

## **DETERMINANTES DEL USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EL CASO DE LA CUENCA NORTE**

**Eduardo Alejandro Comellas**

Instituto Nacional del Agua – Centro de Economía, Legislación y Administración  
Belgrano 210, Mendoza, Argentina. Tel. 4287921 e-mail: [eduardocomellas@tutopia.com](mailto:eduardocomellas@tutopia.com)

### **RESUMEN**

Durante la primera mitad de la década del setenta, la Cuenca Norte de la Provincia de Mendoza experimentó un notable crecimiento en el número de inversiones destinadas a la realización de perforaciones para extraer agua subterránea. El panorama actual, casi treinta años después, refleja las consecuencias de esa desmedida explotación del recurso subterráneo, manifestada por problemas de contaminación salina en los acuíferos y la consecuente disminución cuantitativa y cualitativa de la producción de algunas regiones críticas de la zona.

En este informe se demuestra mediante técnicas econométricas, que los incentivos generados por los excelentes precios manifestados en el mercado vitivinícola y las fuertes degravaciones impositivas que beneficiaron al sector, operando en forma conjunta dentro del período de tiempo de mayor escasez de agua superficial registrado en el siglo, fueron las variables que condujeron a ese incremento en el número de perforaciones. De ese modo, se elaboró un modelo bajo una forma funcional lineal en logaritmos, que incluye variables económicas (precio de la uva), hídricas (caudales de los principales ríos) y fiscales (períodos con vigencia de subsidios), que se constituyen en explicativas de la variación en el número de perforaciones. La dimensión temporal del análisis abarca el período 1960/2003. Además, dado que el modelo analiza las decisiones de inversión tomadas por los productores con miras a futuro, resultó necesario suponer un proceso de formación de expectativas con el cual los agentes económicos intentan predecir el valor futuro de las variables implicadas.

Uno de los resultados obtenidos, que permite efectivizar proyecciones que orienten hacia una correcta gestión de uso del agua subterránea, es la estimación de las elasticidades para cada una de esas variables. La conclusión que de éstas se desprende, es que por cada punto porcentual de variación en el caudal esperado, el número de perforaciones variará en sentido contrario un 1,08%, mientras que cada punto de variación en los precios esperados por lo productores, conducirá a una variación en las perforaciones en el mismo sentido, equivalente a 0,39%.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo lo constituye el determinar el grado en que ciertas variables económicas, hídricas y fiscales, inciden sobre la decisión de efectuar una perforación para extraer agua subterránea. El área puntual de estudio será la Cuenca Norte de la Provincia de Mendoza.

Así, a través de la lectura de las próximas páginas, será posible obtener una breve descripción de las características físicas, económicas y sociales que caracterizan a la zona para luego, en un próximo apartado, avanzar hacia la descripción de la evolución que manifestaron las perforaciones subterráneas a lo largo del periodo bajo estudio. Seguidamente se hará un comentario sobre las variables que, a priori, se creen inciden en la decisión de efectuar una perforación, así como también sobre el modo que se supone adoptan los agentes económicos para formarse las expectativas referentes a su evolución futura. Por último se someterá a estas variables a un análisis econométrico que permitirá obtener conclusiones respaldadas en una adecuada modelización.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### Ubicación

La **Cuenca Norte de la Provincia de Mendoza** está conformada por las subcuencas de los ríos Mendoza y Tunuyán Inferior, comprendiendo los departamentos de Luján de Cuyo, Maipú, Guaymallén, Godoy Cruz, Capital, Las Heras, Rivadavia, San Martín, Junín, Lavalle, La Paz y Santa Rosa (ver Ilustración I).



**Ilustración 1:** División política de la Provincia de Mendoza e hidrografía

### Características Hidrológicas:

La disponibilidad hídrica de la Cuenca Norte, considerando las dos subcuencas que la integran, es de aproximadamente 3.450 Hm<sup>3</sup> por año, la que representa cerca del 48% de la oferta hídrica del total de ríos enlistados en el Tabla I. El volumen total de la Cuenca Norte está compuesto por aproximadamente 800 hm<sup>3</sup> correspondientes a la oferta proporcionada por el recurso subterráneo susceptible de ser extraído con la tecnología existente en la actualidad, mientras que el resto es atribuible a los aportes de los cursos superficiales.

Por el lado de los requerimientos, como puede ser inferido en la Tabla II, el uso del recurso hídrico en la Cuenca Norte asciende a cerca de 3.270 hm<sup>3</sup>. La demanda desde el sector agrícola es de cerca del 89% de este total, mientras que el resto se distribuye entre el uso doméstico (7%), industrial (3%) y el mantenimiento del arbolado público (1%).

Analizando la diferencia existente entre la oferta hídrica y los requerimientos se aprecia que, para el caso de la Provincia de Mendoza, la oferta excede a los requerimientos en casi 1.650 hm<sup>3</sup>, mientras que esa diferencia para la Cuenca Norte es de apenas 180 hm<sup>3</sup>. Así, mientras para el caso provincial el porcentaje en el que la oferta excede a las asignaciones es del orden del 23% sobre el total disponible, para la zona norte este porcentaje es de apenas el 5%.

Lo anterior coloca a esa región en una situación de alta vulnerabilidad hídrica frente a otras regiones de la provincia.

**Tabla I**

<b>Oferta de Agua por Cuenca</b>				
Según fuente Superficial o Subterránea y Convencional o No Convencional, en hm <sup>3</sup> .				
<b>Región</b>		<b>Derrame Superficial</b>	<b>Disponibilidad Subterránea*</b>	<b>Total</b>
Oasis Norte	Cuenca Mendoza y Tunuyán Inferior	2649	800	3449
Oasis Centro	Cuenca del Tunuyán Superior	714	221	935
Oasis Sur	Cuenca del Diamante y Atuel	2273	86	2359
	Cuenca del río Malargüe	305	1	306
<b>Total</b>		<b>5941</b>	<b>1108</b>	<b>7049</b>
Efluente Doméstico		123		123
Efluente Industrial		60		60
Total		183		183
<b>Total</b>		<b>6124</b>	<b>1108</b>	<b>7232</b>

