

## VARIABILIDAD DE RINDES DE TRIGO Y FERTILIZACION NITROGENADA

G. M. Gallacher (1)

Recibido: 15/5/84

Aceptado: 28/6/85

### RESUMEN

En la primera parte del trabajo se presenta un modelo teórico de respuesta del cultivo de trigo a una serie de factores de producción. El objetivo del mismo es permitir la estimación del valor esperado de rinde,  $E(Y)$ , y la varianza de rinde,  $V(Y)$ , para cualquier nivel de uso de insumo.

En la segunda parte se usa el modelo anterior para analizar el proceso de respuesta del cultivo de trigo al uso de fertilizante nitrogenado. Se utilizan datos experimentales correspondientes a la zona triguera II. Una función polinomial es ajustada a datos de ensayos llevados a cabo en la zona II Norte y en la zona II Sur.

Una prueba estadística para detectar la presencia de heterocedasticidad (el "Test de Park") permite estimar la influencia del nivel de fertilización nitrogenada sobre la variabilidad de rindes.

Se concluye que (1) las dosis óptimas son considerablemente (30-50 por ciento) mayores en la zona II sur que en la II Norte, (2) las diferencias (entre zonas) de dosis óptima son mayores cuanto menores son las relaciones de precio fertilizante/trigo y (3) la utilización de fertilizante nitrogenado no parece aumentar el riesgo económico de producción.

### WHEAT YIELD VARIABILITY AND NITROGEN FERTILIZATION

#### SUMMARY

A theoretical model yield response to a series of production factors is presented in the first part of the paper. The objective of the model is to estimate expected yield,  $E(Y)$ , and variance of yield,  $V(Y)$ , for any level of input use.

The second part of the paper deals with the use of the model for the analysis of wheat response to nitrogen fertilizer. A polynomial function is fitted to the data of each of two sub-areas (North and South) within wheat area II. A test for heteroscedasticity (Park's Test) is used to detect the level of input use on yield variance.

It is concluded that (1) maximum profit fertilizer rates are considerably (30-50 for cent) higher in area II South than in area II North, (2) the difference (between areas) in optimum rates increases with lower nitrogen/wheat price ratios and (3) the use of nitrogen fertilizer does not seem to increase the economic risk of production.

---

1) Departamento de Economía, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires, Argentina.

## INTRODUCCION

Una característica distingue la empresa agropecuaria de la industrial: en la primera los procesos de producción dependen, en una medida importante, de variables que se encuentran fuera del control del individuo que toma las decisiones. El productor no puede, en el primer caso, predecir **con certeza** el rendimiento que obtendrá a partir de cierta combinación de insumos.

A pesar de la importancia de este problema, una gran parte de los estudios relacionados a aspectos económicos de la empresa rural suponen (explícita o implícitamente) conocimiento perfecto en lo que respecta a las consecuencias futuras de decisiones de producción. Este trabajo tiene como objetivo cuantificar los riesgos económicos asociados a la utilización de un insumo (fertilizante nitrogenado), en la obtención de un producto (trigo). Para ello se presenta un marco general para el análisis de procesos de producción riesgosos. Posteriormente, se propone una metodología de análisis estadístico, utilizándose ésta para evaluar la economía de la utilización de nitrógeno en dos zonas trigueras: II Norte y II Sur, y se comentan las implicancias económicas del análisis anterior. Por último, se resumen las conclusiones que surgen del trabajo.

### El modelo económico

Un modelo general de respuesta ante un conjunto de factores de producción puede

$$(1) y = f(v_1, \dots, v_i, \dots, v_k; s_1, \dots, s_j, \dots, s_n; q_1, \dots, q_w, \dots, q_m);$$

donde  $y$  es la producción física lograda (por ejemplo kg/ha de trigo), y las variables  $v_i$ ,  $s_j$  y  $q_w$  las cantidades (por hectárea) de los diversos factores responsables del rinde del trigo.

