

ESTIMACIÓN DE MODELOS DE FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN EN EL CULTIVO DE ALGODÓN PARA DIFERENTES ZONAS DE EXPERIMENTACIÓN¹

ESTIGARRIBIA BARBOZA, M. E.²
GONZÁLEZ, J. D.³

ABSTRACT

The present research work was carried out according to the estimate of cotton production in the different pilot areas with the aim of finding the kind of regression estimated that best fits the data provided by the Project for Cotton Research and Experimentation - PIEA. The tests were conducted in 9 areas in the Eastern Region of Paraguay, using doses of 00 - 150 - 300 - 450 kg/ha of NPK fertilizer. By analyzing the data could be obtained the production function that is best suited to the situation of each locality and through economic analysis, it was possible to determine the optimal amount of fertilizer to maximize the benefits. It was determined that the type of quadratic regression is the most representative in the 8 areas of experimentation, in area of Horqueta have significance the linear regression, also Guayaiby and Mbuyapey, the linear regression presented significance. Of all the pilot areas, the area of Ybycui was the one with better performance with 3,347,12 kg/ha of cotton with the use of 386,1 kg/ha of fertilizer. With the economic analysis it was found that among 9 of the pilot areas, 4 pilot areas got the maximum economic benefit without the use of fertilizer.

Key words: Production function, cotton, regression, optimal fertilizer, optimal economic.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se realizó la estimación de función de producción de algodón en las diferentes zonas experimentales, con el objeto de hallar el tipo de regresión estimada que mejor se ajuste a los datos proporcionados por el Proyecto de Investigación y Experimentación Algodonera - PIEA. Los ensayos fueron realizados en 9 zonas de la Región Oriental del Paraguay, utilizando dosis de 00 - 150 - 300 - 450 kg/ha de fertilizante NPK. Analizando los datos se pudo obtener la función de producción que mejor se adecua a la situación de cada localidad y mediante el análisis económico, se pudo determinar la cantidad óptima de fertilizante que maximizan los beneficios. Se determinó que la regresión del tipo cuadrática es la más representativa en 8 zonas de experimentación, mientras que en la zona de Horqueta fue significativa la regresión lineal, como así también en Guayaiby y Mbuyapey la regresión lineal presentó significancia. De todas las zonas experimentales, la zona de Ybycui fue la que presentó mejor rendimiento con 3.347,12 kg/ha de algodón con la utilización de 386,1 kg/ha de fertilizante. Con el análisis económico se constató que de las 9 zonas experimentales, en 4 de ellas se obtuvo el máximo beneficio económico sin la utilización de fertilizante.

Palabras clave: Función de producción, algodón, regresión, óptimo físico, óptimo económico

1 Parte de la tesis de grado presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Carrera de Ingeniería Agronómica. Departamento de Economía Rural.

2 Ing. Agr. Egresada de la Carrera de Ingeniería Agronómica. Departamento de Economía Rural.

3 Prof. Ing. Agr. Docente a Tiempo Completo. Departamento de Economía Rural. Facultad de Ciencias Agrarias-UNA.

INTRODUCCIÓN

En el Paraguay, el cultivo del algodón desde hace tiempo constituye la principal fuente de ingresos de la mayoría de los agricultores del país; la fibra y los derivados de la industrialización de la semilla constituyen un importante renglón de exportación que genera importantes sumas de divisas y es uno de los pocos rubros de renta que el pequeño productor puede realizar con los recursos a su alcance, es decir utilizando mano de obra familiar, contando con un mercado seguro.

La productividad del algodón depende de numerosos factores, entre los que se destacan: condiciones ambientales favorables, correcta preparación del suelo, siembra en época y con densidad adecuada y un control eficiente de plagas y enfermedades, la fertilidad del suelo cuyo problema principal es la acidez del mismo especialmente en la Región Oriental debido a su uso irracional.

La productividad por superficie y los efectos de la fertilización química se observa a través de la función de producción. La función de producción determina los efectos de insumos variables en la productividad y este permite obtener óptimos físicos y económicos que indicará al productor los niveles de producción que alcanzará mediante la combinación de dichos insumos.

La finalidad de este trabajo es encontrar estimaciones de función de producción que expliquen los datos resultantes de las parcelas de experimentación de las diferentes zonas, a fin de que se puedan establecer nuevas alternativas para elevar la eficiencia en el cultivo de este importante rubro para la economía nacional, de tal modo que el agricultor alodonero obtenga las ventajas de un alto rendimiento y un producto de óptima calidad, lo que redundará en una mayor rentabilidad económica para mantener la buena cotización en el mercado internacional.

En el país alrededor del 70% pertenecen al grupo de pequeños productores y normalmente está constituido por familias campesinas, con pocos recursos en cuanto a insumos, pero por otro lado cuenta con mano de obra familiar disponible (MAG, 2004).

La utilización de cal agrícola y fertilizantes en suelos degradados se considera fundamental para lograr producir grandes cantidades de biomasa, no sólo del cultivo que se fertiliza sino también de los abonos verdes que aprovechan el fertilizante residual. Las dosis de fertilizantes utilizadas deben ser ajustadas basándose en las necesidades de cada finca en particular (Lange, 2004).

