

TURRIALBA

REVISTA INTERAMERICANA DE CIENCIAS AGRICOLAS

VOLUMEN 35

TRIMESTRE ABRIL-JUNIO 1985

NUMERO 2

CODEN: TURRAB 35(2) 109-206

<i>Estudios sobre la germinación de Cola acuminata (P. Beauv) (Schott and Endlicher) (en inglés)</i> A. O. Oladokun	109
<i>Cultivos asociados en climas templados y fríos de Bolivia (en español)</i> F. Augstburger	117
<i>Incidencia del estado de madurez sobre el contenido de ácido tánico en el grano de sorgo (en español)</i> O. J. Rubiolo, N. B. Reinaudi, R. M. de Troiani, J. Vaquero, R. A. Domínguez	127
<i>Características químicas y mineralógicas de suelos ácidos seleccionados del Estado de Paraná, Brasil (en inglés)</i> M. A. Pavan, F. T. Bingham, P. F. Pratt	131
<i>Cambios en el nitrógeno del suelo, crecimiento inicial y respuesta al drenaje interno del suelo de una plantación de Alnus jorullensis en las tierras altas de Colombia (en inglés)</i> P. J. Carlson, J. O. Dawson	141
<i>Altura total, diámetro altura de pecho y factor de forma para Pinus oocarpa Schi., en Siguatepeque, Honduras (en español)</i> F. Castañeda, A. Jélvez	151
<i>Efecto de la radiación solar sobre algunas características fisicoquímicas del grano de frijol (Phaseolus vulgaris L.) observaciones preliminares (en español)</i> A. García, R. Bressani	155
<i>Diferencias en nodulación y producción de grano de la soya al inocular suelo o semilla (en español)</i> M. Valdes, J. F. Aguirre, M. Velázquez	159
<i>Maduración de semillas de sorgo sacarino (en portugués)</i> J. Nakagawa, R. Berbel Jr. J. R. Machado, C. A. Rosolem	165
<i>Evaluación de la capacidad de resistencia a la sequía de la caña de azúcar (en inglés)</i> L. T. S. Gerald, O. O. S. Bacchi, S. Matsuoka	173
<i>Selección de especies forrajeras para corte adaptadas a suelos ácidos de baja fertilidad en un Ultisol de Colombia (en español)</i> L. E. Tergas, G. A. Urrea	179
<i>Efecto de niveles de carbohidratos no-estructurales totales en el rebrote de Stylosanthes capitata Vog (en español)</i> R. Trejos, R. Borel	187
<i>Comunicaciones</i>	197
<i>Aplicación foliar de fertilizantes en caraota (Phaseolus vulgaris L.) (en español)</i> B. Añez, E. Tavira	197
<i>Características estomatales, citocininas endógenas e inhibidores tipo ABA en gandul y ajonjolí en salinidad de NaCl (en inglés)</i> G. Gururaja Rao, G. Rajeswara Rao	201
<i>Reseña de libros</i>	116, 125, 130, 139, 158, 164, 172, 178, 207, 208
<i>Notas y comentarios</i>	171



INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

San José, Costa Rica

CR ISSN 0041 - 4360

Resumen

Se realizó una serie de experimentos para estudiar la germinación de las semillas de Cola acuminata (P. Beauv) (Schott y Endlicher). Se encontró que las semillas almacenadas germinaron más rápido que las frescas y que el peso de la nuez, el número de cotiledones por nuez y su interacción influyeron significativamente en la germinación. El color de la nuez no afectó significativamente la germinación aunque las nueces rosadas germinaron más rápido que las blancas. El mejor ámbito de temperatura para la germinación fue de 25 a 35°C.

Introduction

Germination in kola nuts is influenced by numerous factors. Maturity status of the nuts when harvested influences germination of *C. nitida* as immature nuts germinate poorly compared to fully matured nuts (2). Stored *C. nitida* nuts have been found to germinate better and faster than fresh ones (1, 7, 13). This storage advantage operates irrespective of pre- or post-sowing treatments.

Effect of colour on germination of *C. nitida* nuts has been reported by van Eijnatten (6) who stated that white nuts usually germinate quicker than the red nuts. *C. acuminata* nuts also occur in red, pink and white colours but the relative influence of colour on their germination has not been reported.

The effects of the environmental factors of light and temperature have not been investigated in detail. Reports of the effects of light on germination of *C. nitida* are conflicting. High temperature, i.e. above 35°C is detrimental to germination of *C. nitida* nuts (1, 3, 7) while continuous temperature of 30°C gave the best results (13). No known record exists on the effects of the foregoing factors on germination of *C. acuminata*.

Nut weight is another factor which has been found to influence germination of both *C. nitida* and *C. acuminata* nuts. While Clay (3) and van Eijnatten and Quarcoo (8) found no significant effect of nut weight on germination of *C. nitida* but Ashiru (1), Dublin (4), Ibikunle and MacKenzie (13) reported an increase in germination with increases in nut weight. However, the role of nut weight *per se* in the earliness of germination becomes questionable with the report of Brown and Afrifa (2) that cutting off about half of the *C. nitida* nut accelerated germination of the cut nuts ahead of the whole nuts although it led to some delay in initial growth after germination.

Unlike *C. nitida*, the nuts of which have two cotyledon (occasionally one or three), *C. acuminata* nuts generally have two to six cotyledons but sometimes one or seven cotyledons (14). Variability in cotyledon number has however been found to influence germination (12), the fastest germinating nuts are those with four or five cotyledons.

This paper reports the findings on the effects of storage, nut weight, and cotyledon number, nut colour and temperature on germination of *C. acuminata* nuts.

Materials and methods

The sowing medium for all the germination trials reported herein was wet sawdust in germinating trays measuring 122 x 122 x 15 cm except for the trial

¹ Received for publication in January 22, 1984.