**Tabla II**

<b>Asignación de Agua por Cuenca</b>						
Según uso y fuente en hm <sup>3</sup>						
<b>Uso</b>	<b>Fuente</b>	<b>Cuenca</b>				<b>Total Provincia de Mendoza</b>
		<b>NORTE</b>	<b>CENTRO</b>	<b>SUR</b>		
		<b>Mendoza y Tunuyán Inferior</b>	<b>Tunuyán Superior</b>	<b>Diamante y Atuel</b>	<b>Malargüe</b>	
Riego	Superficial	2439	569	1185	53	4246
	Subterránea	463	224	18	s.d.	705
	<b>Total</b>	<b>2902</b>	<b>793</b>	<b>1203</b>	<b>53</b>	<b>4951</b>
Agua	Superficial	198	2	26.25	2.75	229
	Subterránea	35	13	10.5	0.5	59

Potable	Total	233	15	36.75	3.25	288
Industria	Superficial	103	0.1	1.25	0.25	104.6
	Subterránea	s.d.	0.3	s.d.		0.3
	Total	103	0.4	1.25	0.25	104.9
Otros Usos*	Superficial	34.6	0.1	7.2	200	241.9
	Subterránea	s.d.	s.d.	s.d.		s.d.
	Total	34.6	0.1	7.2	200	241.9
<b>Total</b>		<b>3272.6</b>	<b>808.5</b>	<b>1248.2</b>	<b>256.5</b>	<b>5585.8</b>

### Actividad Económica:

Según datos del año 2002, la Cuenca Norte aportaba el 75% del PBG de la Provincia de Mendoza. A nivel sectorial, concentra el 55% del producto generado por el sector agropecuario, cerca del 30% del generado por el sector de minas y canteras, más del 90% del producto generado por el sector de Industrias Manufactureras y el sector de Comercio, y cerca del 85% del sector de Transporte y Comunicaciones entre otros.

La Tabla III contiene la información que confirma los comentarios anteriores, a la vez que muestra esos datos desagregados por departamento.

**Tabla III:** Composición del PBG de la Provincia de Mendoza, por departamento y cuenca, año 2002, en miles de pesos corrientes

	Agropecuario	Minas y Cantera	Indus. Manuf.	E.G.y A	Constr.	Comercio	Transporte	Estable. Financi.	Servicios	PBG
<b>Cuenca Norte</b>	<b>423943</b>	<b>510242</b>	<b>2290163</b>	<b>154820</b>	<b>179696</b>	<b>1827938</b>	<b>655670</b>	<b>1458823</b>	<b>1085191</b>	<b>8586486</b>
Capital	0	22111	77851	13474	14031	1503691	201090	352235	302376	2486857
Godoy Cruz	2488	11437	244053	14690	28695	101752	109556	231987	150671	895329
Guaymallén	18283	7624	100133	16934	33657	41580	113946	249581	163390	745128
Las Heras	9833	216	53200	22464	19432	14393	81540	167056	101749	469883
Luján de Cuyo	61098	159585	1581482	54466	29281	29586	35888	151806	84512	2187705
Maipú	87883	108865	65351	12344	20404	43779	46673	121884	93709	600890
Junín	32147	0	24428	2477	4891	1999	5806	23635	21396	116778
Rivadavia	44095	200405	22881	4651	8733	33584	16269	38328	35810	404756
San Martín	75835	0	52563	9022	14010	52775	33291	94883	87583	419964
Las Paz	8298	0	15089	568	1575	400	1420	6391	10146	43888
Lavalle	58362	0	43372	2450	3018	1000	5357	12043	21138	146741
Santa Rosa	25622	0	9760	1280	1969	3398	4834	8993	12710	68567
<b>Cuenca Centro</b>	<b>164527</b>	<b>360887</b>	<b>56124</b>	<b>7819</b>	<b>11700</b>	<b>43779</b>	<b>37852</b>	<b>64121</b>	<b>71523</b>	<b>818331</b>
San Carlos	59095	279088	7192	1928	1942	10995	10041	17109	22191	409581
Tunuyán	56347	30	29664	3276	5237	19591	16199	33393	30385	194122
Tupungato	49084	81769	19268	2615	4521	13194	11611	13619	18947	214628
<b>Cuenca Sur</b>	<b>171411</b>	<b>922159</b>	<b>143321</b>	<b>54332</b>	<b>35847</b>	<b>127340</b>	<b>86500</b>	<b>222932</b>	<b>208106</b>	<b>1971948</b>
General Alvear	99391	0	21458	3164	4047	21190	17227	38179	34541	239197
Malargue	26190	891798	23264	1359	2845	5997	13389	17813	23514	1006170
San Rafael	45830	30361	98599	49809	28955	100153	55884	166940	150051	726581

### Agricultura:

A comienzos de la década del noventa (1988), la superficie cultivada de la Provincia de Mendoza ascendía a 326.504,7 hectáreas, mientras que el registro correspondiente al año 2002 evidencia una superficie cultivada del orden de las 261.102,6 has. De lo anterior resulta que,

considerando el periodo comprendido entre los años **1988 y 2002** la perdida de superficie cultivada ascendió a las **65.400 has.**

La subcuenca del río Mendoza presentaba hacia fines de la década del ochenta, una superficie cultivada del orden de las 87.803,8 hectáreas, concentradas principalmente en los departamentos de Lavalle, Maipú y Luján quienes representaban cerca del 85% del total de tierras cultivadas de la zona. Para el año 2002 la superficie cultivada en la subcuenca pasa a ser del orden de las 68.754,10 has. Así, la perdida entre esos años asciende a 19.050 hectáreas, representando una disminución cerca a un 20% (ver Tabla IV).

**Tabla IV:** Superficie cultivada en la Subcuenca del Río Mendoza, años 1988 y 2001, por departamentos

Departamentos	Año 1988	Año 2001
Capital	0	1.6
Godoy Cruz	193.2	0
Lavalle	22941	20204.2
Guaymallén	7607	4500.7
Maipú	34198.8	24048.9
Luján de Cuyo	17910.8	14932.3
Las Heras	4953	5066.4
<b>TOTAL</b>	<b>87803.80</b>	<b>68754.10</b>

Por el lado de la subcuenca del río Tunuyán inferior, la disminución de la superficie cultivada resulta ser un poco más notoria ya que se ubica en el orden de las 22.715 has., representando una caída cercana al 22%. En efecto, la superficie cultivada de la zona pasa desde un valor de 102.082,2 has. a fines de la década del ochenta a un valor de 79.366,3 has en el año 2002 (ver Tabla V).