Malavolta (1989) y Domínguez & Gros (1992), afirman que la acidez del suelo ejerce una influencia muy clara sobre la asimilación de los elementos por la planta, di-

ficultando el aprovechamiento de los nutrientes que se encuentran en el suelo, siendo la consecuencia el bajo rendimiento de los cultivos.

Los fertilizantes son sustancias que se aplican al terreno para aumentar los rendimientos de la cosechas, al proporcionar uno o más de los elementos que son nutrientes especiales de las plantas (Cook, 1992).

La deficiencia de la fertilidad natural de los suelos en los que se cultiva el algodón se debe principalmente a la pérdida de las materias orgánicas y nutrientes, esa degradación es acelerada cuando se realiza una mala preparación del suelo, que favorece la mineralización excesiva de la materia orgánica y la erosión. Las prácticas inadecuadas como el arranque, la retirada de la parcela y la quema de los rastrojos de algodón evitan el retorno de cantidades importantes de nutrientes de los mismos al suelo (Da Silva, 1995).

La utilización de fertilizante químico en cultivos de algodón en pequeñas propiedades debe constituirse en un aporte complementario destinado a corregir deficiencias de nutrientes en los suelos, de manera que la parcela pueda mantener un nivel de fertilidad satisfactorio. El aumento de la productividad como respuesta a la fertilización química será observado en suelos con niveles medios de materias orgánicas y nutrientes (fósforo, potasio, calcio, magnesio, etc.), con ligera acidez y sin la presencia de elementos tóxicos como el aluminio, hierro y manganeso, en los que se manejaron correctamente los demás factores de producción (MAG, 2005).

Según Samuelson (1984), la función de producción es la relación técnica que nos dice la cantidad máxima de producto que podemos obtener con todas y cada una de las combinaciones de factores productivos específicos. La relación existente entre las cantidades disponibles de los factores (tierra, trabajo, máquinas, abonos), y la cantidad de producto se llama función de producción.

La función de producción tiene como objeto las operaciones físicas que hay que realizar para transformar las materias primas en productos o para la realización de un servicio, por lo tanto la administración de la producción se inclina por la utilización más económica de unos medios (locaciones, maquinaria o recursos de cualquier tipo) por personas (operarios, empleados) con el fin de transformar unos materiales en productos o realizar unos servicios (López, 2001).

Según Guerra (1992), la función de producción se divide en tres etapas:

Etapas: I: ley de rendimientos físicos decrecientes o de proporciones variables, en esta etapa la ley sostiene que si se aplican unidades sucesivas de un factor va-

riable a un conjunto de factores fijos, la producción física total primero aumenta a una tasa creciente.

Etapa II: a medida que se agregan unidades de factor variable, la producción física total aumenta, pero a una tasa decreciente.

Etapa III: la producción llega a un punto máximo, después del cual comienza a disminuir en términos absolutos.

Coll (1998), define la regresión como un procedimiento mediante el cual se trata de determinar si existe o no relación de dependencia entre dos o más variables, es decir, conociendo los valores de una variable independiente, se trata de estimar los valores, de una o más variables dependientes. El conjunto de técnicas que permiten obtener aquellas relaciones matemáticas que mejor expliquen una variable a partir de de otras. La regresión en forma gráfica, trata de lograr que una dispersión de las frecuencias sea ajustada a una línea recta o curva (Murray, 1991).

Según Robles (2003), existen cuatro tipos de regresión que son:

La regresión lineal: $\hat{O}_i = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 X_i + \hat{a}_i$

Regresión lineal múltiple (varias variables): $\hat{O}_i = \hat{a}_0 + \sum \hat{a}_i X_{ip} + \hat{a}_i$

Regresión logarítmica: $\log(Y) = \log(A) + b \log(X)$

Regresión exponencial: $\hat{O}^0 = AXb^0$

Regresión cuadrática: $y = a + b x + cx^2$

Para obtener un modelo de regresión es suficiente establecer la regresión para eso se hace uso del coeficiente de correlación: r , este método mide el grado de relación existente entre dos variables, el valor de r varía de -1 (para correlación lineal negativa perfecta) a 1 (para correlación lineal positiva perfecta) y no explica causalidad ni dependencia, pero en la práctica se trabaja con un valor absoluto de r (Bazán, 1997).

El coeficiente de determinación, o R^2 , se define como la proporción de la variación en Y explicada con la regresión de Y sobre X . El R^2 oscila en valor desde 0 (cuando la ecuación de regresión estimada no explica nada de la variación en Y) a 1 (cuando todos los puntos se sitúan sobre la línea de regresión (Salvatore, 1996).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente estudio se utilizaron los resultados obtenidos a través de las labores de investigación y experimentación realizadas en el marco del Proyecto de Investigación y Experimentación Algodonera (PIEA), bajo la responsabilidad de la Dirección de Investigación Agrícola (DIA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). La investigación fue realizada durante el periodo de tiempo comprendido entre el año 2004-2005.