En el modelo anterior, los factores de producción han sido clasificados en 3 categorías y con el siguiente criterio: las  $v_i$  ("variables de decisión") representan **factores que se encuentran bajo control del productor**: dosis de fertilizante, variedad, densidad de siembra, tratamiento de herbicidas, etc. Las  $s_j$  ("variables inciertas") representan **factores no controlables y además estocásticos (aleatorios)**. Son factores de los cuales su nivel no es conocido en el momento de la toma de decisiones. Entre estos se encuentran, especialmente, los factores climáticos. Finalmente, los factores **no controlables pero cuyos valores son conocidos en el momento de la decisión** están indicados por las variables  $q_w$  ("variables pre-determinadas"). Entre estas se encuentran algunas variables "de sitio" tales como las características de los horizontes de suelo, la fertilidad del mismo, etc.

Del modelo anterior pueden hacerse dos comentarios. En primer lugar, los factores pre-determinados sólo condicionarán el resultado de las decisiones. En segundo lugar, los factores estocásticos no controlables se caracterizarán por una determinada distribución de frecuencia. Esta podrá caracterizarse por un cierto valor esperado,  $E(y)$ , varianza  $V(y)$ , simetría,  $S(y)$  y otros parámetros. (1)

(1) Para distribuciones discretas:

$$\begin{aligned} E(x) &= \sum x_i P_i \\ V(x) &= \sum (x_i - E(x))^2 P_i \\ S(x) &= \sum (x_i - E(x))^3 P_i \end{aligned}$$

donde  $P_i$  = probabilidades que  $x = x_i$

La implicancia "práctica" de los comentarios anteriores es la siguiente: al ser el rendimiento una variable aleatoria, lo es también el beneficio económico. La comparación entre alternativas es, fundamentalmente, una

comparación entre distribuciones de frecuencia. No se detallarán en este trabajo, los distintos modelos que han sido usados para explicar el comportamiento de individuos enfrentados con este tipo de problema de decisión. La atención se concentrará, en cambio, en la estimación del impacto de la utilización de nitrógeno sobre la variabilidad de rindes del trigo. Estas estimaciones se emplearán posteriormente para hacer una serie de consideraciones sobre la economía de utilización de este insumo.

Conceptualmente es posible distinguir dos situaciones en lo que se refiere al impacto de distintos niveles de variables estocásticas sobre la productividad de variables de decisión. Las Figuras 1A y 1B muestran respuestas hipotéticas a un factor de decisión  $v_i$  (por

ejemplo fertilizante nitrogenado). Se supone, además, que el factor incierto (por ejemplo "lluvia") puede tomar sólo 3 valores.

En el primer caso (Figura 1A), existe "interacción" entre la variable de decisión y la variable incierta (Doll y Orazem, 1978). El producto marginal de la variable de decisión depende, en efecto, del nivel en que opera la variable incierta ( $\frac{\partial y}{\partial v} \frac{\partial s \neq 0$ ). En cambio, en el segundo ( $\frac{\partial y}{\partial v} \frac{\partial s = 0$ ), la variable incierta no tiene influencia sobre el producto marginal de la variable de decisión ( $\frac{\partial y}{\partial v} \frac{\partial s = 0$ ). No existe, por ende, interacción entre ambas. Como muestra la Figura 1A', en el caso de que exista "interacción" entre las variables de decisión y las inciertas, el nivel de uso de insumo óptimo "ex-ante" ( $PM_g = P_v/P_y$ ) puede no serlo "ex-post". El