* Cocoa Research Institute of Nigeria PMB 5244, Ibadan, Nigeria.

designed to study the temperature effect on germination which was carried out in cooled Gallenkamp incubators. The trays were covered with a transparent polythene sheet of 0.062 mm thickness to conserve moisture. Watering was done from time to time as the need arose. Daily records of seedling emergence were kept except in the temperature trial where a nut was regarded to have germinated with the emergence of the radicle. Median time (T_m), the number of days required to obtain fifty percent germination, was recorded and was used to evaluate the rate of germination of the nuts.

Storage and nut weight

Nuts purchased in Ibadan (Oja Oba) and fresh ones from the rural areas in Oyo State were sorted out into nut weight classes as follows: 1-5, 6-10, 11-15, 16-20, 21-25, 26-30 and 31-35 g. They were then sown in the germinating tray at the rate of 10 nuts per nut weight class. There were five replicates for each nut weight class in both stored and fresh nut trials. These were laid out in a randomised complete block design. Each experiment was run twice.

Nut weight and cotyledon number

The nuts were sorted into nut weight classes as reported above. Each nut weight class was also sorted out into various nut cotyledon number classes. Effect of these two factors was simultaneously tested in a factorial trial of 1-5, 6-10, 11-15, 16-20, 21-25, 26-30 g size at 2, 3, 4 and 5 cotyledon number combinations. There were 10 nuts per replicate and a Randomised Complete Block design was used. The experiment was run twice.

Nut colour

Fresh 16-20 g weight nuts were sorted out into red, pink and white colours. Ten nuts of each colour were sown per replicate. Five replicates were used in the first trial but owing to insufficient experimental material, only four replicates were used in the repeat trial. The first trial was run at the nursery of the Cocoa Research Institute of Nigeria, Gambari Experimental Station, Ibadan, while the repeat trial was done at the green house of the Agricultural Biology Department of the University of Ibadan. Randomisation in both trials was in Graeco Latin pattern.

Temperature

Ten four-cotyledon nuts weighing 10-20 g were randomly selected and put in a transparent polythene bag of 0.025 mm thickness. Twenty-eight of these bags were numbered. Seven different treatment

investigated in cooled Gallenkamp incubators model N. IH/287 were 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40°C. Into each polythene bag water was sprayed to wet the inside using a hand sprayer (45 strokes for each bag) and each bag was sealed with cello tape. The bags were randomly distributed among the treatment at the rate of four replicates per treatment. Each bag was opened once a day for one hour to allow aeration and water supply as necessary. The experiment was run twice.

Results

Storage and nut weight

Nut weight effect was significant on the germination of both the fresh and stored nuts (Figure 1). Thus 16-20 g and 21-25 g nut weight classes germinated best in the fresh nuts while the poorest nut weight class was 31-35 g weight. In the stored nuts, 11-15 g nut weight class led others.

The rate of germination tended to increase with nut weight though not consistently (Figure 2). Hence there was a gradual increase in the rate of germination of the fresh nuts with increase in nut weight up to 21-25 g nut weight class while it started to decrease as from 26-30 g nut weight class. Similarly, there was a increase in the rate of germination of stored nuts up to 11-15 g nut weight class only to start decreasing as from 16-20 nut weight class.

The stored nuts germinated earlier and faster than the fresh nuts. This is evidence by greater median time with the fresh nuts than with the stored nuts (Figure 2).

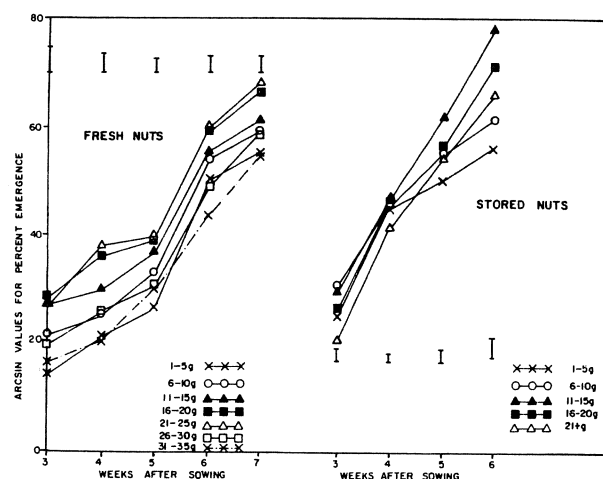


Fig. 1. Effect of nut weight on germination of *Cola acuminata* nuts. Bars represent standard errors.

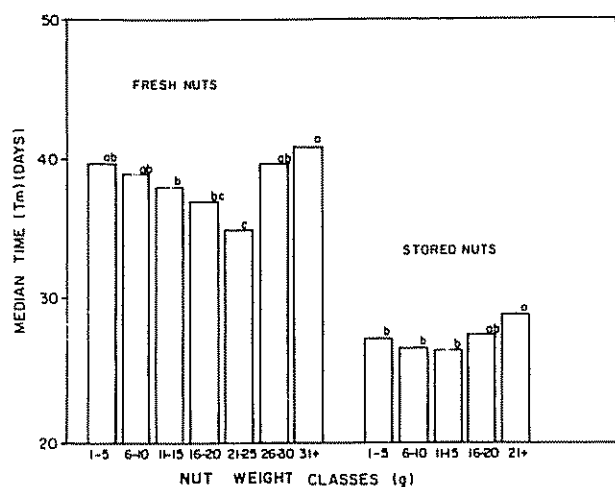


Fig. 2. Nut weight and median time of germination in *Cola acuminata*

Nut weight and cotyledon number

Both the nut weight and nut cotyledon number influenced the germination of *C. acuminata* nuts as main factors in a factorial trial on the effect of nut weight and nut cotyledon on the germination of *C. acuminata* nuts. The interaction between both factors was also significant ($P = 0.001$) (Table 1).

