

# APLICACIÓN DE UN MODELO LOGISTICO PARA ANALIZAR LA DIFUSIÓN DE RIEGO PRESURIZADO EN LA FRUTICULTURA ARGENTINA

Miranda, Omar

*Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria  
Centro Regional Mendoza – San Juan  
Estación Experimental Agropecuaria San Juan  
Calle 11 y Vidart (5427) Villa Aberastain, San Juan, Argentina.  
Tel 0264 4921191/4921079 [omiranda@sanjuan.inta.gov.ar]*

## RESUMEN

La tecnología de riego presurizado es usada principalmente en la zona oeste de Argentina, cuyas provincias concentran el 96% del área nacional regada con estos sistemas. La adopción de la tecnología es relativamente reciente. El objetivo general de este trabajo fue estudiar su patrón de difusión durante la década pasada. La difusión de riego presurizado fue analizada en los cultivos siguientes: vid, olivos, frutales de carozo y frutales de pepita. Asumiéndose que el modelo logístico el que mejor describe su comportamiento, se hizo el ajuste de la curvas de difusión de riego presurizado en cada cultivo mediante el método de regresión no lineal de mínimos cuadrados de Levenberg-Marquard. Los tres parámetros estimados fueron: tiempo de crecimiento (años que tarda la curva logística para crecer del 10% al 90% de su nivel de saturación), saturación (superficie máxima que puede adoptar riego presurizado de acuerdo a las condiciones iniciales) y tiempo medio (año a partir del cual se produce la inflexión de la curva logística). Los resultados muestran que la viticultura es la actividad que está más alejada del punto de saturación del nivel de adopción de riego presurizado (su límite es 36.477 hectáreas). En este cultivo se encuentra la menor pendiente de la curva (tiempo de crecimiento, 11 años) y el punto medio más tardío (año 2000). Es de esperarse que en los próximos años la viticultura concentre la mayor cantidad de inversiones en riego presurizado.

## ABSTRACT

Trickle technology is used mainly in the western zones of Argentina, whose provinces concentrate 96% of the national area irrigated with these systems. The adoption of this technology is relatively recent. The general objective of this work was to study its diffusion path during the last decade. The diffusion of trickle systems was analyzed with the following crops: grapes, olives, stone fruits and pip fruits. The logistic model was assumed to be the best to describe their behavior. Then, the adjustment of the diffusion curves of irrigation technology in each crop was accomplished. Nonlinear least-squares regression Levenberg-Marquard method was used to estimate the parameters for each logistic. The three parameters are: growth time (time in which the logistic goes from 10% to 90% of this expected saturation level), saturation (maximum hectares level that can adopt technology according to the initial conditions), and midpoint (this describes at which point the logistic or the diffusion growth begins to level off). The results show that grape growing is the industry that is further of the saturation level of irrigation technologies adoption (the limit is 36.477 ha). In this crop, the diffusion has the smaller slope (growth time, 11 years) and the later midpoint (year 2000). It should be waited that in the following years, vineyard concentrates the greater investments in low volume pressurized irrigation technology.

## INTRODUCCION

El objetivo del trabajo es evaluar un modelo logístico como herramienta para analizar el proceso de difusión del riego presurizado en la fruticultura del oeste del país durante la década de los noventa. Para ello se construirán series de tiempo de crecimiento del área con riego presurizado en el período 1986-2000, luego se las ajustará mediante el método de regresión no lineal de mínimos cuadrados de Levenberg-Marquard y, finalmente, se hará una determinación de la cercanía/lejanía con respecto al punto de saturación de las curvas de difusión de esta tecnología al año 2000.

El modelo clásico que describe la difusión de tecnología es el que se conoce como epidémico. Se basa en una analogía con el fenómeno biológico que describe la transmisión de una enfermedad a individuos sanos por contacto con los enfermos. Teniendo en cuenta que la enfermedad aumenta con el número de aquellos que la transportan, es posible entender que la tasa de difusión comienza a disminuir a medida que son más quienes están infectados (Elster, 1990). En el caso de innovaciones técnicas se difunde información sobre la tecnología, ya que las empresas tienen pocos datos acerca de la misma, la cual será asociada con un alto grado de riesgo (Rogers, 1995). Cuanto mayor sea el número de empresas que adopten la tecnología, la información base disponible para potenciales adoptantes se acrecienta y el riesgo asociado a la innovación disminuye (Coombs, Saviotti y Walsh, 1987). La tasa de difusión se incrementa pero no de manera indefinida, ya que a medida que la fracción de empresas que adoptaron la tecnología aumenta, el número de adoptantes potenciales decrece y, puesto que los últimos adoptantes potenciales son probablemente los más tradicionales, la tasa de difusión cae en forma progresiva antes de que el proceso finalice (Rogers, 1995).

Griliches (1979; 1957) realizó estudios pioneros para determinar la ruta de difusión del maíz híbrido en la agricultura norteamericana, ajustando una función de tendencia logística en forma de S (curva sigmoidea) a los datos referentes al porcentaje del área maicera sembrada con semillas híbridas<sup>1</sup>. La función se describe por tres parámetros: un origen, una pendiente y un tope<sup>2</sup>. Es decir, la innovación ocurre a un ritmo lento al principio, luego se acelera para finalmente estancarse. En resumen, la altura de la curva S para una determinada innovación es un indicador posible de la facilidad del acceso de los agricultores a una tecnología: cuanto más bajo se encuentre el pico de la curva, más restringido es el acceso, y viceversa (Mahayan y Peterson, 1985).