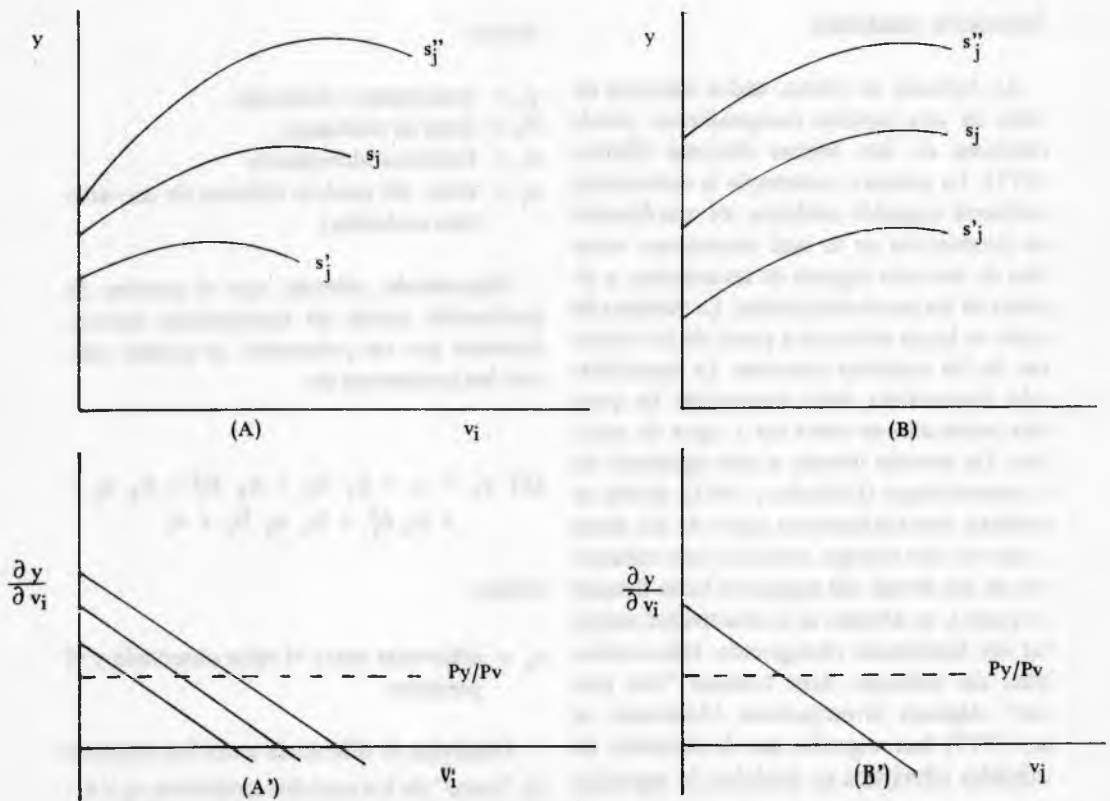


Figura 1: Respuesta de rendimiento a un insumo variable.

productor está sujeto al "riesgo" de usar cantidades menores o mayores a las óptimas, según su predicción sobre o sub-estime la productividad del insumo sujeto a decisiones. En la Figura 1B', en cambio, la productividad marginal del insumo variable permanece constante ante variación en los insumos estocásticos.

Puede observarse, por otro lado, que la variabilidad de rindes aumenta, antes mayores niveles de uso de insumo, en la Figura 1A. En la Figura 1B, en cambio, permanece constante. La variabilidad de beneficios resultante también aumentará si el proceso bajo análisis puede representarse por la Figura 1A, y permanecerá constante si puede representarse por la 1B. Resumiendo: existe "riesgo" la utilización de un insumo si (y sólo si) incrementa la variabilidad de rindes del ducto en consideración.

puede llevar a una sub-estimación del riesgo de producción.

La segunda forma en que puede estimarse variabilidad de rindes consiste en incluir, en el modelo de regresión, solamente variables de decisión y predeterminadas. El impacto entonces, de (todas) las variables inciertas queda cuantificado en los errores de predicción del modelo (diferencias entre los valores observados y los predichos). Si se supone que el único tratamiento bajo análisis corresponde a dosis de nitrógeno,  $y_i$  que la única variable adicional registrada es el valor de fertilidad de este nutriente es posible reescribir la expresión

$$(1) y = f(v_1, \dots, v_i, \dots, v_k; s_1, \dots, s_j, \dots, s_n; \dots, s_n; q_1, \dots, q_w, \dots, q_m)$$

$$(2) y_i = f(N_i, n_i) + u_i$$

### Estimación estadística

La varianza de rindes, dados distintos niveles de una variable independiente, puede estimarse de dos formas distintas (Dillon, 1977). La primera contempla la estimación, mediante regresión múltiple, de una función de producción en la cual intervienen variables de decisión algunas de las inciertas, y algunas de las pre-determinadas. La varianza de rinde es luego estimada a partir de las varianzas de las variables inciertas. La especificación matemática debe contemplar las posibles interacciones entre los 3 tipos de variables. Un estudio llevado a cabo siguiendo esta metodología (Gallacher, 1982), donde se analizan estadísticamente parte de los datos a usar en este trabajo, concluye que variaciones en las lluvias (de espigazón hasta llenado de grano), no afectan la productividad marginal del fertilizante nitrogenado. Esta conclusión, sin embargo, debe tomarse "con pinzas". Algunos investigadores (Anderson, *et al.*, 1977) han sugerido que la inclusión de variables climáticas en modelos de regresión

donde:

$y_i$  = rendimiento observado  
 $N_i$  = dosis de nitrógeno  
 $n_i$  = fertilidad nitrogenada  
 $u_i$  = error del modelo (efectos de las variables excluidas)

Suponiendo, además, que el proceso de producción puede ser representado adecuadamente por un polinomio, es posible estimar los parámetros de:

$$(3) y_i = a + b_1 N_i + b_2 N_i^2 + b_3 n_i + b_4 n_i^2 + b_5 n_i N_i + e_i$$

donde:

$e_i$  = diferencia entre el valor observado y el predicho.

Obsérvese la diferencia entre los términos de "error" de los modelos anteriores,  $u_i$  y  $e_i$ :

$$(4) \quad \begin{aligned} u_i &= y_i - f(N_i, n_i) \\ e_i &= y_i - \hat{y}_i \end{aligned}$$

En el primer caso, el "error" es la diferencia entre el valor observado y la media, o valor esperado (condicional) de la variable dependiente,  $E(y | N_i, n_i)$ . En el segundo, la diferencia es entre el valor observado y nuestra estimación de  $E(y | N_i, n_i)$  (Gujarati, 1978).

El análisis de la variabilidad de rindes de trigo ante distintas dosis de fertilizante requiere que el supuesto de varianzas constante o de "homocedasticidad"  $E(u_i^2) = \sigma^2$  sea sometido a prueba. Una forma de contrastar esta hipótesis es usar el "test de Park" (Gujarati, 1978). Para esto, en primer lugar la función (3) es estimada; y en segundo lugar los términos  $e_i^2$  son calculados y usados como variable dependiente para estimar:

$$(5) \quad e_i^2 = \sigma^2 + bN_i$$

En este modelo,  $e_i^2$  es usado como variable sustituto ("proxy") de la varianzas de la población ( $\sigma^2$ ).

Como fue mencionado en la introducción, el objetivo de este trabajo es evaluar los beneficios y riesgos asociados a la utilización de fertilizante nitrogenado en las zonas II Norte y II Sur. Para ello, se obtuvieron datos de ensayos llevados a cabo por la Estación Experimental de Marcos Juárez y por la Facultad de Agronomía (U.B.A.). Los datos de Marcos Juárez serán usados como representativos de la zona triguera II Norte. Los de la Facultad de Agronomía como representativos de la zona II Sur.

Las funciones de producción estimadas para ambas zonas figuran en el Cuadro 1. Los coeficientes de las funciones tienen en todos los casos los signos esperados. Salvo en el caso de la interacción nN en la zona II N son además, superiores a sus respectivos errores estándares. Los niveles de significancia son especialmente elevados en el caso de la

zona II S. Los coeficientes de determinación, bajos en ambos casos, indican que la función omite variables relevantes. Es posible también que la función elegida no represente la "verdadera" función de respuesta. La utilización de un polinomio, sin embargo, puede justificarse como una aproximación (serie de Taylor) de la verdadera función. (Dillon, 1977; Chiang, 1974).

El Cuadro 2 muestra las estimaciones del efecto del nitrógeno sobre la varianzas de rindes. La variable independiente,  $e_i^2$ , fue obtenida para cada función, según los comentarios del párrafo 5:

$$e_i^2 = (y_i - \hat{y}_i)^2$$

En la zona II N, el coeficiente de la variable independiente es considerablemente mayor que su error estándar. En la II S, en cambio, no queda evidenciada una relación entre uso de nitrógeno y varianzas de rindes. La varianzas de rindes, por otro lado, cuando no se usa fertilizante, es algo superior (+ 9 por ciento) en la zona II S que en la II N.