**Tabla V:** Superficie cultivada en la Subcuenca del Río Tunuyán Inferior, años 1988 y 2001, por departamentos

Departamentos	Año 1988	Año 2001
San Martín	44697.8	34273.9
Junín	16844.1	13697.4
Rivadavia	23966.8	18506.4
Santa Rosa	15445.5	12217.2
La Paz	1128	671.4
<b>TOTAL</b>	<b>102082.20</b>	<b>79366.30</b>

El análisis conjunto de ambas subcuencas conduce a determinar una disminución en la superficie cultivada del Oasis Norte del orden de las **41.800 has. entre los años 1988 a 2002.** Tal resultado es la diferencia existente entre las 189.886 has. evidenciadas para el año 1988, y las 148.120,4 correspondiente al año 2002 (ver Tabla VI).

**Tabla VI:** Superficie cultivada en la Cuenca Norte, años 1988 y 2001.

Oasis Norte	Año 1988	Año 2001
<b>TOTAL</b>	<b>189886.00</b>	<b>148120.40</b>

### **Población:**

Según datos del último censo nacional, la Provincia de Mendoza contaba con una población de alrededor de 1,5 millones. De este total, **cerca del 75% se concentraba en el área de la Cuenca Norte**, un 15% en la Cuenca Sur y el resto en la Cuenca Centro. Los datos contenidos en la Tabla VII confirman estos guarismos.

**Tabla VII:** Población de Mendoza, por departamento y cuenca. Censo 2001

<b>Departamentos</b>	<b>Población</b>
CAPITAL	110.993
LAS HERAS	182.962
GUAYMALLEN	251.339
GODOY CRUZ	182.977
LUJAN	104.470
MAIPU	153.600
SAN MARTIN	108.448
JUNIN	35.045
RIVADAVIA	52.567
SANTA ROSA	15.818
LA PAZ	9.560
LAVALLE	32.129
Cuenca Norte	1.239.908
TUPUNGATO	28.539
TUNUYAN	42.125
SAN CARLOS	28.341
Cuenca Centro	99.005
SAN RAFAEL	173.571
GRAL. ALVEAR	44.147
MALARGUE	23.020
Cuenca Sur	240.738
<b>Total</b>	<b>1.579.651</b>

### **Desempleo:**

La cantidad de desocupados ascendía en la Cuenca Norte, según datos del Censo 2001, a cerca de 150.000, concentrando alrededor del 75% del total de personas desocupadas de la provincia. La tasa de desempleo para esa época, se ubicaba en el orden del 29% para la zona de estudio. Estos datos pueden ser corroborados a través de la lectura de la Tabla VIII.

**Tabla VIII:** Situación laboral en cada una de las cuencas de la Provincia de Mendoza

REGIÓN	PEA	Ocupados	Desocupados	Tasa desempleo
Cuenca Norte	522319	371038	151281	28,96%
Cuenca Centro	41089	31294	9795	23,84%
Cuenca Sur	99213	65403	33810	34,08%
Provincia	662621	467735	194886	29,41%

### **Cobertura de servicios:**

La Cuenca Norte posee la mayor proporción de población bajo la cobertura de suministro de agua, servicios de cloaca y recolección de residuos. El 82% de su población posee suministro de agua potable, casi el 70% posee servicios de cloaca y el 84% cuenta con un servicio de recolección de residuos. Según se aprecia en la Tabla IX, la mejora experimentada entre los años 1995 a 2000 en lo referente a agua y cloacas, no sólo ha sido importante para la Cuenca Norte, sino también para toda la provincia.

**Tabla IX:** Indicadores de cobertura de servicios

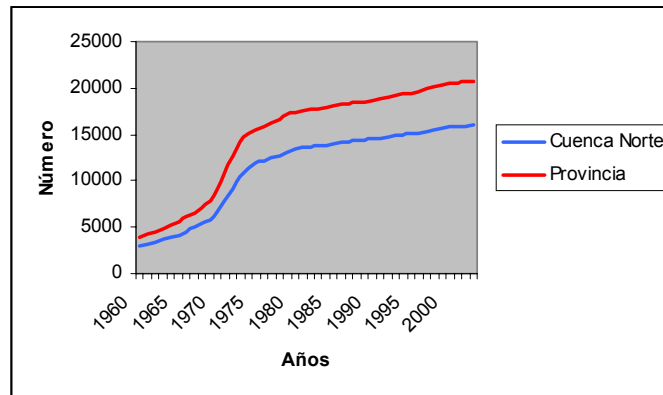
Cuenca	SUMINISTRO DE AGUA				SERVICIO DE CLOACA				SERVICIO DE RECOLECCIÓN	
	2000		1995		2000		1995		1998	
	Beneficiarios del Servicio	% de la Población	Beneficiarios del Servicio	% de la Población	Beneficiarios del Servicio	% de la Población	Beneficiarios del Servicio	% de la Población	Beneficiarios del Servicio	% de la Población
Norte	1079879	92,8%	974204	83,72%	809812	69,60%	542371	46,61%	978521	84,10%
Centro	72381	81,7%	56185	63,40%	35056	39,56%	14318	16,16%	48433	54,65%
Sur	180598	78,0%	159541	68,90%	58504	25,27%	37968	16,40%	s.d.	s.d.

## **PERFORACIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA**

### **Estado actual y evolución**

La Provincia de Mendoza contaba, hasta el mes de marzo del 2004, con cerca de 20.700 perforaciones registradas. De éstas, se piensa que aproximadamente el 50% se encuentran hoy en estado operativo. Para el caso puntual de la Cuenca Norte, el número de perforaciones registradas asciende en esa fecha a cerca de 16.000, por lo que es de esperar que aproximadamente 8.000 se encuentren actualmente en estado de operatividad. De lo anterior se desprende que cerca del 80% del stock provincial de perforaciones, se halla concentrado en la zona de estudio.

Los comentarios efectuados anteriormente son respaldados mediante la inclusión de la Ilustración II. Allí se visualiza la evolución del stock de perforaciones registradas en la Provincia de Mendoza y en la Cuenca Norte.



**Ilustración II:** Evolución del stock de perforaciones de agua subterránea

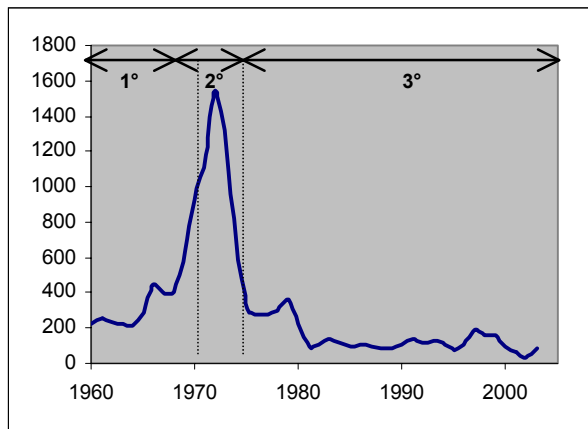
Se aprecia que la evolución del stock de perforaciones manifiesta un comportamiento particular durante la primera mitad de la década del '70, signada por un acelerado crecimiento en su número.

