar a los resultados finales.

Econometric Views - [Equation: EQ3 Workfile: D8500]

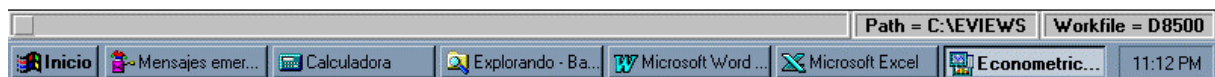
File Edit Objects View Procs Quick Options Window Help

View Procs Objects Print Name Freeze Estimate Forecast Stats Resids

LS // Dependent Variable is LOGAGUA
 Date: 09/24/03 Time: 08:16
 Sample: 1 138
 Included observations: 138

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOGCOSTO	-0.701021	0.230746	-3.038065	0.0029
DERECHO	-4.212671	1.207742	-3.488056	0.0007
DXLOGCOSTO	-0.583458	0.252559	-2.310185	0.0224
C	5.937715	1.107322	5.362231	0.0000

R-squared	0.688519	Mean dependent var	8.187247
Adjusted R-squared	0.681545	S.D. dependent var	1.366548
S.E. of regression	0.771168	Akaike info criterion	-0.491141
Sum squared resid	79.68979	Schwarz criterion	-0.406293
Log likelihood	-157.9248	F-statistic	98.73405
Durbin-Watson stat	1.859440	Prob(F-statistic)	0.000000



C= constante
 Logagua = logaritmo natural del agua subterránea utilizada por hectárea durante el ciclo vegetativo.
 Logcosto = logaritmo natural del costo de extracción (costo de la energía)
 Derecho = variable dummy que expresa si la finca posee o no posee derecho a riego. Toma el valor 1 si la finca posee derecho a riego y 0 cuando no posee
 Dxlogcosto = derecho multiplicado por el logaritmo del costo. Esta variable permite analizar la interacción entre las variables Derecho y Logcosto.

Como se puede apreciar en la tabla 9, las variables que resultaron significativamente distintas de cero fueron logcosto, derecho, dxlogcosto. Los valores t del resto de las variables (sistema de riego, tamaño) resultaron no significativos por lo cual se las eliminó de la ecuación. La variable conductividad del agua de riego no fue introducida como variable explicativa ya que para el caso de explotaciones con derecho a riego no se contaba con la información necesaria para estimar su valor: las conductividades del agua superficial y la proporción en que cada finca utiliza agua subterránea y superficial.

Los coeficientes de las variables logcosto, derecho y dxlogcosto aparecen con el signo esperado. Por otra parte se presenta un r^2 ajustado de 0.68, el que demuestra que el 68% de la variación en las cantidades extraídas de agua está explicado por el costo de extracción.

De los resultados presentados en la tabla 9 surgen dos funciones de demanda:

- Con derecho (uso conjunto):

$$\log \text{agua} = 1.72 - 1.28 \log \text{costo}$$

si se aplica antilogaritmo:

$$\boxed{\text{agua} = 5.58 \text{costo}^{-1.28}} \quad (4)$$

- Sin derecho (uso exclusivo):

$$\log \text{agua} = 5.93 - 0.7 \log \text{costo}$$

si se aplica antilogaritmo:

$$\boxed{\text{agua} = 376.15 \text{costo}^{-0.7}} \quad (5)$$

La ventaja de trabajar con modelos doble logarítmicos radica en que, el coeficiente de la pendiente mide la elasticidad de la variable dependiente con respecto a la variable independiente. En este caso se observa una elasticidad - precio de -1.28 para las fincas que poseen derecho a riego y de -0.7 para las explotaciones que no poseen este derecho.

Estas elasticidades están indicando el cambio porcentual que se produce en las cantidades bombeadas de agua subterránea ante un cambio de un 1% en el costo de bombeo. En el caso de las firmas que no tienen acceso al agua superficial un aumento (disminución) de un 1% en el costo de bombeo producirá una disminución (aumento) del 0.7% en el agua subterránea utilizada, mientras que para el caso de explotaciones con derecho a riego la disminución (aumento) es del 1.28%. La razón de estos resultados radica en el hecho de que en el caso en que el agua superficial es complementada con agua subterránea, ésta puede considerarse como un sustituto del agua superficial. De allí que la elasticidad sea mayor cuando existe derecho a riego.