### Implicancias económicas

A fin de evaluar las implicancias económicas de los resultados anteriores es posible hacer la siguiente pregunta: ¿Hasta dónde incurre en "riesgo" el productor que utiliza las dosis de fertilizante que maximizan el beneficio económico? Para esto es necesario, en primer lugar, definir "riesgo". Este se definirá como la probabilidad de que el beneficio de la alternativa analizada sea inferior al de un "umbral crítico" (a definir).

$$\text{Riesgo} = P(B < B_0)$$

donde:

P = probabilidad

B = beneficio de la alternativa en cuestión

B<sub>0</sub> = beneficio mínimo exigido

CUADRO 1: Funciones de producción.		
	Zona II Norte	Zona II Sur
a	1.848	1.260
n	15,83 $\neq$ (10,30)	40,9 $\neq \neq$ (4,5)
n <sup>2</sup>	-0,07 (0,06)	-0,17 $\neq \neq$ (0,02)
N	17,09 $\neq$ (5,98)	17,12 $\neq \neq$ (4,4)
N <sup>2</sup>	-0,12 $\neq \neq$ (0,05)	-0,05 (0,04)
nN	-0,025 (0,04)	-0,11 $\neq \neq$ (0,04)
R <sup>2</sup>	0,12	0,40
g. l.	140	188
Años ensayos	1977/78 - 1981/82	1978/79 - 1982/83 (ensayos con antecesor no soja)

$\neq$  : p = .10  
 $\neq \neq$  : p = .001

n = fertilidad nitrogenada (Zona II N ppm nitratos; Zona II S ppm nitratos 0-40 cm) N = kg/ha de nitrógeno.

( ) = error standard

CUADRO 2: Estimación de varianzas.		
	Zona II N	Zona II S
a	285.620	312.990
N	3.035,2 $\neq$ (1.114)	19.217 (20.843)
	$\neq p = .005$	

donde:

Py = precio del trigo  
 Pn = precio del nitrógeno  
 Y = rinde del trigo  
 N = cantidad de fertilizante

Si se define  $r = Pn/Py$ , es posible re-escribir la expresión anterior como:

$$B = Py (Y - Nr)$$

Dividiéndose, además, ambos miembros por el precio del trigo, Py, se obtiene una medida de "beneficio" expresada en una

El beneficio económico resultante de usar un insumo (nitrógeno) para la producción de trigo resulta de:

$$B = Py Y - Pn N$$

cantidad de trigo por sobre el costo del fertilizante:

$$B = Y - Nr$$

Si se supone, además, que la única variable aleatoria de esta expresión es el rinde del trigo, el valor esperado y la desviación estándar de beneficios quedan expresados como:

$$\begin{aligned} E(B) &= E(Y) - Nr \\ D(B) &= (V(y))^{1/2} \end{aligned}$$

El supuesto anterior equivale a considerar que el productor paga (con grano) el fertilizante recibido y que conoce (al decidir) la relación de cambio correspondiente.

La probabilidad de que los beneficios sean menores a los correspondientes al umbral mínimo ( $B_0$ ) se calcula obteniendo el valor "z";

$$z = \frac{E(B) - B_0}{D(B)}$$

y luego hallando (en tablas de la distribución normal) la probabilidad de que la variable estandarizada tome valores iguales o menores al anterior.

En el análisis a realizar se define  $B_0$  como el beneficio que la tecnología sin utilización de fertilizantes supera con una "alta" probabilidad (90 por ciento de probabilidad). Si el valor esperado y la desviación estándar de rinde de la tecnología sin fertilizante son denotadas, respectivamente, por  $E(Y_0)$  y  $D(Y_0)$  este nivel crítico se calcula:

$$B_0 = E(Y_0) - 1,28 D(Y_0)$$

La definición de "riesgo" utilizada en este análisis es arbitraria. Lo es también el umbral mínimo considerado, Gallacher (1984).

El Cuadro 3 muestra, para 3 relaciones de precio (precio fertilizante/precio trigo) y para ambas zonas, dosis de máximo beneficio y la probabilidad de que los beneficios asocia-

dos a éstas sean menores que el "umbral crítico".