Una forma alternativa de chequear la dinámica del stock de las perforaciones, surge a través del análisis del incremento anual. A nivel provincial resulta que mientras en los años anteriores a 1970 el promedio anual de crecimiento en el stock fue de 365 perforaciones, entre los años 1970 a 1975 se aceleró hasta superar las 1.120 perforaciones, para luego en los años posteriores a 1975 caer a un promedio de 200 perforaciones por año.

La Cuenca Norte no resultó ajena a esta dinámica y se comportó de modo similar a la manifestada a nivel provincial. Así pueden diferenciarse para esa zona, y dentro de la dimensión temporal sujeta a análisis, la existencia de las tres etapas anteriormente argumentadas:

- 1° Etapa (1960/1968) “Incremento lento”**  
Promedio anual: 332 perforaciones.
- 2° Etapa (1969/1974) “Incremento explosivo”**  
Promedio anual: 990 perforaciones.
- 3° Etapa (1975/2003) “Caída y Estancamiento”**  
Promedio anual: 138 perforaciones.

La Ilustración III resume de modo gráfico el incremento manifestado en cada una de esas etapas, siempre para la Cuenca Norte de la provincia.



**Ilustración III:** Incremento en el número de perforaciones para la Cuenca Norte

Dada la particular evolución manifestada durante el quinquenio 1970/75, la inquietud que surge de modo inmediato es la de intentar identificar cual fue el factor que motivó ese incremento explosivo en el stock, factor que no estuvo presente en los años anteriores a 1970 y se diluyó en los posteriores a 1975.

Como ocurre con frecuencia en el mundo real, y como se verá en las siguientes secciones también para el caso particular de este estudio, el comportamiento manifestado por una variable no suele ser consecuencia de un único factor causal sino de un cúmulo de situaciones que operan en forma conjunta.

Para el caso particular de la determinación de los factores que incidieron e inciden en la decisión de efectuar una perforación de agua subterránea, se trabajará sobre la hipótesis de que la misma se efectúa sobre la base de incentivos económicos, hídricos y fiscales. De ese modo, las variables involucradas serán los precios esperados de los productos agrícolas, el caudal superficial esperado y la vigencia de estímulos fiscales.

A priori, es de esperar que un incremento en el precio esperado de los productos agrícolas genere los incentivos necesarios para incrementar la superficie cultivada y en consecuencia, se produzcan incrementos en los requerimientos hídricos (tanto superficiales como subterráneos). Por otro lado, una disminución en los caudales esperados del recurso superficial sería un claro mensaje de que es necesario volcarse hacia algún bien sustituto (agua subterránea). Por último, incentivos fiscales que fomenten la producción agrícola e incluso a las perforaciones, se constituirían en otro de los factores que impulsan el uso del recurso hídrico subterráneo.

A continuación se efectúa un análisis detallado de la posible incidencia de estas variables<sup>1</sup>, pero se deja para más adelante su estudio a través del uso de herramientas econométricas.

<sup>1</sup> La tabla representada en el Anexo I contiene los datos relativos a estas variables.

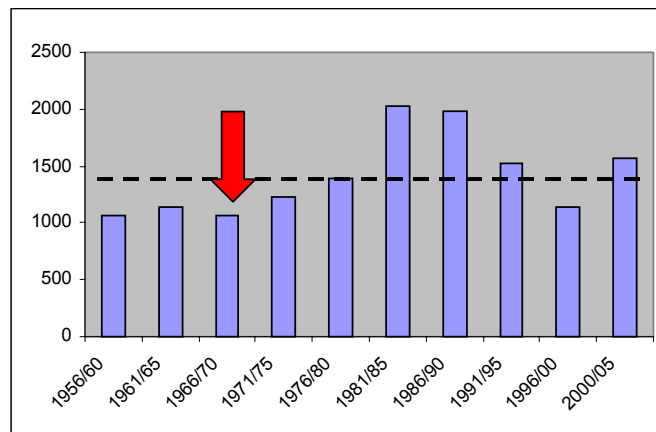
## VARIABLES INVOLUCRADAS

### Caudal superficial

Para el caso del análisis focalizado en la Cuenca Norte de Mendoza, se tomará como río representativo de la totalidad de los recursos hídricos de la zona, al Río Mendoza.

Según datos históricos, el Río Mendoza tiene un caudal medio cercano a los 1.400 hm<sup>3</sup>. Sin embargo a lo largo de diferentes ciclos hidrológicos se aprecia que la variabilidad del caudal alrededor de ese valor medio es importante. De ese modo los registros evidencian un valor mínimo histórico de 735 Hm<sup>3</sup> en 1971 y un máximo histórico de 2.971 hm<sup>3</sup> en 1988 (siempre dentro del periodo bajo estudio).

Para este caso en particular resulta interesante agrupar los caudales a través de su valor promedio quinquenal. Los datos así obtenidos son reflejados en la Ilustración IV, la cuál indica también la línea promedio de caudal histórico y se señala el quinquenio con menores aportes promedios.



**Ilustración IV:** Caudal del Río Mendoza, en Hm<sup>3</sup> promedios quinquenales

Resulta interesante observar que el periodo en el cuál los registros de caudal fueron mínimos, es el anterior al de máxima expansión del número de perforaciones subterráneas, mientras que los periodos de mayor aporte de caudal superficial se condicen con los de menor incremento en el stock de perforaciones.

Lo anterior induce a pensar que si se considera que los agentes económicos intentan predecir el valor futuro del caudal superficial en función de su comportamiento pasado, dada una seguidilla de años pobres desde el punto de vista hidrológico lo esperable para el futuro será también años relativamente pobres y, por el contrario, si se mantienen registros de años ricos lo esperado para el futuro es un caudal relativamente abundante. De ese modo y dado que el periodo previo a 1970 evidenció un caudal relativamente escaso, los agentes económicos formaron sus expectativas para los años futuros sobre la base de estos registros y esperaban para el quinquenio 1970/75, caudales superficiales relativamente pobres; actuando en consecuencia optaron por incrementar el stock del bien sustituto del recurso superficial.

De modo contrario puede inferirse que durante los periodos de caudal relativamente ricos, tales como los evidenciados en la década de los 80, los incentivos para realizar perforaciones subterráneas disminuyeron dado que los agentes habían formado sus expectativas esperando un importante aporte superficial.