---

<sup>1</sup>/ Existen varias interpretaciones que buscan explicar la forma de S de la curva de difusión, pero es un hecho verificado que la maximización de ganancias fue el principal argumento para entender la difusión de innovaciones genéticas en el cultivo de maíz en los Estados Unidos durante los años '50 (Schultz, 1992; Dixon, 1980; Griliches, 1957). Las expectativas racionales de ganancia del lado de la oferta y de la demanda movilizaron a los productores de semillas y a los agricultores innovadores a que su presencia coincidiera en ciertas áreas y momentos en el tiempo.

<sup>2</sup>/ En forma precursora, Arroyo (1965, 1966) analizó el proceso de difusión de herbicidas en el cultivo de maíz y de híbridos de maíz en el norte de la provincia de Buenos Aires. En ambos casos, la frecuencia acumulada de adopción mostró forma de S.

## MATERIALES Y METODO

Se va a trabajar con la evolución de la superficie anual con riego presurizado de acuerdo a las áreas efectivamente instaladas con equipos de goteo y microaspersión. Los datos se obtuvieron mediante entrevistas realizadas en el año 2001 a gerentes de las principales empresas distribuidoras de tecnología de riego del país<sup>3</sup>. Las entrevistas buscaron conocer las ventas anuales de equipos de riego presurizado durante en el período 1986-2001, discriminadas en hectáreas instaladas por provincia y por cultivo. El universo de estudio fue el área agrícola en la cual se adoptó riego presurizado de bajo volumen, lo que supone un total de 125.137 ha según el Censo Nacional Agropecuario del año 2002. La muestra generó información de 911 explotaciones que adoptaron riego presurizado en una superficie de 79.668 ha durante el período 1986-2001, lo cual representa en 40% del total de unidades y el 64% del área con esta tecnología según datos del Censo Nacional Agropecuario 2002 (INDEC, 2006). El tamaño de la muestra permitió extrapolar las conclusiones al universo de estudio con una confianza de 95,5% en la hipótesis  $p=50\%$  y un margen de error de  $\pm 3\%$  (Arkin, 1982). Para alcanzar el objetivo de este trabajo, el estudio se focalizará en las regiones agrícolas del oeste del país y se seleccionará un conjunto de cultivos frutales (vid, olivo, frutales de carozo y frutales de pepita) que concentra la mayoría de la superficie con riego presurizado instalada en la región.

Los modelos de difusión fueron desarrollados para representar el nivel de incorporación de una innovación en un conjunto de adoptantes (Coombs, Saviotti y Walsh, 1987). El propósito de los mismos es determinar el incremento sucesivo en el número de unidades de adopción a lo largo del tiempo, permitiendo predecir cuál puede ser la tendencia del proceso de difusión y su dinámica (Rogers, 1995; Mahajan y Peterson, 1985). En este trabajo se va a usar un modelo que describe el crecimiento del área con una tecnología a partir de la curva S. Este parte de la idea de que el incremento de la difusión tiene un límite, lo cual se apoya en gran cantidad de observaciones que indican que el crecimiento tiene esa forma en la difusión de tecnología (Rogers, 1995; Griliches, 1979, 1957; Dixon, 1980). La variable medida (área con una tecnología) crece de manera exponencial al principio. Sin embargo, por mecanismos de saturación se produce la curva S. De esta forma, para un proceso de crecimiento unitario, la curva sigmoidea es por lo general un modelo satisfactorio.

En el caso de la difusión de una tecnología, el crecimiento exponencial es representado en principio por un modelo con incremento sin límites. La tasa de crecimiento del área con tecnología  $A_{(t)}$  es proporcional al área agrícola total y su valor en el tiempo  $t$  es definido por la derivada  $\frac{dA_{(t)}}{dt}$ . El modelo de crecimiento exponencial expresado como la ecuación diferencial

$$\frac{dA_{(t)}}{dt} = \alpha A_{(t)} \quad (1)$$

se puede resolver aplicando logaritmos naturales y queda:

$$A_{(t)} = \beta e^{\alpha t} \quad (2)$$

---

<sup>3</sup>/ Plastro, Irrigar, Dripsa, Naan y Netafim.

en donde  $\alpha$  es una constante de crecimiento que se expresa en términos porcentuales y  $\beta$  es el área inicial  $A_{(0)}$ . De esta manera, un  $\alpha$  con un valor de 0,02 indica que una tecnología se está difundiendo a una tasa anual de 2%.

Sin embargo, ningún territorio agrícola puede sostener de manera indefinida un aumento exponencial del área con una tecnología a menos que cambien sus límites. Para aproximarse a lo que sucede en un sistema real, la ecuación (1) debe ser modificada con un límite que produce una forma de crecimiento con forma de S. La modificación al modelo exponencial más usada es la curva logística, cuya ecuación adiciona un término que frena la tasa de crecimiento hasta un límite o techo K. La expresión es:

$$\frac{dA_{(t)}}{dt} = \alpha A_{(t)} \left( 1 - \frac{A_{(t)}}{K} \right) \quad (3)$$

con:

$$\left( 1 - \frac{A_{(t)}}{K} \right) \rightarrow 1 \text{ cuando } A_{(t)} \leq K \text{ y } \rightarrow 0 \text{ cuando } A_{(t)} \rightarrow K$$