PIEA desarrolla una amplia gama de actividades conducentes a generar y difundir conocimientos, tecnologías (nuevos cultivares y prácticas mejoradas de producción y materiales propagativos) mediante la ejecución de proyectos específicos que se realizan en el Instituto Agronómico Nacional (IAN), en los Campos Experimentales de San Juan Bautista, Choré, Natalicio Talavera, Tomás R. Pereira, y en las principales áreas algodonereras del territorio nacional.

Las zonas experimentales que fueron seleccionadas para este estudio corresponden a 9 localidades productoras de algodón de la Región Oriental. Estas son: Ybycui, Mbuyapey, Minga Guazú Km. 18, Guayaiby, Puente Kyha, Caaguazú, R.I.3 Corrales, Capitán Miranda y Horqueta.

Los datos utilizados para fines de la presente investigación se obtuvieron a través de fuentes secundarias proveídas por el CIRAD y el IAN.

Para una base teórica se procedió a la búsqueda informaciones en diversas fuentes, para lo cual fueron consultados documentos, revistas científicas, libros, páginas de Internet, boletines estadísticos; además se realizaron consultas a profesionales y a técnicos especialistas de tal manera a obtener un reconocimiento general sobre la producción y manejo del cultivo.

Variable independiente: en la investigación se consideró como variable independiente al fertilizante NPK en dosis de: 00 – 150 – 300 – 450 kg/ha.

Variable dependiente: se tomó como variable dependiente al rendimiento del cultivo de algodón.

Para el análisis de los resultados se utilizó la ecuación de función de producción $Y = f(X)$ y se determinará la función de producción más adecuada a la situación de cada localidad.

Los resultados fueron presentados con el apoyo de cuadros y figuras que faciliten su interpretación utilizando los diferentes tipos de regresión planteando modelos que presenten mejor eficiencia en la utilización del fertilizante de acuerdo a la zona de experimentación y además se logrará determinar la correlación entre las variables de estudio.

Con el análisis económico de los datos de la función de producción se pudo determinar la cantidad óptima de insumos que maximiza el ingreso neto.

Los precios del insumo y del producto fueron necesarios para determinar el nivel de producción que rindió mayores ganancias.

Con los resultados obtenidos en la función de producción se realizaron los respectivos análisis de varianza y como se encontraron diferencias significativas, se procedió a la prueba del estadístico t .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Zona Horqueta

En el primer departamento de Concepción, distrito de Horqueta, en el ensayo 1 realizado sobre suelo encalado, se pudo observar que la función lineal estimada (ver Fig. 1) es la que obtuvo mejor ajuste a los datos que la cuadrática, con un coeficiente de determinación de 0,9001.

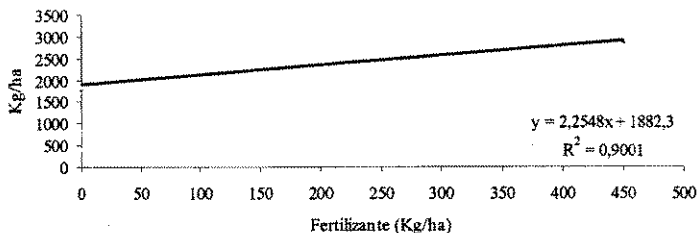


FIGURA 1- Correlación lineal para distintos niveles de fertilización en algodón en la zona de Horqueta.

Para un ensayo de 4 observaciones, la distribución *t* (con $n - 1 = 3$ grados de libertad) y con niveles de significancia del 5% y 1% se obtuvieron valores que se presentan a continuación entre paréntesis en la Tabla 3. Para la regresión cuadrática, estos valores comparados con el valor de *t* de tabla se pudo constatar que la constante es significativa, mientras que los coeficientes estimados que acompañan a *x* y x^2 no son significativos. La constante estimada para la regresión lineal es significativa al 5% y al 1% de probabilidad de error, mientras que el coeficiente estimado para la variable es significativo al 5%, en consecuencia el rendimiento puede ir aumentando a medida que se vayan aplicando otros niveles de fertilizante.

TABLA 1- Parámetros estimados de la regresión.

| Variable | Coefficiente estimado para regresión cuadrática | Coefficiente estimado para regresión lineal |
|-----------|---|---|
| Constante | 1796,77 (9,9639)** | 1882,32 (12,6257)** |
| <i>x</i> | 3,9658 (2,0541) | 2,2548 (4,2442)* |
| x^2 | -0,003802222 (-0,9248) | |

Valores *t* entre paréntesis. * significativo al 5% ** significativo al 1%.

Utilizando la función cuadrática, se obtiene un óptimo de 2.831,5 kg. de algodón en rama con una dosis máxima de 521,81 kg/ha.

Con la misma función, haciendo un análisis económico se comprobó que con la utilización de 178 kg/ha de fertilizante generó el máximo beneficio.