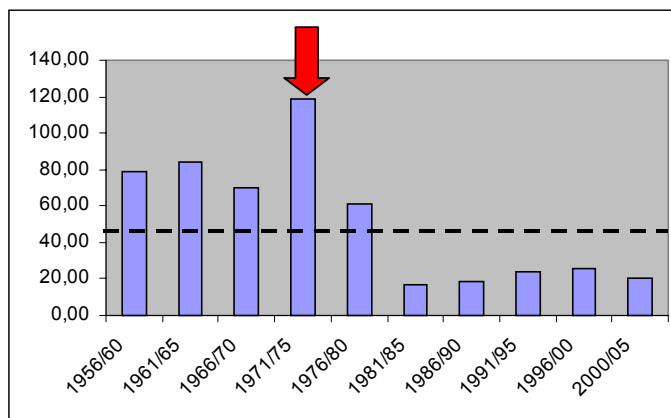
En pocas palabras, la relación que podría existir entre el caudal esperado y las nuevas perforaciones puede resumirse del siguiente modo:

**Una contracción en el caudal superficial esperado podría generar un incremento en el número de perforaciones. Del mismo modo una expansión en el caudal superficial esperado podría generar una caída en el número de nuevas perforaciones.**

### Precio de productos agrícolas

Ante la ausencia de series de precios que reflejen la evolución de los diferentes productos agrícolas durante un periodo de tiempo extenso, tal como el requerido a los fines de este estudio, es que se optó por trabajar con la serie de precios del quintal de uva. Si bien se reconoce que contar con sólo el precio de este producto no resulta del todo adecuado, ya que lo óptimo sería el utilizar una serie de precios que pondere la incidencia relativa de cada uno de los productos cultivados en la región, la restricción impuesta por la ausencia de algunas series, resulta insalvable. Como atenuante resulta el hecho de que, en la región norte, la superficie destinada al cultivo de de vid representa cerca del 60% de la total cultivada.

Para convalidar su inclusión en el análisis, la serie de precios del quintal de uva fue elaborada de modo tal que refleje el precio promedio ponderado en términos reales a precios de 2003. De ese modo, con las series disponibles pero expresadas en términos nominales, se elaboró una nueva serie que refleja esos valores en términos reales, y sólo con los valores registrados en la Cuenca Norte. Su visualización gráfica se aprecia en la Ilustración V, en la cual se expresa el precio promedio ponderado real del quintal de uva en promedios quinquenales, incluyendo además la línea que denota el precio promedio del período, \$53, así como también se señala el período de registro máximo en los precios, 1970/75 con un valor cercano a los \$115.



**Ilustración V:** Precio promedio ponderado real del quintal de uva, en promedio quinquenal para la Cuenca Norte.

En el caso de esta variable, se destaca que el periodo donde se registraron los mayores precios corresponde con el de mayor incremento en el número de perforaciones, mientras que los periodos que evidenciaron menores precios son justamente los de menor incremento en su stock.

Nuevamente acá, considerando que los agentes económicos intentan predecir el valor futuro del precio en función de su comportamiento pasado, dada una seguidilla de precios relativamente bajos resultará esperable para el futuro precios también bajos y, por el contrario, si se mantienen registros de precios relativamente altos, lo esperado para el futuro serán precios orientados en ese sentido. De ese modo, dado que a comienzos del año 1970 se evidenció un nivel de precios relativamente alto, los agentes económicos formaron sus expectativas para los años futuros sobre la base de estos registros y esperaron para todo el quinquenio precios relativamente altos; estos incentivos económicos indujeron a incrementar la superficie cultivada y la necesidad de agua subterránea (y superficial). En contraposición a esto, cuando la racha de precios fue pobre durante algunos años (década del 80), los agentes económicos esperaron para el futuro un comportamiento similar, por lo se redujeron sus incentivos a extender la superficie cultivada y por ende, se redujo la necesidad de contar con una mayor dotación de agua.

Se intuye que en el caso de la variable precio, a diferencia de la variable caudal, el mecanismo de ajuste de expectativas será más corto (dada su diferente naturaleza).

Resumiendo en pocas líneas la relación que se intuye podría existir entre el precio del quintal de uva y las nuevas perforaciones, resulta que:

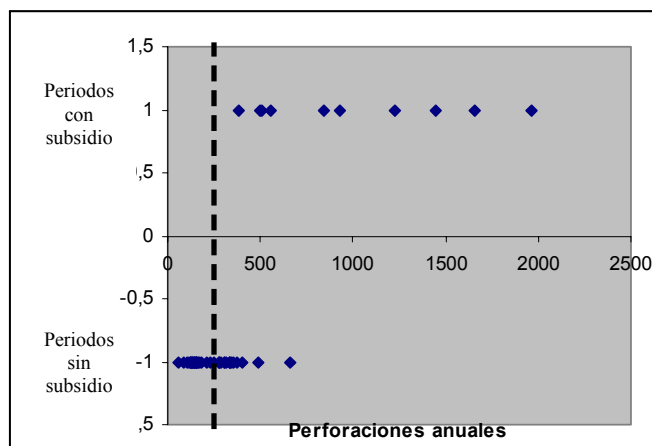
**Un incremento en el precio esperado del quintal de uva generaría un incremento en el número de perforaciones. Del mismo modo, una caída en el precio podría generar una caída en el número de nuevas perforaciones.**

### **Subsidios a emprendimientos agrícolas**

Para analizar la existencia de un posible vínculo entre el número de perforaciones y el otorgamiento de desgravaciones impositivas al sector agrícola, se considerará que el período durante el cual existió una vigencia manifiesta de incentivos fiscales fue el comprendido entre los años 1968/1976.

Durante este periodo el promedio anual de incremento en fue de casi 1.000 perforaciones, a diferencia de las poco más de 200 registradas durante los periodos donde no existieron incentivos fiscales.

La Ilustración VI sintetiza este comportamiento. En ella se visualiza, mediante una línea vertical punteada, el número promedio de perforaciones registradas durante todo el periodo de estudio; se aprecia que para los periodos de vigencia de incentivos fiscales el incremento fue superior al promedio, mientras que resultó inferior para los años sin subsidios.