Figure 3 shows the interactive effect of both the nut weight and nut cotyledon number on germination of *C. acuminata* nuts. The 2-cotyledon nuts failed to germinate in the first three weeks after sowing irrespective of nut weight but germination occurred in 3-, 4-, and 5-cotyledon nuts. Subsequently, germination occurred in 2-cotyledon nuts as well. The spread of curves and order of the various nut weight classes vary with nut cotyledon number. In 2-cotyledon nuts, the germination of 1-5, 6-10 and 11-15 g nuts were not significantly different from one another but were significantly different from other nut weight classes, the latter also not being significantly different from one another. In 4-cotyledon

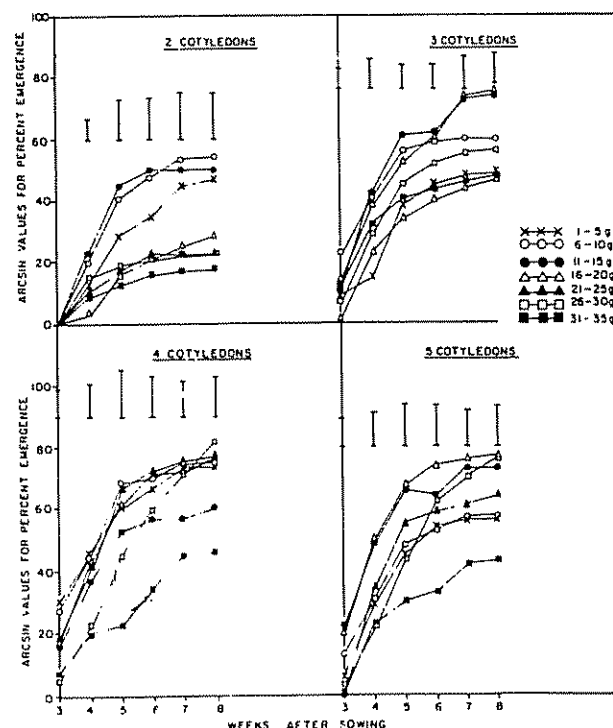


Fig. 3. Effect of nut weight and cotyledon number on germination of *Cola acuminata* nuts. Bars represent standard errors.

nuts, those in the 1-30 g weight range were not significantly different from one another in germination while 31-35 g nuts germinated poorest. The same variation as reported for 4-cotyledon nuts repeated itself in 5-cotyledon nuts except that the spread of the curves was more than was obtained in 4-cotyledon nuts.

Figures 4 and 5 show the pooled nut weight and nut cotyledon number effects. The pooled nut weight effects showed that there were three groups of nut weight effects on germination. The first group comprised 6-10, 11-15 and 16-20 g nuts while the second group was made up of 1-5, 21-25 and 26-30 g nuts. The third and last group was that of

Table 1. Mean square values for the effect of nut weight and nut cotyledon number on germination of *Cola acuminata* nuts.

Sources of variation	DF	Weeks after sowing		
		3	5	7
Block	9	236.85*	430.01*	565.77*
Nut wt.	6	887.87*	3 493.46*	2 786.17*
Cot. No.	3	3 722.31*	11 421.05*	15 114.67*
Nut wt. x Cot. No.	18	414.54*	973.54*	1 118.30*

* Significant at 0.1%.

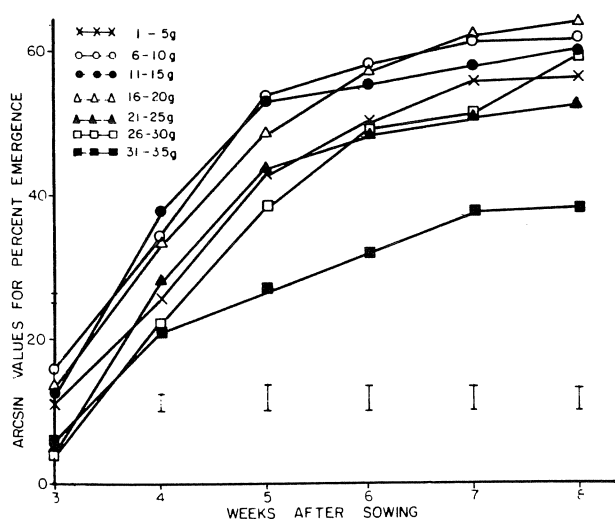


Fig. 4. Pooled nut weight effect on germination of *Cola acuminata* in nut weight: nut cotyledon number factorial trial. Bars represent standard errors.

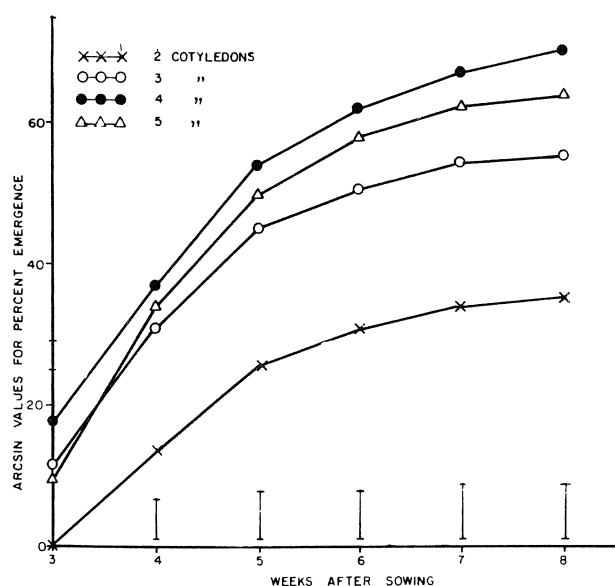


Fig. 5. Pooled cotyledon effect on germination of *Cola acuminata* in nut weight: nut cotyledon number factorial trial. Bars represent standard errors.