Las implicancias que surgen de los resultados anteriores son las siguientes. En primer lugar, las dosis óptimas (para una misma relación de precios) son considerablemente superiores en el caso de la zona II Sur que en el de la II Norte. Las diferencias de dosis óptima, por otro lado, son mayores cuanto más favorables son las relaciones de precio insumo/producto. Esto se debe a que la productividad (producto marginal) del fertilizante descende, con mayores dosis, más rápidamente en el caso de la función correspondiente a la zona II Norte que en el de la II Sur. En segundo lugar, los "riesgos" (probabilidades) de que el beneficio económico del trigo fertilizado sea menor que el del trigo sin fertilizar son sumamente reducidos (menores al 10 por ciento). En el caso de la zona II Sur, estos riesgos son aún menores que en el de la II Norte. Estos resultados, no esperados "a priori" se explican de la siguiente manera: la utilización de mayores niveles de fertilizante aumenta el nivel de rendimiento esperado en forma más importante que la variabilidad (desviación estándar) de rinde. Mayor rinde esperado junto con una casi igual variabilidad de rindes se traduce en muy bajos riesgos de producción.

Desde el punto de vista económico, los comentarios del párrafo anterior indican que (1) la zona II Sur presenta un mayor poten-

**CUADRO 3: Dosis de máximo beneficio y probabilidad de beneficios inferiores al "Umbral". Suelos de fertilidad media (63,8 y 51,1 ppm de nitratos, respectivamente, para las zonas II Norte y II Sur).**

r = Pn/Py	Zona II Norte		Zona II Sur	
	Dosis (kg/ha)	P	Dosis (kg/ha)	P
4	47	,07	75	,04
6	39	,08	55	,06
8	31	,09	35	,08

cial que la II Norte para incorporar la técnica de fertilización y (2) que el "riesgo" de variabilidad de respuesta no parece ser un factor importante en ninguna de las dos zonas.

### CONCLUSIONES

La primera conclusión que surge de este trabajo es que, para las zonas analizadas, no resulta "riesgoso" utilizar fertilizante nitrogenado. Esto sucede pues el fertilizante incrementa los beneficios sin incrementar en forma significativa la variabilidad de estos. Utilizando los conceptos de la teoría de la decisión, puede decirse que los trigos fertilizados "dominan" a los no-fertilizados (Anderson, 1974). La segunda conclusión se refiere a la metodología usada en el análisis.

Existe actualmente poca experiencia en lo referente a evaluación cuantitativa de riesgo de producción. La metodología empleada en este trabajo puede no ser adecuada para evaluar este tipo de problemas: los resultados obtenidos son sin duda llamativos. Al respecto, sería interesante analizar estos mismos datos mediante procedimientos de evaluación de riesgo alternativos (por ej. Anderson, 1973).

### AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a los Ings. Pedro Novello (E.E.R.A. Marcos Juárez) y Luis Barberis (Facultad de Agronomía, U.B.A.) por haber facilitado los datos de ensayos utilizados en este trabajo.

### BIBLIOGRAFIA

- 1) Anderson, J. R., 1973. Sparse Data, Climatic Variability and Yield Uncertainty in Response Analysis. *Amer. Jour. Agric. Econ.* (55) 77-82.
- 2) Anderson, J. R., 1974. Risk Efficiency in the Interpretation of Agricultural Production Research. *Rev. Mktg. Agric. Econ.* 42 (3): 131-184.
- 3) Anderson, J. R.; J. L. Dillon and J. D. Hardaker, 1977. *Agricultural Decision Analysis*. Ed. Iowa.
- 4) Chiang, A. C., 1974. *Fundamental Methods of Mathematical Economics*. New York, McGraw-Hill Inc.
- 5) Day, R. H., 1965. Probability Distributions of Field Crop Yields. *Jour. Farm. Econ.* 47 (3): 713-41.
- 6) Dillon, J. L., 1977. *The Analysis of Response in Crop and Livestock Production* (2da. ed.). Oxford, Pergamon.
- 7) Doll, J. P. y F. Orazem, 1978. *Production Economics: Theory with Applications*. Columbus, Grid Inc.
- 8) Gallacher, G. M., 1982. Análisis Económico de la Fertilización en Trigo: Resultados de la Zona Maicera. Convenio AACREA - Banco de la Nación Argentina-Fundación Banco de la Provincia de Buenos Aires Número 24, 30 pág.
- 9) Gallacher, G. M., 1984. Actitudes hacia el Riesgo: ¿Por qué, para qué y cómo medirlas. Publicación Cátedra de Administración Rural Número 12 (Facultad de Agronomía, U.B.A.), 25 pág.
- 10) Gujarati, D., 1978. *Basic Econometrics*. New York, McGraw-Hill Inc.