**Ilustración VI:** Incidencia de factores fiscales en el incremento de las perforaciones

Resumiendo ahora la situación que se intuye podría operar al relacionar el número de perforaciones con la vigencia de incentivos fiscales, resulta que:

**Durante los periodos de vigencia de medidas impositivas el incremento en el número de perforaciones sería mayor que el promedio, mientras que en periodos de ausencia de medidas de asistencia el incremento sería menor al promedio.**

## COMENTARIOS SOBRE LA MODELIZACIÓN DE LAS EXPECTATIVAS

### Modelos de formación de expectativas

Como sucede en la elaboración de cualquier modelo que intente explicar el comportamiento de los agentes que interactúan en un mercado, se hace necesario abordar diversas hipótesis relativas al modo en el que éstos forman sus expectativas referentes a los valores futuros que tomarán las variables implicadas en ese modelo<sup>2</sup>.

Para el caso particular de este trabajo, y tal como se adelantó sucintamente en apartados previos, la hipótesis seguida para definir el proceso de formación de expectativas será la denominada “escuela de las expectativas adaptativas”.

Según este enfoque, los agentes económicos elaboran sus expectativas sobre el comportamiento futuro de alguna variable, en función del comportamiento que la misma variable evidenció en el pasado. Por otro lado, si los agentes económicos elaboran sus expectativas sobre la base de información pasada retrotrayéndose varios periodos, se podría decir que se trata de expectativas adaptativas “de memoria larga”. Si la información utilizada para la elaboración de las expectativas futuras se condice con el comportamiento de una variable observado en el reciente pasado, se podría decir que se trata de un proceso de formación de expectativas de “memoria corta”.

<sup>2</sup> Para un desarrollo más profundo de los distintos procesos de formación de expectativas, ver Modelos de Formación de Expectativas, A. Llop, (1971). En separata de la Revista de la Facultad de Ciencias Económicas de la UNCuyo, Año XXIII, Nros 67-68, enero-agosto de 1971.

En síntesis, se podría clasificar a las expectativas adaptativas en dos grupos en función de cuan hacia atrás en el tiempo se retrotraigan los agentes económicos para formarlas<sup>3</sup>.

En el caso del proceso de formación de expectativas vinculado con los agentes económicos intervinientes en el modelo bajo estudio, se supondrán inicialmente cuatro procesos de formación de expectativas adaptativas, cada uno con distinta retrosección temporal: se supondrá, como primera alternativa, que el valor esperado de una variable es igual al valor que ésta evidenció en el periodo anterior, en segundo término que el valor que se espera será un promedio de los valores evidenciados en los dos periodos anteriores, en tercer lugar se supondrá que el valor esperado será función de los valores observados en los últimos dos periodos, pero asignándole un peso mayor al valor evidenciado en el año más reciente, y finalmente en cuarto lugar, se supondrá que se forman a través del promedio de los valores observados en los últimos cuatro periodos.

Las cuatro alternativas mencionadas deberán ser aplicadas a dos de las variables intervinientes en el modelo: por un lado para determinar la variable “caudal esperado” y por otro para determinar la variable “precio esperado”. Cada una de esas cuatro alternativas, para cada una de estas dos variables, deben combinarse a los fines de determinar aquella combinación que mejor ajusta el modelo.

### **Procesos alternativos de formación de expectativas**

- EN EL CAUDAL ESPERADO

1.  $E(C_t) = (C_{t-1})$
2.  $E(C_t) = (\frac{1}{2} C_{t-1} + \frac{1}{2} C_{t-2})$
3.  $E(C_t) = (0,8 C_{t-1} + 0,2 C_{t-2})$
4.  $E(C_t) = (\frac{1}{4} C_{t-1} + \frac{1}{4} C_{t-2} + \frac{1}{4} C_{t-3} + \frac{1}{4} C_{t-4})$

Donde el término “C” hace referencia a caudal y el subíndice t denota la dimensión temporal. De ahora en más estas variables serán denominadas como C1, C2, C3 y C4 (C debido a que se trata de la variable caudal, y la numeración hace referencia al tipo de proceso de formación de expectativas recientemente definido.)

- EN EL PRECIO ESPERADO

1.  $E(P_t) = (P_{t-1})$
2.  $E(P_t) = (\frac{1}{2} P_{t-1} + \frac{1}{2} P_{t-2})$

---

<sup>3</sup> Obviamente el “cuanto hacia atrás”, para definir si se trata de un proceso de “memoria corta” o de “memoria larga”, dependerá del tipo de variable y de ciertas connotaciones subjetivas del investigador.

$$3. E(P_t) = (0,8 P_{t-1} + 0,2 P_{t-2})$$

$$4. E(P_t) = (1/4 P_{t-1} + 1/4 P_{t-2} + 1/4 P_{t-3} + 1/4 P_{t-4})$$

Ahora el término “P” hace referencia a precios y el subíndice t denota nuevamente la dimensión temporal de la variable. De acá en adelante, estas variables serán denominadas como P1, P2, P3 y P4 (P es a los fines de diferenciar que se trata de la variable precio y la numeración se establece con el objeto de diferenciar cuál es el proceso de formación de expectativas).

## **MODELACIÓN ECONOMETRICA**

### **Variables utilizadas en el modelo**

Como paso previo a la estimación econométrica del modelo, se realizará una breve síntesis de las variables a utilizar. Ello servirá de ayuda para facilitar la comprensión de las ecuaciones y tablas que se presentarán al final de esta sección.

#### Variables perforaciones o bombas

**B** ⇒ variable dependiente, referente a la variación en el stock de perforaciones.

#### Variable caudal esperado

$$\mathbf{C1} \Rightarrow E(C_t) = (C_{t-1})$$

$$\mathbf{C2} \Rightarrow E(C_t) = (1/2 C_{t-1} + 1/2 C_{t-2})$$

$$\mathbf{C3} \Rightarrow E(P_t) = (0,8 P_{t-1} + 0,2 P_{t-2})$$

$$\mathbf{C4} \Rightarrow E(P_t) = (1/4 P_{t-1} + 1/4 P_{t-2} + 1/4 P_{t-3} + 1/4 P_{t-4})$$

#### Variable precio esperado

$$\mathbf{P1} \Rightarrow E(P_t) = (P_{t-1})$$

$$\mathbf{P2} \Rightarrow E(P_t) = (1/2 P_{t-1} + 1/2 P_{t-2})$$

$$\mathbf{P3} \Rightarrow E(P_t) = (0,8 P_{t-1} + 0,2 P_{t-2})$$

$$\mathbf{P4} \Rightarrow E(P_t) = (1/4 P_{t-1} + 1/4 P_{t-2} + 1/4 P_{t-3} + 1/4 P_{t-4})$$

#### Variable subsidio

**S** ⇒ variable dummy que tomará el valor 1 en los periodos en los que se registraron los más altos estímulos fiscales al sector agrícola (y ayudas para realizar perforaciones).