31-35 g nuts. Although the first group was slightly ahead of the second group, the two were not significantly different from each other. The two were, however, significantly different from the third group which recorded the poorest germination. On nut cotyledon number, the trend of germination performances of the various nut cotyledon number was 2-, 3-, 5- and 4- cotyledon nuts in the increasing order of magnitude (Figure 5). The 2- cotyledon nuts significantly germinated poorer than other nut cotyledon numbers.

Nut colour

Pink nuts germinated best followed by the red nuts as shown by the rate of germination depicted by the median time (T_m) values in Table 2. On percentage germination basis, pink nuts led the other two colours until the sixth week after sowing when the red nuts took the lead (Figure 5). White nuts germinated poorest as evidenced by both the least overall germination percentage and slowest rate of germination.

Table 2. Median time (T_m) values of germination of *Cola acuminata* nuts as influenced by nut colour.

Nut colour	T_m (days)
Red	28.90 ab*
Pink	26.50 b
White	33.00 a

* Each figure is the mean of eight replicates. Values with same letters are not significantly different at $P = 0.05$.

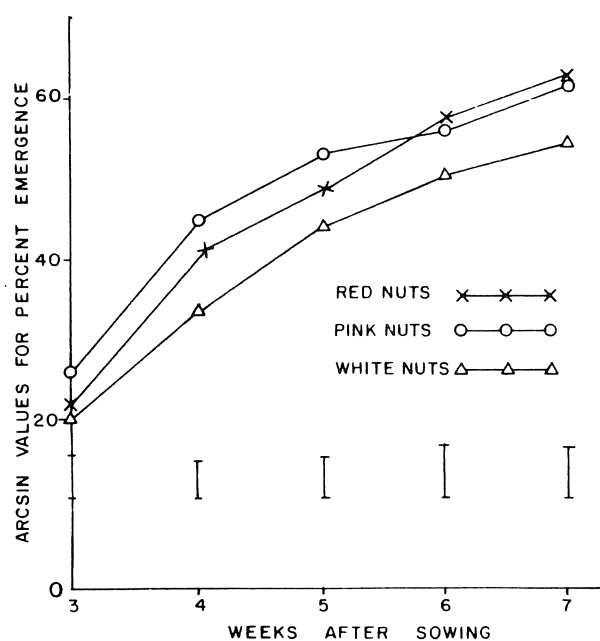


Fig. 6. Effect of nut colour on germination of *Cola acuminata* nuts. Bars represent standard errors.

Temperature

The best temperature for the germination of *C. acuminata* nuts was between 25°C and 35°C (Table 3). The minimum temperature was between 15°C and 20°C while the maximum was between 35°C

and 40°C Nuts sown under 10°C and 15°C failed to germinate throughout the five – week period of observation. They however germinated within the first week of transfer to higher temperature (20°C and 30°C respectively) (Table 4) Nuts sown under 40°C temperature were heat – dehydrated

Discussion

Storage and nut weight

Reports of Ashiru (1), Dublin (4), Ibikunle and MacKenzie (12) on the improvement in germination with increase in nut weight of *C. nitida* and the fact that 11-15 g nut weight class recorded the best germination velocity in *C. acuminata* (12) agreed well with the outcome of the germination trial on fresh *C. acuminata* nuts and especially the outcome of the same trial on the stored nuts where 11-15 g nut weight class recorded the highest overall percentage germination (Figure 1) In fact, Ibikunle (12) suggested that nuts whose weight fall within the range of 16-20 g nut weight be sown to combine the advantage of speed of germination and some degree of vigour of

seedling development because as reported by Oladokun (14), nut weight influenced growth and development of *C. acuminata* seedlings

The better performance of the stored nuts compared to the fresh nuts in germination have been reported for *C. nitida* by van Eijnatten (5, 6), Clay (3), Ashiru (1), Ibikunle and MacKenzie (13) and they all agreed with present findings on *C. acuminata*. These comparative differences in the germination of both fresh and stored *C. acuminata* nuts could be due to two reasons. One is the changes in nut moisture content whose percentage will be less in the stored than in the fresh nuts. Oladokun (14) reported that nut moisture content correlated negatively with nut weight in *C. acuminata* and *C. nitida*. As it is known that nut weight correlated positively with germination performance of kolanuts, it can be adduced that reduced moisture content in stored *C. acuminata* nuts probably led to better germination performances over the fresh nuts. Secondly, van Eijnatten (6) discovered that the embryos of stored *C. nitida* nuts were much more developed morphogenetically than those of the fresh nuts.

Table 3. Effect of temperature on the germination of *Cola acuminata* nuts (Arcsin transformed values of percentage germination).

Temperature	Period after sowing (weeks)					Tm
	1	2	3	4	5	
10	0b	0c	0d	0c	0c	
15	0b	0c	0d	0c	0c	
20	9.21b	23.44b	42.70c	55.70b	62.03b	22.50
25	6.91b	41.33a	56.89b	68.14a	68.14ab	18.40
30	19.18ab	52.74a	67.58a	74.79a	74.79a	12.00
35	21.41a	50.52a	62.83ab	70.26a	70.26a	12.70
40	0b	0c	0d	0c	0c	

* Each figure is the cumulative mean of eight replicates, each replicate being made up of 10 nuts. Values with the same letters within the column are not significantly different at $P = 0.05$.

Table 4. Germination of *Cola acuminata* nuts transferred from 10°C and 15°C to 20°C and 30°C respectively.