TABLA 2- Producto total, producto medio y producto marginal para diferentes niveles de fertilización.

| Fertilizante | PT | PMe | PMg |
|--------------|------|------|------|
| 00 | 1755 | - | - |
| 150 | 2430 | 16,2 | 4,5 |
| 300 | 2520 | 8,4 | 0,6 |
| 450 | 2853 | 6,34 | 2,22 |

En las respuestas marginales se observa que con cada aumento de una unidad de fertilizante se logró aumentar el rendimiento en 4,5 kg. de algodón por hectárea; a medida que iba aumentando la dosis de fertilizante el aumento en la productividad fue de apenas 0,6 kg.; en la última observación, por cada unidad de fertilizante adicional se tuvo una respuesta de 2,22 kg. de algodón, teniendo en cuenta estos resultados se puede sugerir la realización de nuevos ensayos para confrontar la inconsistencia de los datos.

Zona Guayaiby

En el distrito de Guayaiby, segundo departamento de San Pedro, la ecuación de regresión del ensayo 1, sobre suelo encalado; del tipo cuadrática (ver Fig. 2), fue la que mejor se adaptó a la función de producción de la zona con un coeficiente de determinación de 0,9749.

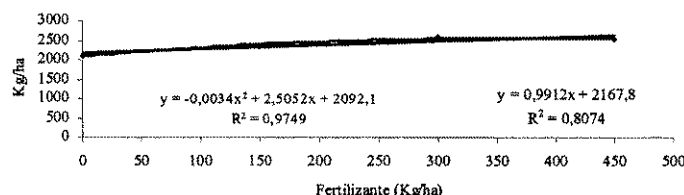


FIGURA 2- Correlación lineal y cuadrática para distintos niveles de fertilización en algodón en la zona de Guayaiby.

Realizando la comparación de los valores calculados con relación a la tabla *t* (ver Tabla 3), se puede constatar que en la regresión cuadrática la constante es significativa tanto al 5% como al 1% de probabilidad de error y la variable presenta significancia al 5% por lo que se necesita ir probando con dosis mayores de fertilizante. Mientras que en la regresión lineal la constante presenta significancia al 5% y al 1% en tanto que la variable no presenta significancia.

TABLA 3- Parámetros estimados de la regresión.

| Variable | Coefficiente estimado para regresión cuadrática | Coefficiente estimado para regresión lineal |
|-----------|---|---|
| Constante | 2092,1 (36,5820)** | 2167,78 (22,5668)** |
| <i>x</i> | 2,5052 (4,09168)* | 0,9912 (2,8956) |
| x^2 | -0,0034 (-2,5803) | |

Valores *t* entre paréntesis. * significativo al 5% ** significativo al 1%.

Mediante la utilización de la función cuadrática, se obtiene un óptimo de 2.553,57 kg/ha de algodón en rama (variedad Agusa) con una dosis máxima de 368,41 Kg/ha de fertilizante.

Haciendo un análisis económico con la misma función, se puede mencionar que la producción del algodón sin fertilizante presentó mayores beneficios económicos.

TABLA 4- Producto total, producto medio y producto marginal para diferentes niveles de fertilización.

| Fertilizante | PT | PMe | PMg |
|--------------|------|-------|-------|
| 00 | 2105 | - | - |
| 150 | 2353 | 15,68 | 1,65 |
| 300 | 2580 | 8,6 | 1,51 |
| 450 | 2525 | 5,61 | -0,36 |

La respuesta marginal revela que el rendimiento fue en aumento con cada aumento de fertilizante en la primera observación, luego con el aumento sucesivo de unidades de fertilizante la productividad fue disminuyendo hasta alcanzar valores negativos, con esto se demuestra la ley de los rendimientos decrecientes.

Zona Caaguazú

En el quinto departamento de Caaguazú, distrito de Caaguazú, el modelo de regresión de tipo cuadrática del ensayo 1 realizado sobre suelo encalado, es el que mejor se ajusta a los datos en comparación a la regresión lineal, teniendo en cuenta que el coeficiente de determinación es de 0,887 mientras que el coeficiente de la lineal es de 0,8152, en la producción del algodón de la variedad Agusa.

Realizando la comparación del ANAVA con relación a la tabla de distribución *t* (ver Tabla 5) se observó en la regresión cuadrática la constante es significativa al 5% de probabilidad de error, mientras que al 1% no presenta significancia y el coeficiente estimado no es significativo al 5% ni al 1%. Para la regresión lineal la constante presenta significancia al 5% y al 1% de probabilidad en tanto que la variable no es significativa en ninguno de los casos.

TABLA 5- Parámetros estimados de la correlación.

| Variable | Coefficiente estimado para regresión cuadrática | Coefficiente estimado para regresión lineal |
|----------------|---|---|
| Constante | 613,05 (5,1423)* | 661,8 (7,1516)*** |
| x | 1,9543 (1,5320) | 0,9793 (2,9698) |
| x ² | -0,0022 (-0,7971) | |

Valores *t* entre paréntesis. * significativo al 5% ** significativo al 1%.

Utilizando la función cuadrática se pudo determinar que con una dosis máxima de 444,159 kg/ha de fertilizante

se obtuvo el óptimo rendimiento con 1.047,06 kg/ha de algodón en rama.

Con la misma función, realizando un análisis económico se logró comprobar que el beneficio máximo alcanzado, corresponde al tratamiento sin fertilizante.