#### Constante

**C** ⇒ constante del modelo

### **Forma funcional del modelo**

Corresponde ahora seleccionar cual de es la forma funcional más adecuada y que permita generar un mejor ajuste para el modelo. Así, puesto que la razón básica de los modelos de regresión es lograr explicar la mayor cantidad posible de la variación de la variable dependiente utilizando variables explicativas, se dice que este es bueno si esta explicación, medida por el  $R^2$ , es tan alta como sea posible, conjuntamente con una importante significatividad individual y global de las variables (estadístico F) y la presencia del signo esperado por la teoría económica.

En virtud de lo anterior, y como resultado de diferentes pruebas previas<sup>4</sup>, resultó ser que la forma funcional lineal en logaritmos presenta una mejor performance en este set de indicadores estadísticos, en relación con las demás formas funcionales analizadas.

Sobre la base de esta forma funcional, y utilizando las variables anteriormente señaladas, se corrieron las 16 regresiones necesarias para cubrir todas las combinaciones de variables posibles. Los resultados de cada una de ellas pueden visualizarse en la Tabla X.

**Tabla X:** Coeficientes estimados y test estadísticos para el modelo bajo la forma funcional lineal en logaritmos

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>S</b>	<b>C</b>	<b>R2</b>	<b>DW</b>	<b>F</b>
<b>1</b>	-0.78 (-3.67)				0.31 (3.59)				1.22 (5.52)	9.79 (5.87)	0.80	1.93	42.91
<b>2</b>	-0.81 (-3.76)					0.31 (3.47)			1.27 (5.81)	9.92 (5.91)	0.79	1.96	41.89
<b>3</b>	-0.79 (-3.71)						0.32 (3.63)		1.23 (5.62)	9.75 (5.86)	0.80	1.95	43.29
<b>4</b>	-0.73 (-3.70)							0.43 (4.63)	1.27 (6.54)	8.88 (5.64)	0.83	2.07	53.07
<b>5</b>		-1.14 (-4.33)			0.25 (2.97)				1.08 (5.04)	12.6 (6.11)	0.82	1.73	49.12
<b>6</b>		-1.73 (-4.47)				0.26 (2.90)			1.12 (5.25)	12.79 (6.24)	0.81	1.78	48.52
<b>7</b>		-1.46 (-4.36)					0.27 (3.01)		1.09 (5.12)	12.56 (6.11)	0.82	1.75	49.54
<b>8</b>		-1.08 (-4.66)						0.39 (4.37)	1.11 (5.92)	11.64 (6.32)	0.85	1.93	64.18
<b>9</b>			-0.93 (-4.06)		0.28 (3.34)				1.16 (5.39)	11.17 (6.05)	0.81	1.86	46.48
<b>10</b>			-0.99 (-4.17)			0.29 (3.24)			1.21 (5.65)	11.35 (6.13)	0.81	1.90	45.61
<b>11</b>			-0.96 (-4.10)				0.30 (3.39)		1.17 (5.48)	11.13 (6.05)	0.81	1.88	46.89
<b>12</b>			-0.90 (-4.21)					0.41 (4.52)	1.21 (6.37)	10.24 (6.00)	0.84	2.04	58.69
<b>13</b>				-1.72 (-4.91)	0.11 (1.20)				1.01 (4.89)	17.32 (6.30)	0.83	1.38	55.54
<b>14</b>				-1.77 (-5.01)		0.09 (0.91)			1.04 (4.98)	17.32 (6.30)	0.83	1.39	54.34
<b>15</b>				-1.73 (-4.88)			0.11 (1.11)		1.02 (4.93)	17.40 (6.16)	0.83	1.39	55.16
<b>16</b>				-1.51 (-4.69)				0.25 (2.45)	1.04 (5.39)	15.26 (5.88)	0.85	1.55	64.59

<sup>4</sup> Por restricciones de espacio no han podido ser incluidas en este informe.

En virtud de su significatividad individual y global, así como también por presentar el signo esperado por la teoría, es que se selecciona la regresión 8 de la tabla anterior. A continuación, en la Ilustración VII se muestran los resultados particulares de esa regresión. Los test estadísticos de la misma son dejados para el Anexo II.

LS // Dependent Variable is LBOMBAS  
 Date: 04/14/99 Time: 13:02  
 Sample: 1960 2003  
 Included observations: 36

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	11.64336	1.841307	6.323421	0.0000
LCAUDAL2	-1.085341	0.232885	-4.660418	0.0001
LPRECIO4	0.390900	0.089396	4.372662	0.0001
SUBSIDIO	1.116330	0.188388	5.925699	0.0000
R-squared	0.857497	Mean dependent var	5.383861	
Adjusted R-squared	0.844138	S.D. dependent var	0.856309	
S.E. of regression	0.338066	Akaike info criterion	-2.064591	
Sum squared resid	3.657229	Schwarz criterion	-1.888644	
Log likelihood	-9.919150	F-statistic	64.18576	
Durbin-Watson stat	1.930058	Prob(F-statistic)	0.000000	

Ilustración VII: Resultados de la regresión seleccionada

De ese modo el incremento en el número de perforaciones del periodo  $t$ , es explicado por el caudal esperado a partir de la formación de expectativas basadas en el comportamiento promedio que esa variable evidenció en los periodos  $t_{(-1)}$  y  $t_{(-2)}$ , por el precio esperado formado sobre la base del comportamiento promedio evidenciado en los periodos de tiempo  $t_{(-1)}$ ,  $t_{(-2)}$ ,  $t_{(-3)}$  y  $t_{(-4)}$ , por la vigencia o no de subsidios al sector agrícola y por una constante. Se observa que los signos resultaron ser los esperados, ya que una variación en el precio esperado genera una variación en el mismo sentido en la variable perforaciones, mientras que una variación sobre la variable caudal esperado genera una variación en sentido contrario en la variable perforaciones.