Temperature	Period after transfer (weeks)			
	1	2	3	4
20	22.61 ± 6.78	41.19 ± 2.98	56.71 ± 4.04	58.18 ± 3.09
30	51.00 ± 2.98	63.24 ± 2.64	70.55 ± 0.95	73.87 ± 2.15

* Each figure is the cumulative mean of eight replicates, plus or minus standard error, each replicate being made up of 10 nuts. Nuts from 10°C were transferred to 20°C, and those from 15°C transferred to 30°C.

This is also true of *C. acuminata* under storage conditions as the majority of *C. acuminata* nuts do germinate while in storage.

Nut weight and cotyledon number

Working on the effect of nut cotyledon number on germination of *C. acuminata* nuts irrespective of weight, Ibikunle (12) reported that the highest percentage germination was obtained from the nuts with the highest number of cotyledons (i.e. 4- and 5- cotyledons), the percentage germination falling with decreasing number of cotyledons. These findings were confirmed in this study (Figure 5).

The interaction between the nut weight and nut cotyledon number on the germination of *C. acuminata* nuts however calls for some comments. It is obvious that whatever the promotive influence increasing nut weight may have on the germination of *C. acuminata* nuts, the interference of the specific number of cotyledons of the nuts will operate. The nature and the degree of such interference will be determined by the degree of the variation of the nut cotyledon number within the given population of the nuts. As can be seen from Figure 5, the more the 2- cotyledon nuts, the more will be the intensity of the repressive effects of nut cotyledon number on germination of the nuts. It is however interesting to note that in a study carried out to investigate the frequency of each cotyledon number, 4- cotyledon nuts, followed by 5- cotyledon nuts, outnumbered all other types of nuts (14) while 2- cotyledon nuts were relatively fewer.

However, these results seem to introduce another element to the question of the relative germination characteristics of *C. nitida* and *C. acuminata*. Can the delay in germination of *C. nitida* be due to the fact that it has two cotyledons while *C. acuminata* has several? Much as one may be tempted to advance a positive answer to the question, on the basis of these results, reasons abound why the cotyledon number effect may not be implicated. First, post-harvest dormancy is a common phenomenon in several seeds, both of dicotyledon and monocotyledon plants. Secondly and perhaps more importantly, *C. lepidota* belongs to the same genus (*Cola*) as *C. nitida* and *C. acuminata*. Though it has two cotyledons as *C. nitida*, its nuts germinate within a day or two of removal of testa. Thus the question of dormancy of *C. nitida* nuts may yet be looked at from the physico-chemical status of the entire nut. Ibikunle (12) explained the improved germination of *Cola acuminata* nuts with increase in the number of nut cotyledons to be due to decrease in adhesive force holding the cotyledon together

as their number increased. Thus the poor germination performance of the 2- cotyledon nuts was due to a high adhesive force holding the two cotyledons together that created a physical barrier in the way of the embryos. This he called "nitida effect" (12).

Overall, a compromise will need to be made between the rate of germination and subsequent seedling growth and development before deciding on which nuts to use in raising nursery stocks. Heavier nuts support the seedlings better than higher ones in the early stages of growth and development. On the other hand, nut cotyledon number plays some determinant effect on germination of *C. acuminata* nuts. Thus in modifying Ibikunle's recommendation (12), it will be advisable to choose medium sized nuts (11-25 g) having 4- or 5- cotyledons for raising *C. acuminata* seedlings.

Nut colour

The order of germination performance for the three colours was pink, red and white nuts in decreasing order of magnitude for the first five weeks after sowing. As from the sixth week, this order altered to red, pink and white nuts in decreasing order of germination. However, the differences among the colours in both percentage germination and median time values were not significant though white nuts germinated slower than the pink. These results contradicted the report of van Eijnatten (10) that white nuts usually germinate quicker than red nuts in kola.

The better germination performance of the pink nuts to other colours must be examined against the frequency of occurrence of the three colours within a given population of *C. acuminata* nuts. Oladokun (14) reported that pink nuts recorded the highest frequency (64%) among the three colours in a population of 29 428 nuts while white nuts recorded the least (3.4%). Thus it can be suggested that nut colour distribution in *C. acuminata* may be linked with germination and perhaps subsequent growth performance. Such linkage may be genetic. van Eijnatten (9) stated that white nut is recessive to the red nut while the latter is recessive to the pink nut in kola. Thus the influence of genetic colour dominance was manifested in germination ability and was reflected understandably in natural selection.

Temperature

Using both the median time values and percentage germination bases, the best temperature range for germination of *C. acuminata* nuts was 25-35°C. This

finding compared favourably with the findings of van Eijnatten (7) that 30°C gave the best germination followed by the room temperature in *C. nitida*. He also found that continuous temperature of 37°C killed all the nuts, an observation which was repeated by 40°C in this study. Ashiru (1) also reported that high temperatures were detrimental to the germination of *C. nitida* nuts while Ibikunle and MacKenzie (13) found 30°C to give the best result in *C. nitida*. Ibikunle (11) found 35°C to be lethal to the germination of *C. nitida*, a report contrary to the present finding on *C. acuminata*. This difference means that *C. acuminata* nuts are probably more heat tolerant than *C. nitida* nuts.

The fact that nuts sown at 10°C and 15°C did not germinate showed that 20°C would be about the minimum temperature for the germination of *C. acuminata* nuts. However, it is interesting to note that when the temperatures were raised to 20°C and 30°C respectively, germination commenced. Thus beside the fact that the initial treatment had not nullified the germination potentiality of the nuts, the embryos remained dormant until the ideal range of temperature was provided. This was unlike the case of 40°C where the embryos were most probably killed (that is, irreversibly "inactivated").

Conclusions

The present study shows that when raising *C. acuminata* seedlings efforts must be made to select relatively medium sized nuts (11-25 g) and with four or five cotyledons. Unless, they are particularly needed, white nuts should be less preferred than red or pink nuts. The nuts should be sown in a medium temperature of 30°C-35°C.