TABLA 6. Producto total, producto medio y producto marginal para diferentes niveles de fertilización.

| Fertilizante | PT | PMe | PMg |
|--------------|------|------|------|
| 00 | 640 | - | - |
| 150 | 775 | 5,16 | 0,9 |
| 300 | 1086 | 3,62 | 2,07 |
| 450 | 1026 | 2,28 | -0,4 |

En las respuestas marginales se observó que en la primera etapa, con cada aumento en una unidad de fertilizante no se lograron resultados positivos en el rendimiento de algodón; a medida que iba aumentando la dosis de fertilizante el aumento en la productividad fue de 2,07 kg.; para luego ir disminuyendo nuevamente incluso a valores negativos, teniendo en cuenta estos resultados se puede sugerir la realización de nuevos ensayos para confrontar la inconsistencia de los datos.

Zona R.I. 3 Corrales

En el departamento de Caaguazú, distrito de R. I. 3 Corrales, en el ensayo 1 (sin aplicación de cal) la regresión de tipo cuadrática es la que mejor respuesta tuvo a la fertilización en el algodón de la variedad DP4049 en comparación a la de tipo lineal, con un coeficiente de determinación de 0,8416 en contra de 0,8203.

Según el análisis de varianza se pudo constatar que tanto para la regresión cuadrática como para la lineal, la constante es significativa al 5% y al 1% de probabilidad de error, mientras que la variable no presenta significancia en relación al estadístico *t* (ver Tabla 7).

TABLA 7- Parámetros estimados de la correlación.

| Variable | Coefficiente estimado para regresión cuadrática | Coefficiente estimado para regresión lineal |
|----------------|---|---|
| Constante | 1403,86 (11,7286)** | 1426,36 (18,4340)** |
| x | 1,2830 (1,0012) | 0,8330 (3,0213) |
| x ² | -0,001 (-0,3664) | |

Valores *t* entre paréntesis. * significativo al 5% ** significativo al 1%.

Con la utilización de la función cuadrática, se obtiene un óptimo de 1.815,48 kg/ha de algodón en rama con una dosis máxima de 641,55 Kg/ha de fertilizante NPK.

Basado en el análisis económico de la misma función, se puede afirmar que la aplicación de fertilizante en

este ensayo no es necesaria, debido a que no genera beneficio económico significativo, sin el uso de fertilizante se obtuvo el óptimo ingreso neto.

TABLA 8- Producto total, producto medio y producto marginal para diferentes niveles de fertilización.

| Fertilizante | PT | PMe | PMg |
|--------------|------|-------|-------|
| 00 | 1376 | - | - |
| 150 | 1656 | 11,04 | 1,86 |
| 300 | 1616 | 5,38 | -0,26 |
| 450 | 1806 | 4,01 | 1,26 |

En las respuestas marginales se observa que con cada aumento de una unidad de fertilizante se logró aumentar el rendimiento en 1,86 kg. de algodón por hectárea; a medida que iba aumentando la dosis de fertilizante disminuyó la productividad y luego para la última observación, volvió a aumentar el rendimiento mediante la aplicación de mayor cantidad de fertilizante, con estos resultados se puede sugerir la realización de nuevos ensayos para confrontar la inconsistencia de los datos.

Zona Puente Kyha (actualmente Caballero Alvarez)

En el décimo cuarto departamento de Canindeyú, distrito de Puente Kyha, en el ensayo 1 realizado sobre suelo encalado, la regresión de tipo cuadrática fue la que mejor se ajustó a los datos obtenidos, con un coeficiente de determinación de 0,7249, en comparación a la regresión lineal cuyo coeficiente es de 0,5314.

Según el análisis de varianza, la constante es significativa al 5% y al 1% de probabilidad de error tanto para la regresión cuadrática como para la lineal, en relación a la t calculada, mientras que la variable no presenta significancia (ver Tabla 9).

TABLA 9- Parámetros estimados de la correlación.

| Variable | Coefficiente estimado para regresión cuadrática | Coefficiente estimado para regresión lineal |
|----------------|---|---|
| Constante | 2465,1 (7,3580)** | 2609,2 (9,8323)** |
| x | 4,3063 (1,2005) * | 1,4243 (1,5061) * |
| x ² | -0,0064 (0,8384) * | |

Valores t entre paréntesis. * significativo al 5% ** significativo al 1%.

Mediante la función cuadrática se puede determinar que la dosis máxima de 336,42 Kg/ha es la que maximiza la producción con un rendimiento de 3.189.48 kg/ha de algodón de la variedad Agusa.

De acuerdo al análisis económico realizado con la misma función, con la dosis de 132 kg/ha de fertilizante se obtuvo el mayor ingreso neto.

TABLA 10- Producto total, producto medio y producto marginal para diferentes niveles de fertilización.

| Fertilizante | PT | PMe | PMg |
|--------------|------|-------|-------|
| 00 | 2542 | - | - |
| 150 | 2736 | 18,24 | 1,29 |
| 300 | 3411 | 11,37 | 4,5 |
| 450 | 3029 | 6,73 | -2,54 |

En las respuestas marginales se observó que en la primera etapa, con cada aumento en una unidad de fertilizante no se lograron resultados positivos en el rendimiento de algodón; a medida que iba aumentando la dosis de fertilizante el aumento en la productividad fue de 4,5 kg.; para luego ir disminuyendo nuevamente incluso a valores negativos, teniendo en cuenta estos resultados se puede sugerir la realización de nuevos ensayos para confrontar los resultados con los otros ensayos.