Esto significa que la tasa de crecimiento comienza de manera exponencial pero luego tiende a cero a medida que el área con nueva tecnología se aproxima al techo K, produciendo una trayectoria con forma de S. La solución algebraica de (3) es:

$$A_{(t)} = \frac{K}{1 + e^{(-\alpha(t-\beta))}} \quad (4)$$

Los parámetros de la curva son, entonces,  $\alpha$ ,  $\beta$  y K. La tasa de crecimiento  $\alpha$  especifica el "ancho" o inclinación de la curva sigmoidea. Siguiendo a Meyer, Yung y Ausubel (1999), se va a reemplazar  $\alpha$  por una variable que especifique el tiempo requerido por la trayectoria para crecer del 10% al 90% del límite K. A este período se lo llama duración característica o  $\Delta t$  y está relacionada con  $\alpha$  mediante la expresión

$$\Delta t = \frac{\ln(81)}{\alpha}$$

El parámetro  $\Delta t$  es más útil que  $\alpha$  para el análisis de series de tiempo ya que las unidades son más fáciles de apreciar. Por su parte, el parámetro  $\beta$  especifica el tiempo que tarda la curva para alcanzar la mitad de K, es decir, el punto medio de crecimiento de la trayectoria y se lo identifica como  $t_m$ . Por último, el parámetro K es el límite asintótico al que se acerca la curva de crecimiento. La curva es simétrica alrededor del punto  $t_m$ . Otros modelos, como el de Gompertz tienen crecimiento asimétrico alrededor de este punto<sup>4</sup>.

La duración característica  $\Delta t$  es un índice o coeficiente que capta la interacción entre el contexto externo al sistema que se quiere estudiar y la tecnología. En general, el parámetro  $\Delta t$  representa efectos socioeconómicos que afectan el proceso de difusión, como puede ser la estructura socioeconómica, la política pública o los precios. En este caso, será un coeficiente que en provincias como San Juan, La Rioja y Catamarca captará, además, los efectos de la Ley de Promoción Agrícola, por lo que su valor será menor que el obtenido en las condiciones normales de mercado que tuvieron lugar en otras provincias.

---

<sup>4</sup> Para una revisión de distintos modelos sigmoideos triparamétricos, véase Ratkowsky (1990); Christensen (1990) y Maharajan y Peterson (1985).

El parámetro  $\beta$  capta condiciones endógenas, como son el tipo de cultivo, de tecnología y la dotación de recursos naturales que se está analizando. Para este caso, se va a suponer que la tecnología de microirrigación es homogénea, como así también la calidad de los suelos y del agua. Por lo tanto el tiempo medio va a representar la influencia del cultivo en la difusión de la tecnología. Se espera que las especies vegetales que tardan menos años en entrar en producción tengan un tiempo medio de adopción de microirrigación inferior que aquellos que son poco precoces.

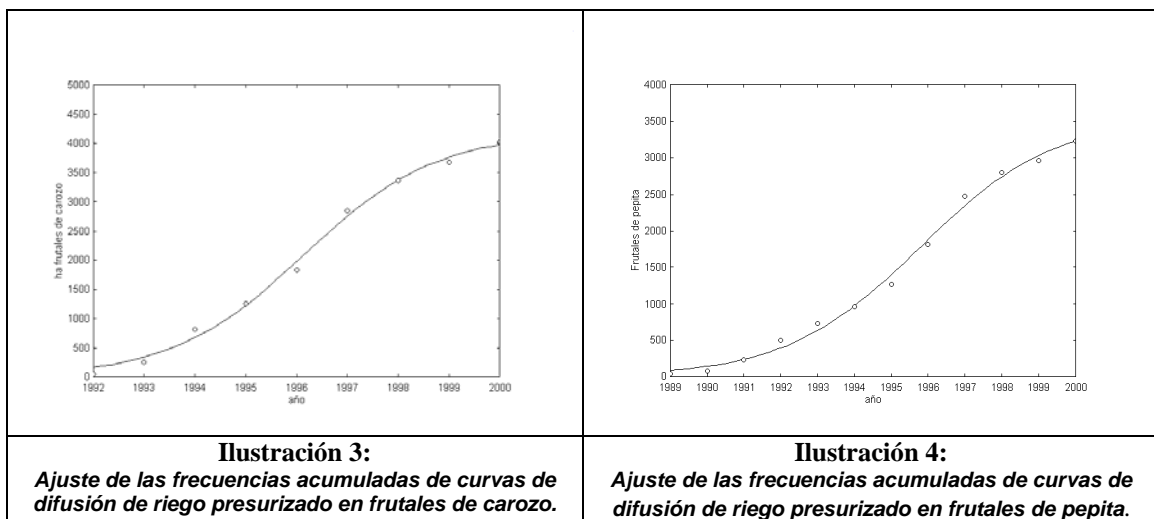
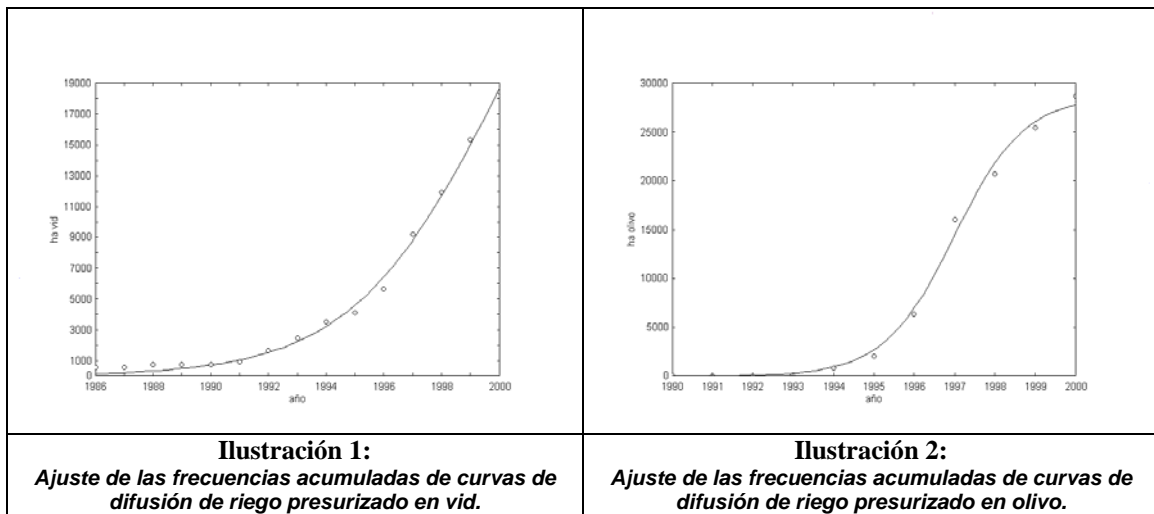
Hay varios supuestos que están detrás de los modelos de difusión de tecnología (Meyer, Yung y Ausubel, 1999; Inverizzi y Terpin, 1996; Tortajada Esparza, 1994; Coombs, Saviotti y Walsh, 1987; Maharajan y Peterson, 1985). A continuación, se mencionan aquellos bajos los cuales se va a analizar en este trabajo la difusión de microirrigación en este trabajo.