Por otra parte, las elasticidades también resultan útiles para analizar el cambio en el gasto total de bombeo, por hectárea, que enfrenta el productor en un determinado período, ante un cambio en el costo de extracción del agua. El gasto total está dado por:

$$\boxed{\text{Gasto de bombeo (\$/ha)} = \text{cantidades bombeadas (m}^3\text{/ha)} \times \text{costo de bombeo (\$/m}^3\text{)}$$

Si se produce un aumento en el costo de bombeo las cantidades bombeadas disminuyen, y el gasto total puede aumentar, disminuir o permanecer constante según cual sean las magnitudes en los cambios.

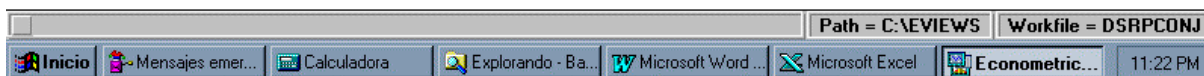
La teoría económica dice que si:

- La elasticidad-precio de la demanda es menor a 1 entonces un aumento (disminución) en el precio del bien producirá un aumento (disminución) en el gasto
- La elasticidad-precio de la demanda es mayor a 1 entonces un aumento (disminución) en el precio del bien producirá una disminución (aumento) en el gasto
- La elasticidad-precio de la demanda es igual a 1 entonces ante un aumento (disminución) en el precio del bien el gasto no variará

Por lo tanto se esperaría que, ante un aumento en el costo de bombeo, el gasto total por hectárea incurrido por los productores cuyas fincas no poseen derecho a riego aumente, mientras que disminuiría en el caso de productores cuyas fincas poseen derecho a riego.

**Tabla 10. Demanda Período Vegetativo
Uso Conjunto**

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOGCOSTO	-1.284478	0.109656	-11.71366	0.0000
C	1.725044	0.514940	3.349992	0.0012
R-squared	0.598621	Mean dependent var	7.674230	
Adjusted R-squared	0.594258	S.D. dependent var	1.292969	
S.E. of regression	0.823593	Akaike info criterion	-0.367110	
Sum squared resid	62.40416	Schwarz criterion	-0.312997	
Log likelihood	-114.1261	F-statistic	137.2098	
Durbin-Watson stat	1.992106	Prob(F-statistic)	0.000000	



C= constante

Logagua = logaritmo natural del agua subterránea utilizada por hectárea durante el ciclo vegetativo

Logcosto = logaritmo natural del costo de extracción (costo de la energía)

Como se puede apreciar en la tabla 10, la única variable que resultó significativamente distinta de cero fue logcosto. Los valores t del resto de las variables (sistema de riego, tamaño) resultaron no significativos por lo cual se las eliminó de la ecuación. No se tomó como variable explicativa la conductividad del agua de riego ya que no se contaba con la información necesaria para estimarla: las conductividades del agua superficial y la proporción en que cada finca utiliza agua subterránea y superficial.

El coeficiente estimado del logcosto es negativo, de acuerdo a las expectativas previas, y altamente significativo.

Por otra parte, se observa un r^2 ajustado de aproximadamente 0.60, el cual nos indica que el costo de bombeo explica el 60% de la variación en las cantidades bombeadas de agua.

El valor de la elasticidad-precio es el mismo que se obtuvo en la estimación global para el caso de uso conjunto de agua superficial y subterránea.