Zona Capitán Miranda

En el séptimo departamento de Itapúa, distrito de Capitán Miranda, en el ensayo 1 realizado sobre suelo encalado, la función que presentó mejor respuesta es la regresión de tipo cuadrática con un coeficiente de determinación de 0,3945, mientras que la regresión lineal alcanzó un coeficiente de tan solo 0,267.

Comparando los resultados con el estadístico de prueba t se pudo observar que existe diferencia significativa, al 5% y al 1% de probabilidad de error, solamente con la constante no así con la variable para los tipos de regresión lineal y cuadrática (ver Tabla 11).

TABLA 11- Parámetros estimados de la regresión.

| Variable | Coefficiente estimado para regresión cuadrática | Coefficiente estimado para regresión lineal |
|----------------|---|---|
| Constante | 854,95 (10,1363)** | 874,8 (15,5310)** |
| x | 0,5683 (0,6293) * | 0,1713 (0,8536) * |
| x ² | -0,0009 (-0,4587) * | |

Valores t entre paréntesis. * significativo al 5% ** significativo al 1%.

Utilizando, la función cuadrática, se obtiene un óptimo rendimiento de 944,66 kg/ha de algodón en rama, con una dosis máxima de fertilizante de 315,72 Kg/ha en el cultivo de algodón de la variedad Agusa.

En base al análisis económico realizado con la misma función, se puede afirmar que no es conveniente la aplicación del fertilizante en el cultivo del algodón debido a que el óptimo ingreso neto se obtuvo a cero dosis de fertilizante.

TABLA 12- Producto total, producto medio y producto marginal para diferentes niveles de fertilización.

| Fertilizante | PT | PMe | PMg |
|--------------|-----|------|------|
| 00 | 836 | - | - |
| 150 | 978 | 6,52 | 0,94 |
| 300 | 888 | 2,96 | -0,6 |
| 450 | 951 | 2,11 | 0,42 |

Observando las respuestas marginales se pudo constatar que con cada aumento de una unidad de fertilizante se logró aumentar el rendimiento apenas en 0,94 kg. de algodón por hectárea; a medida que iba aumentando la dosis de fertilizante disminuyó la productividad y luego para la última observación, volvió a aumentar el rendimiento mediante la aplicación de mayor cantidad de fertilizante, con estos resultados se puede indicar que la aplicación del fertilizante en este ensayo no fue beneficioso para el cultivo de algodón.

Zona Ybycui

En el noveno departamento de Paraguari, distrito de Ybycui, de acuerdo a la función de producción realizada para el rendimiento del algodón variedad IAN 424 del ensayo 2 sobre suelo encañado, se pudo constatar que el tipo cuadrática es el que mejor se ajusta a los datos de la fertilización, con un coeficiente de determinación de 0,9519; comparando con la regresión lineal cuyo coeficiente de determinación es de 0,8149.

La distribución *t* resultante del análisis de varianza obtuvo valores que se presentan a continuación en la Tabla 13. Estos valores comparados con el valor de *t* de tabla al 5% y 1% de probabilidad de error, presentan significancia para la constante y no presenta significancia para la variable, tanto para la regresión cuadrática como para la lineal.

TABLA 13- Parámetros estimados de la correlación.

| Variable | Coefficiente estimado para regresión cuadrática | Coefficiente estimado para regresión lineal |
|----------------|---|---|
| Constante | 2676,3 (23,0305)** | 2776,9399 (20,0702)** |
| x | 3,3749 (2,7931) | 1,4629 (2,9671) |
| x ² | -0,0045 (-1,6875) | |

Valores *t* entre paréntesis.* significativo al 5% ** significativo al 1%.

Mediante la utilización de la función cuadrática, se obtiene un rendimiento óptimo de 3.347,12 kg de algodón/ha con una dosis máxima de 386,1 kg de fertilizante por hectárea.

En cuanto a los beneficios económicos, con la misma función se determinó que el mayor ingreso neto se obtuvo con la utilización 96 kg/ha de fertilizante.

TABLA 14- Producto total, producto medio y producto marginal para diferentes niveles de fertilización.

| Fertilizante | PT | PMe | PMg |
|--------------|------|-------|-------|
| 00 | 2703 | - | - |
| 150 | 3017 | 20,11 | 2,09 |
| 300 | 3396 | 11,32 | 2,52 |
| 450 | 3308 | 7,35 | -0,58 |

Con las respuestas marginales se determinó que en la primera etapa, con cada aumento en una unidad de fertilizante se logró aumentar el rendimiento de algodón en 2,09 kg/ha, a medida que iba aumentando la dosis de fertilizante el aumento en la productividad fue de 2,52 kg.; para luego ir disminuyendo nuevamente incluso a valores negativos, teniendo en cuenta estos resultados se puede sugerir la realización de nuevos ensayos para comprobar la consistencia de los datos.

