Cultivos Tropicales 19(2):59-63, 1998

ESTUDIO SIMULADO DE TRES MÉTODOS DE AJUSTE EN UN DISEÑO AUMENTADO MODIFICADO

R. Morejón y A. Caballero

ABSTRACT. It is a simulation study of the adjustment method using row and column correlations estimated by control plots, fertility level adjustment calculated from the corresponding control value observed and the one dealing with the fertility index as a concomitant variable by a regression analysis adjustment, with the aim of controlling soil heterogeneity employing control plots in a Latin Square for a Modified Augmented Design (DAM). The most efficient method was row-column in those maps where soil fertility varies uniformly; otherwise, in random heterogeneity the Latin Square is not recommendable as a standard design. The correlation coefficient by Spearman's range is a useful approach to evaluate effectivity among different adjustment methods. The application of DAM enables to achieve a greater selection efficiency of a big amount of test lines surpassing the restrictions of a nonreplicated experiment, which presuposes an economical benefit as a result of an area reduction and experimental material saving.

Key words: modified augmented design, adjustment method, breeding, selection

RESUMEN. Se estudió, por simulación, el método de ajuste que utiliza las correlaciones de hileras y columnas, estimadas por las parcelas control, el ajuste por un nivel de fertilidad calculado del valor observado del control correspondiente, y el que trata el índice de fertilidad como una variable concomitante para ajustar por un análisis de regresión, todos con el objetivo de controlar la heterogeneidad del suelo, usando parcelas control en un Cuadrado Latino, para un Diseño Aumentado Modificado (DAM). El ajuste por el método hilera-columna fue el más eficiente en aquellos mapas donde la fertilidad del suelo varía uniformemente y en casos contrarios, de heterogeneidad aleatoria, no es recomendable la utilización del cuadrado latino como diseño estándar. El coeficiente de correlación por rango de Spearman es una vía útil para evaluar la efectividad entre los diferentes métodos de ajuste. El uso del DAM contribuye a lograr una mayor eficiencia en la selección de una cantidad considerable de líneas de prueba y supera las limitaciones de un experimento no replicado, lo que presupone un beneficio económico por la reducción de área y el ahorro de material experimental.

Palabras clave: diseño aumentado modificado, métodos de ajuste, mejoramiento genético, selección

1046

INTRODUCCIÓN

En las primeras etapas de selección para la obtención de nuevas variedades, existen tres aspectos donde la estadística juega un papel importante: el comportamiento diferenciado de los genotipos en diferentes ambientes, el gran número de individuos que participan en la selección y el escaso material experimental del que se dispone, que pueden incrementar la magnitud y complejidad de estos.

Los diseños experimentales aplicables en etapas de selección poseen ventajas y desventajas en cuanto a economía y precisión; de ellos, los diseños de bloques completos no resultan aptos para experimentos con muchas variantes, ya que se tornan muy extensos y no garantizan un control de la heterogeneidad ambiental. Por otra parte, los diseños de bloques incompletos, entre ellos los Látice, que a pesar de su complejidad ofrecen cierta exactitud, eliminan fuentes de error sistemático y utilizan un número inferior de réplicas que los de bloques completos.

R. Morejón, Investigador de la Estación Experimental de Arroz "Los Palacios"; Dr. A. Caballero, Investigador Auxiliar del departamento de Matemática Aplicada, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba.

Federer (1956) propuso un diseño y lo denominó Diseño Aumentado, cuya idea básica era incluir líneas controles, de las cuales se dispone suficiente material experimental, que se repiten en un diseño modelo. Cada parcela de prueba está rodeada por dos, tres o cuatro parcelas controles, lo que hace que este diseño sea poco práctico, ya que el 50 % del área experimental está ocupada por las parcelas controles.

En 1983, Lin y Poushinsky dan una información sobre la misma idea del diseño de Federer, un diseño al cual nombraron Diseño Aumentado Modificado (DAM) más flexible, por su ubicación en el campo y ofrecen una forma conveniente de medir la heterogeneidad ambiental, lo que permite el ajuste de las líneas de prueba a través de líneas controles.

En Cuba, Vega (1993), en caña de azúcar, Varela *et al.* (1994) y María E. González *et al.* (1995), en papa, usaron el DAM en los programas de selección y obtuvieron resultados importantes.