Summary

Series of experiments carried out on germination of *Cola acuminata* nuts showed that stored nuts germinated faster than fresh nuts; nut weight and nut cotyledon number and their interaction influenced germination of the nuts. Nut colour effect was not significant on germination but pink nuts germinated quicker than the white nuts. The best temperature range for germination of the nuts was 25-35°C.

Literature cited

1. ASHIRU, G. A. Effect of Kinetin, Thiourea and Thiourea dioxide Light and Heat on seed germination and seedling growth of Kola, *Cola nitida* (Schott and Endlicher). Journal of the American Society for Horticultural Science 94:429-432. 1969.
2. BROWN, D. A., AFRIFA, M. K. Effect of cutting cola nut on the germination rate and subsequent seedling characters. Ghana Journal of Agricultural Science 4:117-120. 1971.
3. CLAY, D. W. T. Germination of the kola nut, *Cola nitida*. Tropical Agriculture (Trinidad) 41:55-60. 1964.
4. DUBLIN, P. Le Colatire (*Cola nitida*) en Republique Centrafricaine. Cafe, Cacao, Thé 9:97-115. 1965.
5. EIJNATTEN, C. L. M. VAN. Studies on the germination of kolanuts. Memo Cocoa Res. Nigerian Cocoa Research Institute. Memo No. 4:1-13. 1974.
6. EIJNATTEN, C. L. M. VAN. Kola germination trials. CRIN Annual Report 1965/66. 1976. pp. 63-66.
7. EIJNATTEN, C. L. M. VAN. The germination of kolanuts, *Cola nitida* (Vent.) Schott and Endlicher. Nigerian Agricultural Journal 5:72-82. 1968.
8. EIJNATTEN, C. L. M. VAN and QUARCOO, T. Studies on kola, Germination Studies. Schott and Endlicher. Acta Horticulturae 49:75-83. 1975.
9. EIJNATTEN, C. L. M. VAN. Kola: Its botany and cultivation. Commun. Dept. Royal Tropical Institute. Dept. of Agricultural Research. Communication 59:pp. 1-IX, 1-20. 1969.
10. EIJNATTEN, C. L. M. VAN. Kolanut. In P. Ferwerda and P. Wit. eds. Outline of perennial crop breeding in the tropics. Wageningen, Netherlands, Agricultural University, 1969b. pp. 289-307.
11. IBIKUNLE, B. A. O. The propagation and growth of nursery stock of *Cola nitida* (Schott and Endlicher). Ph.D. Thesis. Nigeria, Univ. of Ibadan.
12. IBIKUNLE, B. A. O. The germination of *Cola acuminata* (P. Beauv.) Schott and Endlicher. Acta Horticulturae 49:75-83. 1975.
13. IBIKUNLE, B. A. O.; MACKENZIE, J. A. Germination of Kola, *Cola nitida* (Vent.) Schott and Endlicher. Turrialba 24(2):187-192. 1974.
14. OLADOKUN, M. A. O. Morpho-physiological aspects of germination, rooting and seedling growth in *Cola acuminata* Vent. (Schott and Endlicher). Ph.D. Thesis. Nigeria, University of Ibadan, 1982.

Reseña de libros

J. E. FERGUSSON. *Inorganic chemistry and the earth*. Pergamon Press; Oxford: 1982

La química es la ciencia que estudia las propiedades y los cambios de los elementos, junto con las relaciones energéticas que los acompañan, en estrecha relación con las actividades básicas del hombre. Cualquier disciplina científica que estudie los fenómenos y problemas ambientales de la tierra recurre hoy día a la Química como medio de estimar y cuantificar los procesos de la naturaleza y su dinámica. Es evidente que la Química se ha integrado a todas las disciplinas que estudian el ambiente y es fundamental su contribución, en grupos interdisciplinarios.

El libro "Inorganic Chemistry and the Earth" es un magnífico punto de referencia para los estudiosos de problemas ambientales de la tierra. Su enfoque, conciso y de mucha cobertura, presenta a la Química Inorgánica en el contexto del medio con énfasis en su componente físico pero relacionándolo con el componente biológico y con los problemas y necesidades de la sociedad moderna. Está escrito con un estilo sencillo y directo, que va, sin mucho preámbulo, describiendo los hechos con ayuda de gran cantidad de cuadros, esquemas y gráficas.

Esta obra está dividida en cuatro partes. La primera trata del origen de los elementos químicos y de la tierra, de su estado actual y los principales cambios y reacciones que afectan a los componentes de la tierra en términos de sus grandes sistemas: la atmósfera, la hidrósfera y la litósfera.

La segunda parte trata de los recursos minerales y sus fuentes, su formación y métodos de extracción, relaciones energéticas con el rendimiento de la producción y consumo; los recursos energéticos, su composición y utilización, yendo desde la energía nuclear hasta la fotosíntesis y las celdas de energía.

La tercera parte la dedica el autor al estudio de algunos procesos químicos involucrados en la producción de sustancias químicas de uso diario y su importancia en la industria moderna.

La cuarta parte es la más extensa, abarca toda la segunda mitad del texto y se ocupa enteramente de las consecuencias de la actividad humana sobre el ambiente al utilizar los recursos minerales, todo dentro del marco de las principales regiones habitables del planeta, la hidrósfera, la atmósfera, la litósfera y la biósfera, de la interacción y transporte de las sustancias químicas entre esas regiones, principalmente a través de los ciclos biogeoquímicos. Esta cuarta parte trata además y de manera sectorial, los fenómenos de la contaminación, las fuentes y efectos de los contaminantes más importantes, su control y métodos de análisis modernos.