- i.* El proceso de difusión es binario, o sea que los agricultores pueden o no adoptar la innovación. Por lo tanto, la adopción es tratada como un evento discreto que no tiene en cuenta las etapas clásicas de continuidad del proceso de difusión (información, conocimiento e innovación, entre otras).
- ii.* El número potencial de hectáreas adoptantes en el total de la superficie cultivada de un régimen climático es constante y sus características naturales no cambian en el tiempo. Esto significa que el techo del área en la que se puede difundir la tecnología es conocido o puede ser estimado.
- iii.* La tecnología se difunde en una región por "contacto" entre dos unidades de superficie. La frecuencia de este contacto es la misma independientemente de las características naturales del terreno y es constante en el tiempo.
- iv.* La probabilidad de que la tecnología se transmita durante el "contacto" entre hectáreas con y sin tecnología es constante a lo largo del tiempo y la misma para todo tipo de área cultivada.
- v.* La tecnología no se pierde una vez adoptada, ni por abandono del cultivo ni por sustitución tecnológica. Sólo se permite una adopción por unidad de superficie. En otras palabras, para una superficie dada un agricultor solo podrá comprar un equipo de riego, no existiendo la posibilidad de reemplazo.
- vi.* La tecnología no cambia durante el período de análisis. Esto significa que si aparece una mejora tecnológica, ésta no se incorpora en el modelo de difusión tecnológica. Además, la adopción de la innovación no se modifica por la aparición de otra sustituta.

## RESULTADOS

La obtención de los valores de los parámetros de la curva de difusión se hizo a través de una regresión no lineal de Levenberg-Marquardt. Este es un método estándar de mínimos cuadrados usado para ajustar datos en modelos no lineales. Se define una función que debe ser minimizada en forma iterativa para obtener la solución inicial de los parámetros que van a ser ajustados. Las ilustraciones que se incluyen más abajo muestran el resultado de la modelación del proceso de difusión del riego presurizado en los cultivos seleccionadas. Como se puede observar, en todos los casos es posible identificar las tres fases de la curva

S: crecimiento, saturación y declinación. En este caso, como se verá más adelante al analizarse las curvas acampanadas de difusión, la primera y la tercera fase fueron asumidas como logísticas, lo cual se pudo verificar en los ajustes.



Los errores del ajuste se pueden analizar a través de los residuos, los cuales miden el error entre un valor observado y el ajustado para un mismo momento. La estimación de los residuos se realizó a través del error bruto (en hectáreas) y el error porcentual con respecto al valor ajustado que se muestra en la tabla inferior. Un buen ajuste es aquel que distribuye los residuos aleatoriamente por arriba y por debajo del eje de abscisas. Un cluster de más de tres puntos por arriba o por debajo del eje indica un ajuste inadecuado por la presencia de más de un impulso logístico a lo largo de la curva. Los mayores errores en el ajuste aparecen en el quinquenio 1986-1990, o sea en aquellos años en los cuales hubo un estancamiento relativo en la difusión del riego presurizado. Si bien se podría pensar que entonces el ajuste de la curva tendría que limitarse a la fase de crecimiento logístico, el efecto sobre los valores de los parámetros es insignificante ya que las superficies provinciales con riego por goteo hasta principio de los años '90 son muy pequeñas.