Este trabajo se realizó con el fin de obtener información del comportamiento de tres métodos de ajuste para controlar la heterogeneidad del suelo y, de esta forma, dar a conocer las bondades del DAM, para su posterior generalización en la selección de líneas de prueba en los programas de mejoramiento genético de nuestro país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo siguió el procedimiento descrito por Lin, Poushinsky y Jui (1983).

El Diseño Aumentado Modificado se estructuró mediante un Cuadrado Latino 3x3, con tres líneas controles, dos subparcelas controles por cada línea control y 66 líneas de prueba, cuyos valores genéticos se establecieron a priori, distribuidas al azar en las subparcelas de prueba.

En este caso y a diferencia de Lin y Poushinsky, se generaron los valores genéticos de las líneas controles, en lugar de usar líneas establecidas, a partir de un modelo de diseño Cuadrado Latino.

$$Z_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_k + e_{ijk},$$

donde μ es la media general de las 66 líneas de prueba, α_i es el efecto de tratamiento (valores igualmente espaciados y centrados), β_j y τ_k los efectos de fila y columna, respectivamente, los cuales no se tomaron en consideración para que las líneas controles no percibieran de antemano estos efectos, que solo podría brindar el terreno donde se realice el experimento, y e_{ijk} los errores experimentales, que igualmente se centraron.

Se crearon siete mapas tipo de fertilidad de suelo, como se muestran en la Figura 1: tres de ellos (mapas 1, 5 y 6) donde la heterogeneidad del suelo varía uniformemente en un solo sentido, otros dos (mapas 2 y 3) en los cuales existen variaciones irregulares y para explorar un posible límite superior de heterogeneidad del terreno se concibieron los mapas 4 y 7 generados, los gradientes de fertilidad por cada parcela, de forma aleatoria.

Al tener los 81 valores genéticos correspondientes a cada una de las líneas, se simularon sus comportamientos en los diferentes mapas de fertilidad creados utilizando el modelo:

$$Y_{irck} = \mu_i + \phi_{rck} + e_{rck}$$

donde Y_{irck} es la respuesta de la i-ésima línea en la k-ésima subparcela de la parcela principal en la r-ésima fila y c-ésima columna, μ_i es el valor genético de la i-ésima línea, P_{rck} es el nivel de fertilidad de la k-ésima subparcela en la r-c parcela principal y e_{rck} es el error aleatorio.

Los valores de los niveles de fertilidad (ϕ), expresados por números naturales del 1 al 9 y centrados para eliminar los efectos del mapa, se tomaron de los siete mapas de fertilidad del suelo, y los valores de e se generaron usando números aleatorios distribuidos N (0.1).

Con el objetivo de lograr una mayor generalidad en los resultados, se estandarizaron los datos de la variable en estudio utilizando valores de varianzas experimentales a partir de coeficientes de variación del 5, 10, 15 y 20 % y la media general de las 81 líneas, creándose así una metodología de trabajo, que podrá ser usada con independencia del cultivo y la unidad con que se mida la variable en estudio.

Los métodos de ajuste estudiados fueron los mismos que utilizaron Lin y Poushinsky en 1983.