El aprovechamiento del libro de Fergusson será mucho mejor toda vez que el lector tenga ya bases elementales de Química General. No pretende este volumen hacer un análisis exhaustivo en la materia sino más bien dar una visión muy general del problema mesológico de hoy, no desde la perspectiva puramente ecológica sino desde el punto de vista de la Química Inorgánica. Sin bien el libro toca una gran gama de temas de manera general, profundiza en unos cuantos de mucho interés para el químico ambiental, por lo que se ve enriquecido, con relación a otras publicaciones similares en el campo, al incluir aspectos de geoquímica y biotoxicología no encontradas normalmente en textos de Química General y Ambiental.

Concluyendo, el libro "Inorganic Chemistry and the Earth" debe formar parte de la bibliografía de acceso inmediato para los estudiosos e investigadores en ciencias ambientales, especialmente para quienes requieran de la aplicación de la Química como ciencia cuantificadora de impactos ambientales antropogénicos.

ALFONSO MATA JIMENEZ
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

F. AUGSTBURGER*

Summary

In Bolivia, traditional forms of crop association continue to exist in cold and temperate zones. Tests on potato crops demonstrated the efficiency of associating potato with lupine and horse beans, and under certain conditions, with maize. The study showed a more efficient use of land area, with increases of up to 35 percent in farm products and 161 percent in total biomass. While "mixed" system is slightly superior to the "alterning" system the use of alternating furrows prevents crop damage and is therefore recommended.

Associative systems in the highlands are less efficient than in the valley.

By comparison to the humid tropics, the associative systems tested in the present study seem less efficient.

The residual effects of crop association are difficult to demonstrate, but it is clear that the association of potatoes with other crops is often more efficient than planted alone.

Introducción

Los cultivos asociados son definidos como "un sistema de producción agrícola en el cual se cultiva dos o más especies al mismo tiempo y en el mismo terreno" (8)

La asociación de cultivos tiene un papel muy importante en la agricultura de subsistencia en zonas del trópico húmedo y en cultivos forrajeros de climas mediterráneos y continentales.

Según Steiner (8), hasta la fecha la mayoría de los alimentos para la humanidad a nivel mundial son producidos en cultivos asociados. No obstante de eso, los

cultivos asociados recién hace 20 años han llamado el interés de los investigadores; la literatura importante es posterior a 1970 y ésta se refiere en su mayoría al trópico húmedo.

El área de estudio se encuentra en Bolivia, más particularmente en el departamento de Cochabamba. La población en este departamento, sobre todo en sus valles interandinos, es muy densa y en su mayoría se dedica a la agricultura; por eso la intensificación de la producción es imprescindible.

En el marco de este trabajo se entrevistaron 67 campesinos en los valles y las punas del departamento de Cochabamba, en cuanto a sus motivaciones y costumbres para asociar cultivos; además se hicieron numerosas observaciones en el campo; entre ellas, se observó la existencia de la asociación de cultivos sobre todo en la producción para el autoabastecimiento; en cambio, sembradíos con destino al mercado prácticamente han desaparecido. Se estima que en el área de estudio aproximadamente 25% de la superficie de los agricultores minifundistas está cultivada con más de una especie.

¹ Recibido para publicación el 19 enero, 1984. Trabajo realizado bajo la dirección científica del Instituto de Investigaciones en Agricultura Biológica de Oberwil, Suiza y financiado por la fundación "Pro Bolivia", de Ginebra, Suiza.

** Asesor del Proyecto Agrobiología Universidad Cochabamba, Agruco, Casilla 1836, Cochabamba, Bolivia.

En las encuestas se registraron principalmente 4 tipos de asociaciones de cultivos (1):

Tipo 1, cultivo mixto: Siembra de dos o más especies sin orden definido, normalmente con un cultivo dominante

Tipo 2, cultivo alternado: Siembra en surcos alternados con distancias definidas entre surcos y plantas

Tipo 3, sembradío bajo abrigo: Se cultiva por lo menos dos especies juntas, pero no se las siembra al mismo tiempo y el segundo cultivo se cosecha más tarde que el primero

Tipo 4, combinación de cultivos perennes y anuales: Se combina fruticultura y agricultura.

En el valle y en la puna del departamento de Cochabamba se observaron más frecuentemente las asociaciones que se anotan en el Cuadro 1.

Los 67 agricultores cochabambinos encuestados indican varias razones para sembrar más de un cultivo en el mismo lote y al mismo tiempo:

- Mejor aprovechamiento del agua, abono y terreno
- Menor incidencia de sequías, inundaciones, granizos y heladas o sea mayor seguridad en la producción
- Dieta mejor equilibrada
- Costumbre
- Casualidad (germinaron varios cultivos sin haberlos sembrado).

Cuadro 1. Asociaciones tradicionales de cultivos, observados en el valle y las punas del departamento de Cochabamba.

Cultivos	Tipo
Haba / Quinua	2
Oca / Haba / Quinua	1
Papa / Haba / Oca	1
Papa / Quinua	2
Oca / Quinua	2
Maíz / Quinua	1
Lupino / Pasto	2
Papa / Maíz	2
Maíz / Alfalfa	3
Maíz / Carotes	1
Vides / Cebolla	4
Duraznos / Maíz / Alfalfa	4
Beterraga / Zanahoria	1

La última respuesta de la casualidad se registró frecuentemente, aunque fue obvio que en la respectiva parcela se habían sembrado varias especies, y no han germinado solamente restos de los cultivos anteriores. Esto indica que el agricultor tiene vergüenza de su sistema tradicional y tiende a abandonarlo.

Se establecieron estos ensayos con el fin de determinar índices agronómicos de la asociación de cultivos en climas fríos y templados. Puesto que la papa es uno de los cultivos principales para el autoabastecimiento y el mercado se escogió una serie de posibles asociaciones con papa.