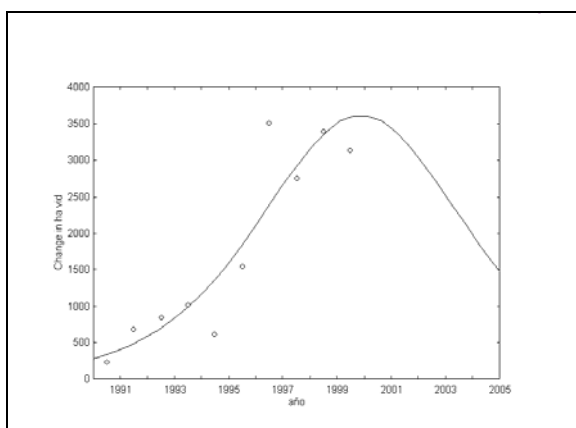
**Tabla 1: Valor de los parámetros estimados**

Cultivo	K	$\beta$	$\Delta t$
Vid	36.477,6	2000	11,1
Olivo	28.678,1	1997	3,8
F. de carozo	4.189,8	1996	5,7
F. de pepita	3.556,2	1996	8,0

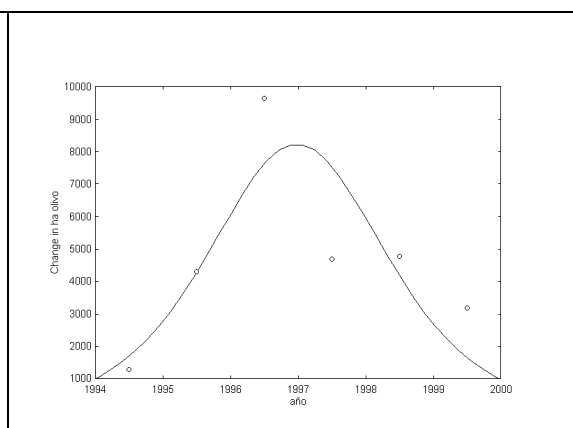
Las tasas de cambio de una trayectoria logística dan pistas sobre las magnitudes que inciden sobre la curva a lo largo del tiempo. Esto es útil si se usan tabulaciones anuales o porcentuales anuales de movilidad. Una forma de analizar la tasa de crecimiento de una función logística es estimando su derivada respecto del tiempo, de tal manera que:

$$\frac{dN_{(t)}}{dt} = \frac{\frac{\ln(81)}{\Delta t} K e\left(-\frac{\ln(81)}{\Delta t}(t-t_m)\right)}{\left[1 + e\left(-\frac{\ln(81)}{\Delta t}(t-t_m)\right)\right]^2}$$

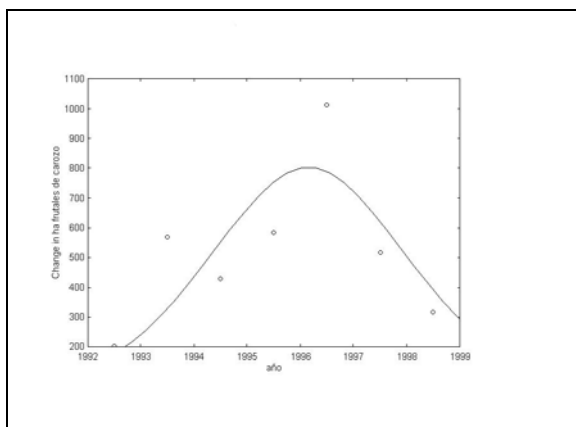
Así se puede obtener una curva acampanada similar pero no igual a una distribución normal. Esta curva acampanada tiene un pico en el punto medio ( $t_m$ ) y, analíticamente, aquí se encuentra el punto de inflexión.



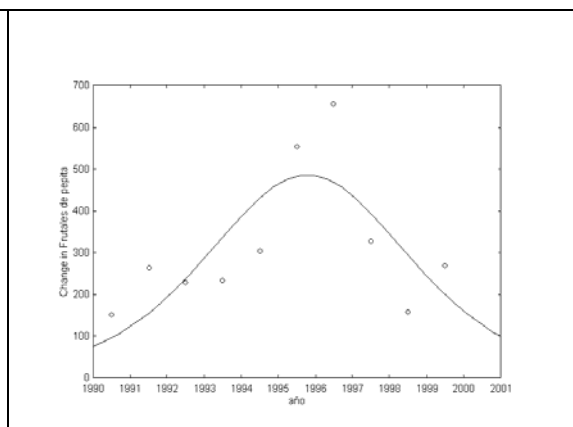
**Ilustración 5:**  
*Curva acampanada de difusión de riego presurizado en vid.*