La función de demanda que surge de la tabla 2 es la siguiente:

$$\log \text{agua} = 172 - 1.28 \log \text{costo}$$

si se aplica antilogaritmo tenemos:

$$\boxed{\text{agua} = 5.58 \text{costo}^{-1.28}} \quad (6)$$

**Tabla 11. Demanda Período Vegetativo
Uso exclusivo**

Econometric Views - [Equation: EQ4 Workfile: D850EXCL]

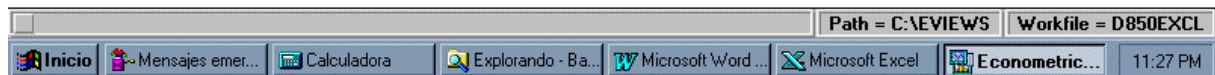
File Edit Objects View Procs Quick Options Window Help

View Procs Objects Print Name Freeze Estimate Forecast Stats Resids

LS // Dependent Variable is LOGAGUA
 Date: 09/24/03 Time: 09:22
 Sample: 1 44
 Included observations: 44

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LOGCOSTO	-0.571486	0.192472	-2.969195	0.0050
LOGHASCULTIV	-0.297545	0.133506	-2.228702	0.0314
C	7.357882	1.086912	6.769528	0.0000

R-squared	0.323028	Mean dependent var	9.283238
Adjusted R-squared	0.290005	S.D. dependent var	0.727765
S.E. of regression	0.613224	Akaike info criterion	-0.912304
Sum squared resid	15.41778	Schwarz criterion	-0.790655
Log likelihood	-39.36260	F-statistic	9.781895
Durbin-Watson stat	1.837200	Prob(F-statistic)	0.000336



C= constante
 Logagua = logaritmo natural del agua subterránea utilizada por hectárea durante el ciclo vegetativo
 Logcosto = logaritmo natural del costo de extracción (costo de la energía)
 Loghascultiv = logaritmo natural de las hectáreas cultivadas. Esta variable representa el tamaño de la explotación.

En este caso las variables que resultaron significativamente distintas de cero fueron logcosto y loghascultiv. Los valores t del resto de las variables (sistema de riego, conductividad) resultaron no significativos por lo cual se las eliminó de la ecuación.

Si bien se presenta un r² ajustado bajo (0.29) la función se ajusta significativamente y los signos de los coeficientes estimados son los esperados. El signo negativo del coeficiente de la variable loghascultiv indica una mayor eficiencia en el uso del agua a medida que se incrementa la superficie cultivada.

La función de demanda que surge de la tabla 11 es:

$$\log \text{agua} = 7.35 - 0.57 \log \text{costo} - 0.29 \log \text{hascultiv}$$

si se aplica antilogaritmo tenemos:

$$\boxed{\text{agua} = 1556.19 \text{ costo}^{-0.57} \text{ hascultiv}^{-0.29}} \quad (7)$$

El valor del coeficiente de la variable $\log \text{hascultiv}$ nos indica que, si se mantiene el costo de bombeo constante, un aumento del 1% en las hectáreas cultivadas de una finca originará una disminución del 0.29% en el agua subterránea empleada.

La elasticidad-precio es similar a la obtenida en la estimación global para uso exclusivo. Esta elasticidad nos dice que si se produce un aumento (disminución) del 1% en el costo de bombeo y se mantienen constantes las hectáreas cultivadas, las cantidades utilizadas de agua disminuirán (aumentarán) en un 0.57%.

COMENTARIOS FINALES

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo un aumento de la tarifa eléctrica del 10% (considerando constantes la eficiencia de la bomba y la altura de bombeo, que son los otros componentes de la variable costo) ó un aumento en el costo de extracción (del 10%) originado en el cobro volumétrico, ocasionaría una disminución en la cantidad de agua bombeada del 12.8% para el caso de explotaciones con derecho a riego. En el caso de fincas sin derecho a riego esta disminución oscilaría entre un 5.7% y 7.0%. Por otra parte, el gasto en energía (\$/ha/ciclo vegetativo) disminuiría para aquellos productores que realizan uso conjunto y aumentaría para quienes realizan uso exclusivo.

Si bien actualmente el subsidio que se da al riego agrícola con agua subterránea, a través de la tarifa eléctrica, junto con la falta de cobro volumétrico, constituyen algunos de los principales elementos económicos que incentivan la sobreexplotación, existe una serie de medidas (aplicación de cuotas de bombeo; importación de agua de otras fuentes de origen superficial o subterráneo; mejoras en la eficiencia de aplicación y de la red de riego, etc.) que, sin afectar el costo de bombeo, son efectivas para reducir las cantidades demandadas de agua subterránea y así atacar el proceso de salinización.