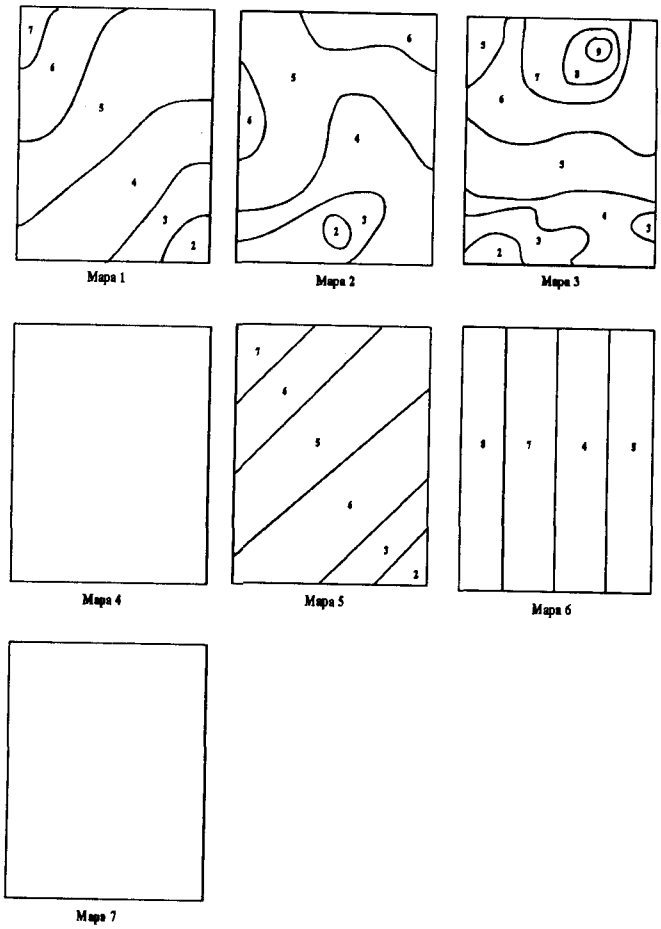

Figura 1. Mapas de fertilidad de suelo

Método 1:

$$Y'_{ijk} = Y_{ijk} - R_i - C_j$$

donde R_i y C_j son correlaciones de hilera y columna definidas como:

$$R_i = \sum_j X_{ij}/p - \sum\sum X_{ij}/p^2, \qquad C_j = \sum_i X_{ij}/p - \sum\sum_{ij} X_{ij}/p^2$$

Y_{ijk} el valor observado de la línea de prueba en la parcela principal de la hilera i-ésima (i = 1,...,p); la columna j-ésima (j = 1,...,p) y la subparcela k-ésima (k = 1,...,8), y X_{ij} es el valor de la línea de control en la parcela principal ij-ésima.

Método 2:

$$Y'_{ijk} = Y_{ijk} - (X_{ij} - X_L),$$

donde $(X_{ij} - X_L)$ es un índice de fertilidad calculado a través de las líneas controles y X_L representa la media de las tres subparcelas controles pertenecientes a la línea de control L.

Método 3:

$$Y'_{ijk} = Y_{ijk} - b(X_{ij} - X_L),$$

donde $(X_{ij} - X_L)$ es tratado como una variable concomitante, para realizar el ajuste por un análisis de regresión y b es el coeficiente de regresión.

Se determinó la eficiencia relativa de cada método con respecto al no ajuste mediante la expresión:

$$ER(\text{método m}) = \frac{\sum_{i=1}^{66}(Y_{irck} - \mu_i)^2}{\sum_{i=1}^{66}(Y'_{irckm} - \mu_i)^2} \times 100\ \%$$

donde Y'_{irckm} es el valor ajustado de Y_{irck}, según el método m.

Además, se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman (Mood y Graybill, 1969) a partir de los datos ajustados por cada método respecto al valor original de cada línea, para conocer la variación de rango después del ajuste.

Para el procesamiento de la información se elaboró un programa en *Microsoft FoxPro* versión 2.6 para *Windows*, el cual necesita como datos de entrada los valores genéticos de las líneas, el grado de fertilidad del suelo por subparcelas, y el valor de la varianza del error experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla I ofrece los resultados correspondientes a los análisis de varianza efectuados a partir del diseño cuadrado latino, que conformaban las parcelas control.

En los mapas 1, 5 y 6, donde se manifiesta un comportamiento sistemático de la fertilidad del suelo en hileras y columnas, los análisis de varianzas señalan una influencia significativa de estos efectos cuando la varianza del error experimental ($\sigma_e 2$) es pequeña, no así cuando esta aumenta. Ello puede estar asociado a la poca cantidad de grados de libertad que aporta este diseño en la estimación de los cuadrados medio correspondientes. Similares resultados encontraron Schaalje, Lynch y Kozub (1987) en algunos de sus ensayos.

En estos propios mapas de suelo, el cuadrado medio del error en la parcela principal ($\sigma_w 2$) es siempre menor que el error de subparcela ($\sigma_s 2$). Este aspecto unido al anterior, advierte lo conveniente que pudiera resultar una corrección del comportamiento observado de las líneas de prueba.

Para los mapas 4 y 7, donde la diferencia en fertilidad se presenta de forma aleatoria, el análisis de varianza no señala un efecto significativo de filas y columnas; sin embargo, los cuadrados medio del error mayores a los correspondientes errores de subparcela, confirman la gran variabilidad existente en el terreno.

Al igual que los dos anteriores, en los restantes mapas (2 y 3) no resultaron significativos los efectos de filas y columnas; ello señala la no existencia de una variación de la fertilidad del suelo en estos dos sentidos de clasificación. No obstante, el cuadrado medio del error de la parcela principal mayor al error de subparcela, indica la presencia de una alta heterogeneidad de la fertilidad del terreno.