**Ilustración 6:**  
*Curva acampanada de difusión de riego presurizado en olivo.*



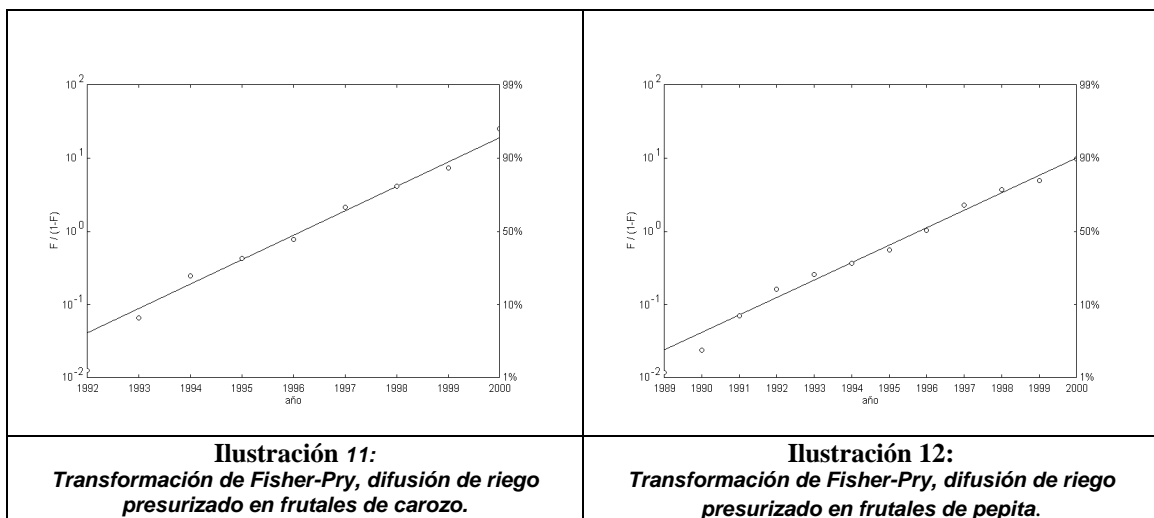
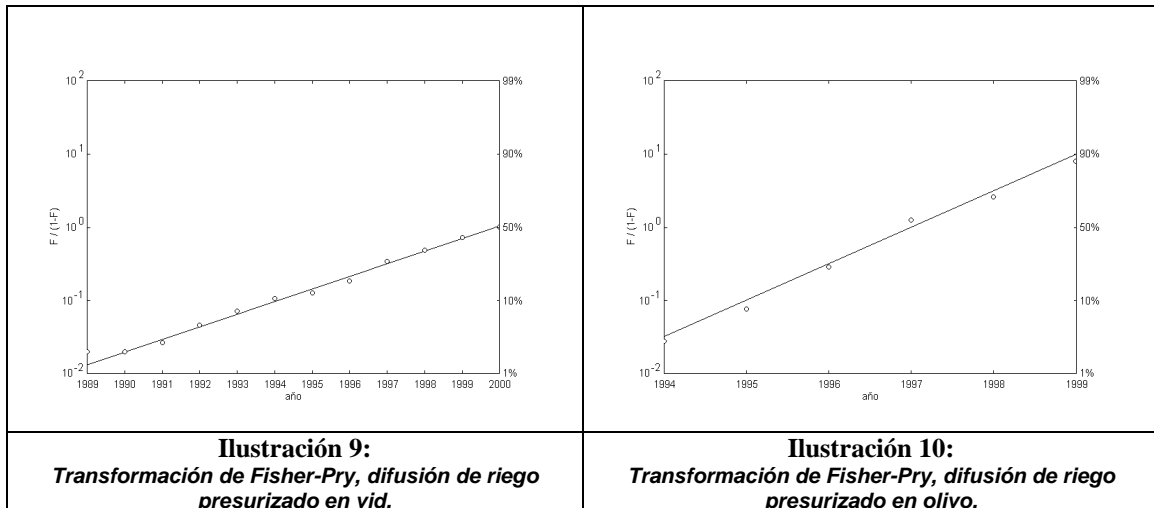
**Ilustración 7:**  
*Curva acampanada de difusión de riego presurizado en frutales de carozo.*



**Ilustración 8:**  
*Curva acampanada de difusión de riego presurizado en frutales de pepita.*

Generalmente se visualiza el crecimiento logístico en gráficos construidos con valores absolutos y de escala lineal. Sin embargo, mediante la transformación de Fisher-Pry se puede visualizar el crecimiento a través de líneas rectas.

$$FP_{(t)} = \left( \frac{F_{(t)}}{1 - F_{(t)}} \right), \text{ donde } F_{(t)} = \frac{N_{(t)}}{K} \text{ y } \ln( FP_{(t)} ) = \frac{\ln( 81 )}{\Delta t} (t - t_m)$$



## DISCUSION

Se pudo ver que el modelo logístico provee elementos que sirven para analizar el proceso de difusión de una tecnología en la agricultura, en este caso, el riego presurizado. Se verificó un comportamiento diferenciado de las curvas de difusión en los cultivos estudiados. Por un lado, se encuentra un cultivo, el olivo, en el cual un elemento exógeno, el régimen de diferimientos impositivos, indujo la inversión en zonas en las cuales la agricultura solo es posible mediante el riego. En este contexto, la mayoría de los cultivos se realizaron con la instalación de riego presurizado de bajo volumen.



El nivel de saturación o techo esperado de la curva ( $K$ ) indica la capacidad máxima de la logística. A medida que transcurre el tiempo de difusión, los valores de superficie con riego por goteo que se indican en la coordenada de los gráficos tienden a converger con el nivel de saturación. El olivo y los frutales de carozo aparecen como los cultivos que en el año 2000 están más próximos al techo de adopción de riego presurizado. Los frutales de pepita se encuentran en una situación parecida en cuanto a la cercanía del punto de saturación, ya que la tendencia indica que este se va a lograr en pocos años. En el otro extremo se encuentra la vid, cultivo en el cual todavía es amplia la brecha entre la situación de difusión actual y la de convergencia.

El punto medio  $\beta$  indica el medio de la curva logística, o sea, su punto de inflexión. Los frutales de carozo y los de pepita tienen el mismo punto medio (1996). En el olivo, por su parte, a partir del año 1997 comenzó una declinación en la tasa de difusión del riego por goteo. En cambio, el cultivo de vid vuelve a mostrar indicadores distintos a los otros tres cultivos y su  $\beta$  tiene lugar posteriormente, en el año 2000.