En consecuencia, la función de demanda de agua constituye una herramienta que permite evaluar los efectos, sobre las cantidades extraídas de agua, de una de las diversas acciones que existen para mitigar el problema de la salinización de acuíferos y lograr la sustentabilidad del recurso subterráneo, el cual día a día adquiere mayor importancia en la satisfacción de las necesidades agrícolas, urbanas e industriales de la provincia.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez, A y otros.** (2004) *“Estudio del Proceso de Salinización de Acuíferos en la Zona Este del oasis Norte. Área de Restricción Zona Este”*. IT N°52 – CRA. Publicación interna INA – CRA. Mendoza, Argentina.
- Bertranou, A.** (1976) *“Demanda por Agua de Riego”*. Uso Conjunto de Aguas Superficiales y Subterráneas. Vol II, pp. 3-34. INCYTH - CELAA. Mendoza, Argentina.
- Gujarati, D.** (1991) *“Econometría”*. McGraw – Hill Interamericana de México S.A. de C. V. México

Haber, A; R. Runyon (1973) "*Estadística general*". Fondo Educativo Interamericano S.A. Estados Unidos.

INTA Estación Experimental Agropecuaria Mendoza "*Peligrosidad Salina de los Cultivos*"

Llop, A. (1978) "*La Demanda de Agua de Riego en Condiciones de Salinidad*". Davis. Un. California. Tesis doctoral.

Llop, A. (1997) "*Determinantes de la Salinización del Agua Subterránea en el Este Mendocino*". INA – CELAA. Mendoza, Argentina.

Llop, A. (1998) "*Manejo Sustentable del Agua Subterránea o Desertificación. El Caso de la Cuenca Norte de Mendoza, Argentina*". INA – CELAA. Mendoza, Argentina.

Llop, A. (1999) "*Economía del Manejo de la Calidad del Agua Subterránea en el Este Mendocino*". INA – CELAA. Mendoza, Argentina.

APENDICE

Las siguientes tablas muestran las diferentes regresiones que se analizaron hasta llegar a los resultados finales; los cuales se encuentran resaltados con color. Para cada variable explicativa se presentan los coeficientes estimados y los valores que se encuentran entre paréntesis corresponden a los valores “t”.

Uso conjunto y exclusivo

Nº observaciones	R2	R2 ajustado	Durbin - Watson	F	constante	Variables explicativas						Variable independiente
						logcosto	loghascultiv	Variables Dummies				
								Derecho	Dxlogcosto	RC	RSM	
138	0.69	0.677	1.84	49.04	6.2 (5.11)	-0.73 (-2.89)	-0.072 (-0.75)	-4.12 (-3.09)	-0.56 (-2.04)	-0.47 (-0.85)	-0.22 (-0.51)	log agua
	0.69	0.678	1.84	58.93	5.85 (5.24)	-0.76 (-3.05)		-3.92 (-3.01)	-0.52 (-1.93)	-0.49 (-0.899)	-0.2 (-0.478)	log agua
	0.688	0.681	1.85	98.73	5.93 (5.36)	-0.7 (-3.03)		-4.21 (-3.48)	-0.58 (-2.31)			log agua
	0.676	0.671	1.84	140.9	3.61 (7.68)	-1.18 (-12.46)		-1.44 (-10.03)				log agua
	0.434	0.43	1.3	104.58	2.21 (3.74)	-1.27 (-10.22)						log agua

Nº observaciones	R2	R2 ajustado	Durbin - Watson	F	constante	Variables explicativas						Variable independiente
						costo	has cultiv	Variables Dummies				
								Derecho	Dxcosto	RC	RSM	
138	0.48	0.462	1.76	20.65	18872 (5.49)	-550899 (-4.05)	-65.2 (-2.08)	-14234 (-8.52)	511189 (3.72)	-838.5 (-0.22)	1320 (0.45)	agua
	0.482	0.466	1.74	31	19997 (12.95)	-556617 (-4.29)	-68.60 (-2.22)	-13990 (-8.59)	516928 (3.94)			agua