Es importante destacar que en los mapas 2, 3, 4 y 7, donde la variación del suelo es multidireccional, los componentes de varianza de las filas o columnas presentan valores negativos, lo cual advierte lo inapropiado que resultó la utilización del cuadrado latino en estos casos (Snedecor, 1971).

En la Tabla II se presentan la varianza de los valores de fertilidad ($\sigma_p 2$), la desviación típica del error experimental (σ^2), el porcentaje de variación ambiental total atribuido al suelo (Rp^2), así como los valores de la eficiencia relativa de los tres métodos de ajuste comparados con el no ajuste.

De forma general, la varianza de los valores de fertilidad no experimenta grandes cambios entre los diferentes mapas, excepto para aquellos suelos que presentan un comportamiento totalmente aleatorio de la fertilidad (mapas 4 y 7) y el tercero que no presenta una distribución bien definida de filas y columnas.

Tabla I. Resultados del ANOVA basados en las parcelas y subparcelas controles del diseño aumentado modificado

MAPA	σ_E	CMR	CMc	σ_w^2	σ_s^2	σ_R^2	σ_c^2	σ^2
1	0.34	23.0325	18.0586	0.9463	1.5147	7.3620	5.7041	14.0124
	0.70	7.3238	3.5695	0.7408	0.8726	2.1943	0.9429	1.2926
	1.03	3.6297	0.6791	0.6562	0.7100	0.2187	0.0076	0.8825
	1.40	4.6381	1.3927	0.6845	0.7561	1.3178	0.2360	2.2383
2	0.34	35.1159	7.7033	8.4947	5.9610	8.8770	-0.2638	17.1079
	0.70	10.3979	2.1698	2.9521	2.4957	2.4819	-0.2607	5.1733
	1.03	6.1965	1.2211	1.8893	1.7508	1.4357	-0.2227	3.1022
	1.40	4.5070	0.8365	1.4182	1.3947	1.0290	-0.1939	2.2539
3	0.34	121.789	4.6400	10.3830	5.6245	37.1354	-1.9143	45.6041
	0.70	30.1684	0.9485	2.4503	2.1774	9.2393	-0.5006	11.1890
	1.03	15.0404	0.4457	1.2565	1.5026	4.8649	-0.2702	5.8511
	1.40	9.1198	0.2887	0.8324	1.1990	2.7624	-0.1812	3.4135
4	0.34	8.9271	25.9853	31.7283	64.7811	-7.6004	-1.9143	22.2135
	0.70	4.5712	0.0654	8.9864	14.8659	-1.4717	-0.9736	6.5410
	1.03	3.6538	2.8434	4.9102	6.8264	-0.4188	-0.6889	3.8025
	1.40	3.2210	1.6073	3.1956	3.7551	0.0084	-0.5294	2.9745
5	0.34	16.7499	12.5950	0.1524	1.9221	5.5325	4.1475	9.8324
	0.70	5.6696	2.6228	0.1318	1.0813	1.8459	0.8303	2.8080
	1.03	3.8450	1.1333	0.2259	0.9020	1.2063	0.3024	1.7346
	1.40	3.1325	0.6089	0.2990	-0.8168	0.9445	0.1033	1.3468
6	0.34	2.3246	54.3185	0.5794	9.1669	0.5817	17.9130	19.0741
	0.70	2.3245	11.4239	0.5795	2.9796	0.5816	3.6148	4.7759
	1.03	2.3246	4.7570	0.5794	1.8589	0.5817	1.3925	2.5536
	1.40	2.3245	2.3025	0.5794	1.3833	0.5817	0.5743	1.7354
7	0.34	31.1713	93.7243	33.5141	152.779	-0.7809	20.0700	52.8232
	0.70	3.8507	23.8410	7.6926	38.1459	-1.2806	5.3828	11.7948
	1.03	0.7942	11.8131	3.5869	18.6484	-0.9309	2.7420	5.3980
	1.40	0.1397	6.9237	2.0385	10.8030	-0.6329	1.6284	3.0340

En el porcentaje de variación ambiental total atribuido al suelo, dado por:

$$R_p^2 = \sigma_p^2 / (\sigma_e 2 + \sigma_p^2),$$

se observa que este aumenta en la medida que disminuye la varianza del error experimental, notándose los mayores porcentajes en aquellos mapas donde los niveles de fertilidad se distribuyeron de forma aleatoria.