La duración característica  $\Delta t$  describe el tiempo en el que la logística va de un valor de 10% a otro de 90% del nivel de saturación esperado. El crecimiento más explosivo de la difusión del riego presurizado ocurrió en el cultivo de olivo. Tan sólo en 3,8 años se llegó a un 90% del nivel de saturación esperado. Aunque con más suavidad, los frutales de carozo experimentaron un proceso similar ya que en 5,7 años llegó al 90% de saturación de la curva. En ambos casos hay un período relativamente extenso en el cual el nivel de difusión no superó el 10% del esperado. El proceso de difusión fue más gradual en el cultivo de frutales de pepita y en la vid, con una duración característica de 8 y 11,1 años respectivamente.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el cultivo de vid es el que está más lejos del punto de saturación de adopción de tecnologías de riego, que se alcanzaría a las 36.477 ha. En este cultivo, además, la curva de difusión es la de menor pendiente (tiempo de crecimiento, 11 años) y la que tiene el punto de inflexión más tardío (año 2000). Es de esperarse, entonces, que la viticultura concentre la mayor cantidad de inversiones en tecnología de riego presurizado de bajo volumen.

## BIBLIOGRAFIA

- Arkin, H.** (1982): *Sampling methods for the auditor. An advanced treatment.* McGraw Hill, New York.
- Arroyo, R.** (1966): *Estudio sobre el proceso de difusión y adopción de herbicidas en maíz. El Paraíso, Ramallo.* (Boletín de divulgación, 35). INTA, Pergamino, 26pp.
- Arroyo, R.** (1965): *Estudio sobre el proceso de difusión y adopción de los maíces híbridos "La Vanguardia".* (Boletín de divulgación, 33). INTA, Pergamino, 43pp.
- Christensen, R.** (1990): *Log-linear models.* Springer-Verlag, New York. 408pp.
- Coombs, R.; P. Saviotti; V. Walsh** (1987): *Economics and Technological Change.* Rowman and Littlefield, New Jersey, 296pp.
- Dixon, R.** (1980): "Hybrid Corn Revisited". *Econometrica* 48 (6), 1451-1461.
- Efron, B.** (1979): "Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife". *The Annals of Statistics* 7(1), 1-26.

- Efron, B.; R. Tibshirani** (1986): "Bootstrap Methods for Standard Errors, Confidence Intervals, and Other Measures of Statistical Accuracy". *Statistic Science* 1(1), 54-77.
- Elster, J.** (1990): *El cambio tecnológico*. Gedisa Editorial. Barcelona, 244pp.
- Freedman, D.** (1984): "On Bootstrapping Two-Stage Least-Squares Estimates in Stationary Linear Models". *The Annals of Statistics* 12(3), 827-842.
- Griliches, Z.** (1979): "El maíz híbrido y la economía de la invención". In: *Economía del cambio tecnológico*. (Selección de Rosenberg,N). FCE. México, 197-213.
- Griliches, Z.** (1957): "Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change". *Econometrica* 25 (4), 501-522.
- INDEC** (2006): *Censo Nacional Agropecuario 2002*, edición electrónica. Buenos Aires < www.indec.gov.ar >.
- Invernizzi, S.; K. Terpin** (1996): "A generalized logistic model for photosynthetic growth". *Ecological Modelling* 94, 231-242.
- Mahajan, V.; R. Peterson** (1985): *Models for Innovation Diffusion*. (Sage University Paper, 48). Sage Publications, Newbury Park, California. 87 pp.
- Mansfield, E.** (1979): "El cambio técnico y la tasa de imitación". In: *Economía del cambio tecnológico*. (Selección de Rosenberg,N). FCE. México, 264-294.
- Marchetti, C.** (1996): "Human Population Dynamics Revisited with the Logistic Model: How Much Can Be Modeled and Predicted?". *Technological Forecasting and Social Change* 52, 1-30.
- Meyer, P.; J. Yung; H. Ausubel** (1999): "A Primer on Logistic Growth and Substitution: The Mathematics of the Loglet Lab Software". *Technological Forecasting and Social Change* 61(3),247-271.
- Morábito, J.; S. Salatino; C. Mirábile; J. Chambouleyron; L. Fornero; M. Nuñez** (1998a): "Riego presurizado: su evolución en diferentes regiones de Argentina (primera parte)". *La Revista del Riego* 13, 16-19.
- Morábito, J.; S. Salatino; C. Mirábile; J. Chambouleyron; L. Fornero; M. Nuñez** (1998b): "Riego presurizado: su evolución en diferentes regiones de Argentina (segunda parte)". *La Revista del Riego* 14, 20-23.
- Ratkowski, D.** (1990): *Handbook of nonlinear regression models. (Statistics, textbooks and monographs v 107)*. Marcel Dekker, New York. 241pp.
- Rogers, E.** (1995): *Diffusion of Innovations*. The Free Press. New York, 519pp.
- Schultz, T.** (1992): *Reestablecimiento del equilibrio económico*. Gedisa Editorial. Barcelona, 238pp.
- Tortajada Esparza, E.** (1994): "Modelos de difusión aplicados al cultivo de cítricos en España". *Investigación Agrícola: Economía* 9 (3) 359-374.