Uso Conjunto

Nº observaciones	R2	R2 ajustado	Durbin - Watson	F	constante	Variables explicativas			Variable independiente
						logcosto	loghascultiv	Variable Dummy	
								RSM *	
94	0.598	0.585	1.99	44.77	1.61 (1.53)	-1.28 (-11.26)	0.023 (0.18)	0.06 (0.07)	log agua
	0.598	0.598	1.99	67.9	1.67 (2.93)	-1.28 (-11.36)	0.023 (0.18)		log agua
	0.598	0.598	1.99	67.86	1.65 (1.63)	-1.28 (-11.61)		0.06 (0.07)	log agua
	0.598	0.594	1.99	137.2	1.72 (3.34)	-1.28 (-11.71)			log agua

Nº observaciones	R2	R2 ajustado	Durbin - Watson	F	constante	Variables explicativas			Variable independiente
						costo	has cultiv	Variable Dummy	
								RSM *	
94	0.06	0.037	1.92	2.22	5239.8 (1.26)	-35772 (-2.57)	-15.31 (-0.52)	-420 (-0.10)	agua
	0.06	0.048	1.92	3.36	4825.9 (6.06)	-35827.4 (-2.59)	-15.34 (-0.53)		agua
	0.06	0.055	1.91	6.49	4485.6 (9.48)	-34714.2 (-2.54)			agua

* La categoría base es RC (riego cimalco) ya que ninguna de las fincas que componen esta muestra poseen RP (riego presurizado).

Uso Exclusivo

Nº observaciones	R2	R2 ajustado	Durbin - Watson	F	constante	Variables explicativas					Variable independiente
						logcosto	loghascultiv	conductividad	Variables Dummies		
									RC	RSM	
44	0.347	0.261	1.67	4.04	7.14 (6.18)	-0.62 (-2.95)	-0.26 (-1.80)	7.12 E-05 (0.73)	-4.10E-01 (-0.88)	-0.3 (-0.86)	log agua
	0.33	0.27	1.71	4.97	7.25 (6.39)	-0.64 (-3.06)	-0.289 (-2.03)		-0.42 (-0.90)	-0.28 (-0.79)	log agua
	0.331	0.281	1.79	6.61	7.21 (6.49)	-0.55 (-2.84)	-0.269 (-1.92)	6.74 E-05 (0.71)			log agua
	0.323	0.29	1.83	9.78	7.35 (6.76)	-0.57 (-2.96)	-0.29 (-2.22)				log agua
	0.24	0.222	1.7	13.36	5.93 (6.44)	-0.7 (-3.65)					log agua

Nº observaciones	R2	R2 ajustado	Durbin - Watson	F	constante	logcosto	loghascultiv	logconductiv	Variables Dummies		Variable independiente
									RC	RSM	
									44	0.35	
0.33	0.285	1.8	6.74	6.07 (3.33)	-0.56 (-2.89)	-0.26 (-1.89)	0.16 (0.87)				log agua
0.27	0.24	1.68	7.83	4.14 (2.65)	-0.65 (-3.43)		0.26 (1.41)				log agua

Nº observaciones	R2	R2 ajustado	Durbin - Watson	F	constante	Variables explicativas					Variable independiente
						costo	has cultiv	conductividad	Variables Dummies		
									RC	RSM	
44	0.31	0.22	1.28	3.53	20803 (3.88)	-497286 (-2.63)	-175.5 (-2.20)	0.21 (0.20)	-1250.3 (-0.23)	357.8 (0.08)	agua
	0.31	0.24	1.28	4.52	21243 (4.41)	-497904 (-2.67)	-178.6 (-2.32)		-1255 (-0.23)	478 (0.12)	agua
	0.31	0.279	1.28	9.35	21606 (9.79)	-491905 (-2.81)	-186.2 (-2.54)				agua