Zona Mbuyapey

En el distrito de Mbuyapey, departamento de Paraguari, se pudo observar en el ensayo 1 sobre suelo encañado, que la variedad de algodón Agusa obtuvo mejor rendimiento con el tipo de regresión cuadrática, siendo este modelo el que mejor se ajusta a un conjunto dado de datos con un coeficiente de determinación de 0,972 (ver Fig. 3).

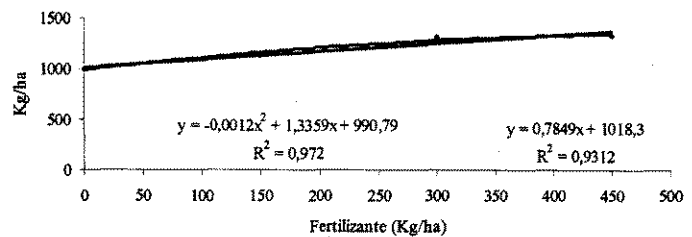


FIGURA 3- Correlación lineal y cuadrática para distintos niveles de fertilización en algodón en la zona de Mbuyapey.

Tanto al 5% como al 1% de probabilidad de error, se pudo constatar que existe significancia para la constante en la regresión cuadrática y también lineal, para la variable existe significancia al 5% y al 1% únicamente en la primera regresión, mientras que en la segunda la variable es significativa solo al 5%, comparando con el valor de *t* tabulado, como la variable presenta significancia, esto sugiere que se deben probar otros niveles de fertilización. (ver Tabla 15).

TABLA 15- Parámetros estimados de la correlación.

| Variable | Coefficiente estimado para regresión cuadrática | Coefficiente estimado para regresión lineal |
|----------------|---|---|
| Constante | 990,79 (44,67039)** | 1018,34 (24,0539)** |
| x | 1,3359 (8,1688)** | 0,7849 (5,2029)* |
| x ² | -0,0012 (2,8065) | |

Valores *t* entre paréntesis.* significativo al 5% ** significativo al 1%.

Con la utilización de 556,62 kg/ha de fertilizante se pudo llegar a obtener un rendimiento óptimo de 1.362,58 kg/ha de algodón.

De acuerdo al estudio económico realizado con la misma función, se verificó que la producción de algodón sin fertilizante fue la que presentó mayor ingreso neto.

TABLA 16- Producto total, producto medio y producto marginal para diferentes niveles de fertilización.

| Fertilizante | PT | PMe | PMg |
|--------------|------|------|------|
| 00 | 1001 | - | - |
| 150 | 1133 | 7,55 | 0,88 |
| 300 | 1312 | 4,37 | 1,19 |
| 450 | 1334 | 2,96 | 0,14 |

Observando las respuestas marginales se pudo constatar que con cada aumento de una unidad de fertilizante se logró aumentar el rendimiento en 0,88 kg. de algodón por hectárea; a medida que iba aumentando la dosis de fertilizante la productividad también iba en aumento y luego para la última observación ya tuvo una disminución.

Zona Minga Guazú

En el ensayo 1 realizado sobre suelo encalado, en el distrito de Minga Guazú Km. 18, del décimo departamento de Alto Paraná, se tuvo un coeficiente de determinación de 0,5401 en el cuadro de regresión cuadrática, la cual fue la que demostró mejor ajuste en relación a los datos del estudio en comparación a la función de regresión lineal, que arrojó un coeficiente de 0,5088.

Según las estimaciones realizadas en los parámetros de las regresiones cuadrática y lineal, se observó que la constante es significativa al 5% y también al 1% de probabilidad de error, siendo la variable no significativa en comparación a la tabla de distribución *t* (ver Tabla 17).

TABLA 17- Parámetros estimados de la regresión.

| Variable | Coefficiente estimado para regresión cuadrática | Coefficiente estimado para regresión lineal |
|----------------|---|---|
| Constante | 1753,49 (6,9973)** | 1787,04 (11,3680)** |
| x | 1,4772 (0,5506) | 0,8062 (1,4393) |
| x ² | -0,0014 (-0,2609) | |

Valores *t* entre paréntesis.* significativo al 5% ** significativo al 1%.

La dosis máxima de fertilizante utilizado en la función cuadrática fue de 492,43 kg/ha de NPK obteniendo así un rendimiento óptimo de 2.117,53 kg/ha de algodón de la variedad Agusa.

Con el análisis económico se pudo observar que sin la aplicación de fertilizante en el cultivo del algodón se obtuvo mayor ingreso neto.

TABLA 18- Producto total, producto medio y producto marginal para diferentes niveles de fertilización.

| Fertilizante | PT | PMe | PMg |
|--------------|------|-------|-------|
| 00 | 1696 | - | - |
| 150 | 2114 | 14,09 | 2,78 |
| 300 | 1890 | 6,30 | -1,49 |
| 450 | 2174 | 4,83 | 1,89 |

En las respuestas marginales se observó que en la primera etapa, con cada aumento en una unidad de fertilizante se logró obtener 2,78 kg de algodón, a medida que iba aumentando la dosis de fertilizante la productividad disminuyó incluso hasta valores negativos, para luego aumentar de nuevo en una pequeña proporción.