En cuanto a la eficiencia relativa de los métodos con respecto al no ajuste en los mapas 1, 5 y 6, donde la variación de la heterogeneidad del suelo es uniforme y el cuadrado medio del error en la parcela completa es mayor que el error entre subparcelas, es siempre más factible ajustar, siendo el ajuste por fila-columna el más efectivo.

A pesar de que en los mapas 2 y 3 un ajuste de fila-columna es, generalmente, más apropiado que un no ajuste, según la Tabla II, para estos casos el diseño cuadrado latino no es de uso conveniente.

En los casos de mapas de una fertilidad del suelo aleatoria, donde las componentes de varianza de los efectos de filas y columnas correspondientes al diseño eran negativos, no se puede hablar de una eficiencia de los ajustes respecto al no ajuste.

Para verificar la efectividad del ajuste y hacer énfasis en lo importante de una buena elección, en la Tabla III se muestran los coeficientes de correlación de Spearman para conocer las correlaciones entre los datos ajustados por los diferentes métodos y los valores genéticos de las líneas de prueba.

Los valores de correlaciones más altas se obtuvieron en los mapas 1, 5 y 6, entre los datos ajustados por el método de fila-columna y los valores verdaderos de las líneas de prueba, lo que corrobora que este método es el más adecuado en los casos de una variación uniforme de la fertilidad del terreno.

En el resto de los mapas, los rangos de las líneas de prueba sufrieron un mayor cambio al ser ajustadas, siendo más significativa esta diferencia en los mapas de fertilidad aleatoria, lo que reafirma la no efectividad de un ajuste por ninguno de los tres métodos.

Esto nos demuestra que líneas de prueba que resulten seleccionadas por un método no tienen que serlo por otro, y en ello radica la importancia de una buena elección del método de ajuste.

Se concluye así que el coeficiente de correlación de Spearman es una vía útil, la cual recomendamos para evaluar la efectividad entre los diferentes métodos de ajuste.

Dado que las correcciones son realizadas a partir de la información suministrada por los controles, resulta de extrema importancia la utilización de testigos con características específicas, es decir, aquellos que por naturaleza sean poco variables.

Los resultados obtenidos permiten establecer el ajuste fila-columna como el más eficiente, cuando el gradiente de fertilidad del suelo varía relativamente uniforme en una o dos direcciones.

En este trabajo también se evidenció que cuando la variación de la fertilidad del suelo es aleatoria, no es recomendable la utilización del cuadrado latino en el DAM.

Tabla II. Eficiencia relativa de los tres métodos de ajuste comparados con el no ajuste

Mapa	σ_p^2	σ_E	R_p^2	1	2	3
1	1.29	0.34	91.77	**104.70**	103.38	84.58
		0.70	72.47	92.32	**182.06**	28.29
		1.03	54.87	**100.40**	98.54	92.55
		1.40	39.69	**104.25**	101.85	75.99
2	1.31	0.34	91.89	103.12	**112.46**	78.00
		0.70	72.77	147.38	**153.23**	27.24
		1.03	55.25	**103.51**	92.71	78.82
		1.40	40.06	**100.33**	93.99	98.38
3	2.95	0.34	96.22	**111.90**	99.82	78.59
		0.70	85.75	**311.82**	158.35	32.87
		1.03	73.55	**119.36**	114.11	64.66
		1.40	60.08	**104.45**	103.49	86.01
4	6.35	0.34	98.21	99.21	90.24	94.19
		0.70	92.83	90.80	90.91	61.85
		1.03	85.68	92.91	101.92	94.06
		1.40	76.41	96.28	101.57	88.40
5	1.09	0.34	90.42	103.77	**106.16**	85.09
		0.70	68.98	**173.64**	171.55	30.10
		1.03	50.67	**102.98**	97.22	82.81
		1.40	35.73	**100.01**	96.44	97.57
6	1.13	0.34	90.71	**103.78**	100.02	71.66
		0.70	69.75	114.74	**163.72**	14.28
		1.03	94.88	100.79	**103.81**	57.92
		1.40	36.56	**100.01**	99.58	84.70
7	7.06	0.34	98.38	92.10	92.24	58.29
		0.70	93.50	79.27	79.00	32.25
		1.03	86.93	89.85	87.75	56.28
		1.40	78.27	96.14	93.93	83.10