De un modo más estricto, esto mismo puede ser formulado a través de la Ecuación 1 o 2 (ambas son equivalentes):

$$\text{LogBOMBAS} = 11,64 \cdot (C) - 1,08 \cdot (\text{LogCAUDAL2}) + 0,39 \cdot (\text{LogPRECIO4}) + 1,11\text{SUBSIDIO} \quad (1)$$

$$\text{LogBOMBAS} = 11,64 \cdot (C) - 1,08 \cdot \left[ \text{Log} \frac{1}{2}(C_{-t} + C_{t-2}) \right] + 0,39 \cdot \left| \text{Log} \frac{1}{4}(P_{t-1} + P_{t-2} + P_{t-3} + P_{t-4}) \right| + 1,11\text{SUBSIDIO} \quad (2)$$

Por tratarse de una forma funcional lineal en logaritmos, las elasticidades parciales pueden ser fácilmente reconocidas:

Elasticidad de las perforaciones ante cambios en el caudal esperado.

$$= \frac{\frac{\Delta B}{B}}{\frac{\Delta C}{C}} = -1,08$$

**Lectura:** ante una variación de un 1% en el caudal superficial esperado, el número de perforaciones variará en sentido contrario un 1,08%.

Elasticidad de las perforaciones ante cambios en el precio esperado.

$$= \frac{\frac{\Delta B}{B}}{\frac{\Delta P}{P}} = 0,39$$

**Lectura:** ante una variación de un 1% en el precio esperado, el número de perforaciones variará en el mismo sentido un 0,39%.

## CONCLUSIONES

Se han estimado regresiones econométricas que han permitido determinar algunos de los factores subyacentes a la demanda de largo plazo por equipos de perforación subterránea, estableciendo la incidencia tanto de factores económicos como hidrológicos. Así, el precio esperado del quintal de uva (usado como representativo de los demás precios agrícolas) y el caudal esperado en los cursos superficiales, se constituyen en las principales variables explicativas del uso del recurso subterráneo. Para ambas variables, el supuesto de expectativas adaptativas constituye una buena explicación acerca del modo en el cual los productores toman sus decisiones de inversión. Además de estas variables, incide en la decisión de los agentes económicos la vigencia de estímulos fiscales.

Se estimó además que, por cada punto porcentual de variación en el precio esperado, las perforaciones variarán en el mismo sentido un 0,39%, mientras que si el punto porcentual de variación opera sobre el caudal esperado, las perforaciones variarán en sentido contrario un 1,08%.

## ANEXO I

### Datos

Año	Incremento en el número de perforaciones	Caudales anuales Río Mendoza en Hm <sup>3</sup>	Precio real promedio del quintal de uva
1960	227	1231	79,18
1961	252	1088	108,27
1962	231	1324	99,16
1963	223	971	59,45
1964	215	1456	68,19
1965	286	845,5	85,50
1966	449	1385	113,88
1967	398	1100	78,00
1968	400	938	38,42
1969	641	746	61,08
1970	924	1160	59,18
1971	1185	736,2	107,19
1972	1546	1008	146,41
1973	1206	1890	147,91
1974	700	1282	130,88
1975	313	1252	60,57
1976	280	1008	54,90
1977	272	870,7	31,89
1978	299	1570	30,97
1979	364	1947	127,36
1980	228	1543	61,12

1981	97	1788	21,05
1982	111	1259	8,03
1983	134	2898	14,20
1984	117	2261	18,68
1985	97	1914	23,36
1986	107	1593	49,66
1987	101	2307	21,33
1988	81	2971	8,12
1989	84	1636	4,54
1990	107	1401	11,07
1991	138	1197	21,16
1992	116	1867	25,95
1993	132	1546	37,99
1994	117	1427	25,04
1995	77	1572	8,99
1996	109	1211	15,41
1997	190	870,5	22,33
1998	165	1381	32,79
1999	161	1099	32,07
2000	100	1107	24,04
2001	61	1689	19,79
2002	31	1595	17,62
2003	83	1867	21,03

## ANEXO II

### Evaluación del grado de multicolinealidad

Para evaluar el grado de multicolinealidad, uno de los métodos más utilizados es el de observar la matriz de correlación simple o de orden cero entre las variables explicativas. Realizando esto para las variables explicativas implicadas en el modelo bajo análisis se obtienen los datos vertidos en la Tabla XI.

Tabla XI: Matriz de correlación

	LC2	LP4	S
LC2	1	-0.44	-0.46
LP4	-0.44	1	0.37
S	-0.46	0.37	1

Según se desprende de esta tabla, no existe una alta correlación entre las variables, lo cual implica la no existencia de multicolinealidad.

### Análisis de heterocedasticidad

PRUEBA DE PARK:

Log Resid <sup>2</sup>

LogC

LogC2

Coefficiente	36.78	-2.96
t-estadístico	(1.58)	(-0.92)

Tanto para C2 como para P4 los coeficientes no resultan significativos, por ello las variables no están relacionadas con la varianza de los errores.

<b>Log Resid<sup>2</sup></b>	<b>LogC</b>	<b>LogP4</b>
Coefficiente	13.38	0.51
t-estadístico	(1.72)	(0.38)

PRUEBA DE GLEJSER

<b>Abs (res)</b>	<b>C</b>	<b>C2</b>
Coefficiente	0.28	-0.000008
t-estadístico	(1.87)	(-0.13)

Tanto para C2 como para P4 los coeficientes no resultan significativos, por ello las variables no están relacionadas con la varianza de los errores.

<b>Abs (res)</b>	<b>C</b>	<b>P4</b>
Coefficiente	0.27	-0.0000009
t-estadístico	(1.19)	(-0.11)

**Análisis de autocorrelación**

d(lower) = 1,32

d(upper) = 1,65

$d(upper) < d < 4-d(upper)$

$1,65 < 1,93 < 2,35 \Rightarrow$  se verifica la no existencia de autocorrelación

## BIBLIOGRAFÍA

**AZQUETA OYARZUN, Diego**, “*Valoración Económica de la Calidad Ambiental*” (Madrid, Mc Graw-Hill, 1995).

**DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACIÓN**, “*Datos estadísticos de caudal y perforaciones*”.

**GOBIERNO DE MENDOZA. DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS**, “*Recopilación de series estadísticas 1960-1973*”. Mendoza, Argentina, 1974.

**GUJARATI, Damodar**, “*Econometría*”, 2ª Ed., (McGraw-Hill, Buenos Aires, 1992).

**INSTITUTO NACIONAL DE VITIVINICULTURA**, “*Síntesis básica de la estadística vitivinícola argentina*,” Mendoza, Argentina. Febrero de 1998.

**LLOP, Armando**, “*Modelos de Formación de expectativas*”. En Separata de la revista de la Facultad de Ciencias Económicas de la UNCuyo. Año XXIII, Nros. 67/68, Enero – Agosto de 1971.

**MADDALA, G. S. y MILLER, Ellen**, “*Microeconomía*”, trad. J. Coro Pando (México D.F., Mc Graw-Hill, 1991).