CONCLUSIONES

En las condiciones de la presente investigación se pueden realizar las siguientes conclusiones:

- En el primer departamento de Concepción, distrito de Horqueta, la regresión lineal es la que obtuvo mejor ajuste a los datos según el análisis de varianza. Esto sugiere que se deben probar otros niveles de fertilización.
- En el distrito de Guayaiby, segundo departamento de San Pedro, la ecuación de regresión cuadrática fue la que mejor se adaptó a la función de producción de la zona. La producción del algodón sin fertilizante presentó mayores beneficios económicos.
- En el quinto departamento de Caaguazú, distrito de Caaguazú, el modelo de regresión cuadrática es el que mejor representa la función de producción del algodón de la variedad Agusa, teniendo en cuenta el coeficiente de determinación. El beneficio máximo alcanzado corresponde al tratamiento sin fertilizante.
- En el departamento de Caaguazú, distrito de R. I. 3 Corrales, la función de producción de tipo cuadrática fue la que mejor respuesta dio al conjunto de datos referente a la fertilización en algodón de la variedad DP4049, de acuerdo a los resultados del coeficiente de determinación. Según el análisis económico, sin el uso de fertilizante se obtuvo el óptimo ingreso neto.
- En el décimo cuarto departamento de Canindeyú, distrito de Puente Kyha (actualmente Caballero Álvarez), la función de regresión de tipo cuadrática fue la que mejor respuesta tuvo a la fertilización según el coeficiente de determinación hallado. Con la dosis de 132 kg/ha de fertilizante se obtuvo el mayor ingreso neto.

- En el séptimo departamento de Itapúa, distrito de Capitán Miranda, la función que presentó mejor respuesta es la regresión de tipo cuadrática, teniendo en cuenta el coeficiente de determinación. El óptimo ingreso neto se logró sin ninguna dosis de fertilizante.
 - En el noveno departamento de Paraguari, distrito de Ybycui, de acuerdo al cuadro de función de producción trazado para el rendimiento del algodón variedad IAN 424, se pudo constatar que el tipo cuadrática es el que mejor se comporta en respuesta a la fertilización según el coeficiente de determinación. El mayor ingreso neto se obtuvo con la utilización 96 kg/ha de fertilizante.
 - En el distrito de Mbuyapey, departamento de Paraguari, se obtuvo mejor rendimiento con el tipo de regresión cuadrática, aunque la variable fertilizante fue significativa en ambos casos, esto sugiere que se deben probar otros niveles de fertilización. La producción de algodón sin fertilizante fue el que presentó mayor ingreso neto.
 - En el distrito de Minga Guazú Km. 18, del décimo departamento de Alto Paraná, la regresión cuadrática es la que obtuvo mejor ajuste a los datos, según el coeficiente de determinación hallado. Sin la aplicación de fertilizante en el cultivo del algodón se obtuvo mayor ingreso neto.
- LANGE, D. 2004. El algodón en la agricultura de conservación de los pequeños agricultores. Asunción, PY: FAO / GTZ. 62 p.
- LOPEZ, C. 2001. Producción, procesos y operaciones (en línea). Consultado el 12 de oct. 2007. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos28/produccion-procesos/produccion-procesos.shtml>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2004. Programa de asistencia integral para el desarrollo de la agricultura familiar. San Lorenzo, PY: Editorial Artes gráficas – DEAG. 30 p.
- MAG. (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2005. Programa de apoyo al desarrollo de pequeñas fincas algodonerías. San Lorenzo, PY: Dirección de Investigación Agraria - DIA. 65 p.
- MALAVOLTA, E. 1989. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, BR: Agronômica Ceres. 253 p
- MURRAY, R. 1991. Estadística. 2ª ed. México D F, MX: MIG S.A. 546 p.
- ROBLES, D. 2003. Modelos estadísticos: regresión múltiple (en línea). Consultado el 08 de oct 2007. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos30/regresion-multiple/regresion-multiple.shtml>.

LITERATURA CITADA

- BAZAN L, J. M. 1997. Estadística inferencial; Regresión y correlación (en línea). Consultado el 25 de ago. 2007. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos26/estadistica-inferencial/estadistica-inferencial.shtml>
- COOK, G. W. 1992. Fertilización para rendimientos máximos. CECSA. 338 p.
- COLL, S. 1998. Estadística aplicada a la historia y a las ciencias sociales. Madrid, ES: Pirámide Ediciones. 540 p
- DASILVA, N. M.; CARVALHO, L; CIA, E. 1995. Nutrição e adubação do algodoneiro. Potafos, BR: Arquivo do Agrônomo. N° 8. 24 p.
- DOMINGUEZ, A.; GROS, A. 1992. Abonos: guía práctica de la fertilización. 8ª ed. Madrid, ES: Mundi – Prensa. 450 p.
- GUERRA, G. 1992. Manual de Administración de Empresas Agropecuarias. 2ª ed. San José, CR: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 579 p
- SALVATORE, D. 1996. Econometría. Trad por Jorge Celis Sarmiento. México DF, MX: McGraw – Hill. 201 p.
- SAMUELSON, P. 1984. Economía. 11ª ed. México D F, MX: McGraw – Hill. 957 p.