Tabla III. Correlaciones de Spearman entre los valores genéticos y los ajustados por cada método

Mapa	σ_E	1	2	3
1	0.34	0.93	0.90	0.53
	0.70	0.96	0.95	0.91
	1.03	0.98	0.99	0.97
	1.40	0.86	0.87	0.76
2	0.34	0.95	0.93	0.96
	0.70	0.88	0.91	0.72
	1.03	0.67	0.68	0.24
	1.40	0.63	0.63	0.33
3	0.34	0.96	0.87	0.80
	0.70	0.95	0.91	0.78
	1.03	0.80	0.74	0.48
	1.40	0.73	0.61	0.70
4	0.34	0.51	0.53	0.51
	0.70	0.70	0.71	0.70
	1.03	0.97	0.98	0.96
	1.40	0.93	0.94	0.94
5	0.34	0.97	0.96	0.77
	0.70	0.97	0.97	0.87
	1.03	0.87	0.87	0.70
	1.40	0.94	0.93	0.82
6	0.34	0.94	0.95	0.55
	0.70	0.90	0.91	0.63
	1.03	0.99	0.98	0.94
	1.40	0.90	0.93	0.83
7	0.34	0.79	0.79	0.76
	0.70	0.92	0.92	0.83
	1.03	0.92	0.92	0.87
	1.40	0.71	0.69	0.65

Recomendamos explorar la posibilidad de usar otros diseños experimentales, para cubrir las situaciones donde la fertilidad del terreno no sea sistemática y estudiar otros métodos de ajuste y posibles combinaciones de ellos.

De esta forma, el diseño aumentado modificado permite probar una cantidad considerable de líneas de prueba sin necesidad de ser replicadas, pues solamente es indispensable un estudio eficiente acerca de la heterogeneidad del suelo a través de distintos métodos de ajuste, encaminado a favorecer líneas de prueba que en un momento dado presenten alguna incidencia de tipo ambiental, evitando así su posible eliminación del programa de selección.

REFERENCIAS

Documentación de Microsoft FoxPro versión 2.6 para Windows.

Federer, W. T. Augmented (or Hoouiaku) designs. Hawaiian Planter's Record 55:191-208, 1956.

González, María E. /et al./. Uso del diseño aumentado modificado para la selección en las etapas tempranas del programa de mejoramiento de papa. Cultivos Tropicales 2:63-65, 1995.

Lin, C. S., G. Poushinsky y P. Y. Jui. Simulation study of three adjustment methods for the modified augmented design and comparison with the balanced lattice square design. Journal of Agricultural Science 100:527-534, 1983.

Lin, C. S. y G. Poushinsky. A modified augmented design for an early stage of plant selection involving a large number of test lines without replication. Biometrics 39:553-561, 1983.

Mood, A. M. Introducción de la teoría de la estadística. /A. M. Mood, F. A. Graybill.- Madrid. Ed. Aguilar, 1969.- 491 p.

Schaalje, G. B., D. R. Lynch y G. C. Kozub. Field evaluation of a modified augmented design for early stage selection involving a large number of test lines without replication. Potato Research 30:35-45, 1987.

Snedecor, G. W. Métodos estadísticos. /G. W. Snedecor, W. Cochran.- Madrid : Editorial Continental, 1971.

Varela, M. /et al./. Uso del diseño aumentado modificado en la selección de líneas no replicadas de papa. Cultivos Tropicales 1:94-96, 1994.

Vega, A. Evaluación de algunos aspectos relacionados con la etapa intermedia de selección de la caña de azúcar en Cuba. /A. Vega.- Tesis de grado (Dr. en Ciencias Agrícolas); INCA, 1993.- 100 p.

Recibido: 1 de diciembre de 1997
Aceptado: 9 de enero de 1998

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

MAESTRÍA

"Nutrición de las plantas y biofertilizantes"

Duración: 2 años
Fecha de comienzo: febrero
Precio: 2500.00 USD
Coordinador: Dr. Ramón Rivera Espinosa

Para más información diríjase a:

Dr. Walfredo Torres de la Noval
Dirección de Educación y Relaciones Públicas
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA)
Gaveta Postal 1, San José de las Lajas,
La Habana, Cuba CP 32700
Telf: (53)(64) 6-3867, 6-3773
Fax: (53)(64) 6-3867
e-mail: inca@ceniai.cu
inca@reduniv.edu.cu