## ANEXO 1: RESIDUOS Y PORCENTAJE DE ERROR (%)

Año	Vid		Olivo		Carozo		Pepita	
	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha
1986	73,643	411,7						
1987	60,882	340,3						
1988	54,652	390,8						
1989	32,854	234,9					-105,244	-43,15
1990	0,783	5,6	81,532	41,6			-74,507	-61,10
1991	-10,587	-100,0	41,852	21,3			-2,766	-6,47
1992	6,084	99,3	-82,806	-42,2	-220,351	-114,58	20,238	100,58
1993	10,154	252,4	-151,477	-175,7	-33,939	-86,88	12,772	92,85
1994	7,795	272,7	-14,873	-116,5	18,343	151,51	-1,004	-9,65
1995	-11,664	-480,3	-28,692	-591,9	2,415	30,31	-10,684	-135,15
1996	-13,586	-770,6	-9,566	-609,1	-7,288	-133,95	-3,431	-62,41
1997	3,933	361,2	9,917	1588,6	3,507	100,03	5,134	127,06
1998	1,698	202,7	-5,445	-1127,7	-0,044	-1,49	2,218	62,16
1999	1,608	246,6	-2,394	-609,9	-2,122	-78,25	-2,478	-73,36
2000	-1,155	-213,2	2,962	848,5	1,234	49,75	-0,143	-4,61

## ANEXO II: EXPLICACIÓN SOBRE LA ESTIMACIÓN DEL ERROR

Para determinar los errores de los parámetros estimados, se deben conocer los errores de los datos que les dieron origen. Sin embargo, para la serie histórica considerada no posible conocer la distribución y la varianza de los errores y, por lo tanto, no se puede estimar el error del ajuste. Pero el uso de una técnica *bootstrap* permite la estimación de los parámetros usando el algoritmo de Monte Carlo basándose en datos observados. Fue descrito por Efron (1979) y puede usarse para muchos propósitos, entre otros, la realización de estimaciones robustas de varianzas muestrales y errores estándares. En esta ocasión se va a utilizar para estimar intervalos de confianza de acuerdo a lo expresado en Efron y Tibshirani (1986). Las técnicas de simulación del tipo *bootstrap* han mostrado ser una ayuda en el proceso de cuantificación de la sensibilidad y estabilidad al no estar sujetas a hipótesis previas sobre la naturaleza de los datos (Freedman, 1984).

El principio del *bootstrap* trata los datos como si fueran la población y aplica el método Monte Carlo para generar una estimación empírica de la distribución muestral del estadístico. La verdadera estimación Monte Carlo requiere un conocimiento total de la población pero, como se aclaró anteriormente, si bien en este trabajo se entrevistó a las empresas de riego más importantes, quedaron fuera las pequeñas o de relevancia local. Se parte de un sector de la población y se necesita, en primer lugar, inferir el parámetro  $\theta$  a partir del estimador  $\hat{\theta}$ . Al hacer el *bootstrap* se trata a  $\hat{\theta}$  como si fuera la población y sobre ésta se realiza un procedimiento Monte Carlo. Se extrae aleatoriamente y con reposición un gran número de “remuestras” de tamaño  $n$ . Así, aunque cada remuestra tiene el mismo número de elementos que el original, al hacerlo con reposición podría tener algunos de los datos originales representados en ella más de una vez. Por lo tanto, es probable que cada una de las remuestras sea levemente y aleatoriamente distinta a la que le dio origen. Entonces, como los elementos de estas remuestras varían levemente, un estadístico  $\hat{\theta}^*$  calculado a partir de las mismas probablemente tomará un valor ligeramente distinto al de

los otros  $\hat{\theta}^*$  y al original. El supuesto fundamental de este procedimiento dice que una distribución de frecuencias relativas de esos  $\hat{\theta}^*$  es una estimación de la distribución muestral  $\hat{\theta}$  (Efron y Tibshirani, 1986).

Se emplean los residuos de un ajuste por mínimos cuadrados para sintetizar un nuevo conjunto de datos. En esta ocasión se generaron 1000 conjuntos de datos y se ajustó la curva para cada conjunto de parámetros. Por el Teorema del Límite Central se asume que el parámetro estimado por bootstrap está distribuido normalmente alrededor del valor medio. De los intervalos de confianza de un parámetro, se puede formar una región de confianza que contiene el conjunto de todas las curvas correspondientes a todos los valores de los parámetros.

A partir del conjunto de datos  $D_0$  con  $m$  puntos, primero se estiman los parámetros  $P_0$  usando el algoritmo de mínimos cuadrados tal cual se describió con anterioridad y se calculan los residuos  $R$ . Luego se sintetizan  $n_{boot}$  conjuntos de datos adicionando  $R_i$ , un vector que contiene  $m$  residuos de  $R$  seleccionados al azar (con reemplazos).

$$D_i = N(t; P_0) + R_i$$

Para cada  $D_i$  es estimado un parámetro  $P_i$  mediante la generación de  $n_{boot}$  (1000 en este caso) conjuntos de datos. Los parámetros estimados en cada ajuste son almacenados en una matriz tridimensional  $P_{boot}$ . A causa de que la distribución de los parámetros en  $P_{boot}$  es asumida como normal, el 95% CI para cualquier parámetro  $p_{ij}$  en  $P_{boot}$  va a ser computada como la media  $\mu_{ij}$  y el desvío estándar  $\sigma_{ij}$ .

$$95\% CI = (\mu_{ij} - 1,96\sigma_{ij} ; \mu_{ij} + 1,96\sigma_{ij})$$