Materiales y métodos

Ubicación de los ensayos

Los ensayos Pairumani A y Pairumani B se realizaron en la granja Pairumani, ubicada en el valle Cochabamba; los demás ensayos se ubicaron en parcelas de campesinos minifundistas en la puna (Cuadro 2).

Las características de los suelos varían bastante de un lugar a otro y éstas se encuentran resumidas en el Cuadro 3.

Variedades utilizadas

Las variedades utilizadas todas fueron locales; la papa (*Solanum andigenum*) fue siempre la misma: Imilla Blanca. Las de haba (*Vicia faba mayor*) y de lupino (*Lupinus mutabilis*) se adquirió de los campesinos del lugar; solamente el maíz (*Zea mays*) utilizado en el ensayo Pairumani B, fue de una variedad seleccionada denominada Choclero 2.

Implantación de los ensayos

La preparación del suelo de estos 4 ensayos y el residual se realizó con el tradicional arado de palo tirado por bueyes. La fertilización fue uniforme con abonos orgánicos; de acuerdo al contenido de N de cada uno de estos abonos se dosificó 40 kg de N/ha. Esta aplicación arrojó además aproximadamente 32 kg P₂O₅, 37 kg K₂O y 17 kg Ca/ha. Aunque los campesinos acostumbran fertilizar los cultivos de papa con mayor cantidad de abonos orgánicos, se decidió por este nivel bajo con el fin de detectar mejor posibles efectos residuales de los sistemas de asociación. La siembra se efectuó a mano y todos los cultivos se aporcaron 2 veces a mano. Los ensayos de Colomi y Rodeo fueron sembrados en época de lluvia; no recibieron riego. El ensayo Pairumani A se regó 7 veces y el de Pairumani B 6 veces por haber sido cultivados en época de sequía. En los ensayos de

Cuadro 2. Ubicación de los ensayos.

Lugar	Altitud msnm	Temperatura °C		Precipitación mm*
		Media	Máxima Mínima	
Colomi	3 210	8	15	1 100
Rodeo	3 480	6	16	605
Pairumani A/B	2 600	15	26	639

* Aproximadamente 90% de la precipitación cae entre el 15 de diciembre y 15 de abril.

Cuadro 3. Características de los suelos.

Lugar	Orden de Suelo	Humus %	pH	Nutrimentos (soluble en lactato) ppm		
				P	K	Ca
Colomi	Espodosol	7.7	5.6	20	100	1 200
Rodeo	Entisol	2.1	6.8	40	190	1 800
Pairumani A/B	Entisol	3.3	6.5	20	150	1 500

Colomi y Rodeo la papa se trató 3 veces con fungicida sistémico "Ridomil" con el fin de controlar enfermedades fungosas. En los ensayos residuales se sembró uniformemente papa de la variedad Imilla Blanca, no se incorporó el follaje de ninguno de los cultivos y no se usó ninguna fertilización con el fin de conocer los efectos de posible fijación de nitrógeno.

Diseño experimental

En los cuatro ensayos el diseño utilizado fue de bloques al azar con 4 repeticiones. El tamaño de las parcelas en el ensayo de Pairumani B fue de 21.6 m² y en los otros tres de 14.4 m². La distancia entre surcos fue de 60 cm y entre planta y planta varió según el cultivo. La densidad de siembra en los "cultivos puros" fue: papa 55 500, maíz 55 500, haba 111 100, lupino 83 300 plantas por hectárea. En los sistemas "alternado" y "mixto" resultó para cada especie la mitad de la densidad sembrada en el "cultivo puro". El ordenamiento de los diferentes sistemas fue el siguiente:

Cultivo puro

```

O O O O O O O O O O O O O O O O
O O O O O O O O O O O O O O O O
O O O O O O O O O O O O O O O O

```

Cultivo alternado

```

O O O O O O O O O O O O O O O O
X X X X X X X X X X X X X X X X
O O O O O O O O O O O O O O O O

```

Cultivo mixto

```

O X O X O X O X O X O X O X O X
X O X O X O X O X O X O X O X O
O X O X O X O X O X O X O X O X

```

Se utilizó en cada especie parcelas con "cultivo puro" y con los dos sistemas de asociación. Se evaluó asociaciones solamente con 2 cultivos en cada parcela. En el ensayo Pairumani B se trabajó solamente con el sistema alternado.

Toma de datos

Principalmente se evaluaron los rendimientos de los productos agrícolas con fines de alimentación humana. Por la importancia que tienen los cultivos como forraje, también se evaluó la biomasa (Bm) total, sin considerar las raíces.

Los diferentes rendimientos de productos agrícolas se entienden de la siguiente manera:

Papa = Tubérculos.
 Haba = Vaina en verde para el consumo en fresco.
 Lupino = Grano seco con 14% de humedad.
 Maíz = Choclo para consumo como verdura.

En los ensayos con ataques de enfermedades fungosas se hizo una lectura de los mismos antes del primer tratamiento fitosanitario mediante una estimación exacta en porcentaje.

La cosecha de todas las plantas se efectuó a mano

Para los diferentes sistemas se calculó el uso equivalente de la tierra (UET), (4, 5). El UET da información sobre la eficiencia con la cual se usa la tierra, o sea indica la superficie de cultivos puros que sería necesario cultivar para obtener el rendimiento logrado con el cultivo asociado. Por ejemplo un UET 1.2 significa que en una hectárea de cultivos asociados se logra un rendimiento equivalente al sembrado en 1.2 hectáreas de cultivo puro.

La fórmula citada es:

$$\frac{a \text{ asociado}}{a \text{ puro}} + \frac{b \text{ asociado}}{b \text{ puro}} = \text{UET}$$

Haciendo la comparación del UET de asociaciones con el de cultivos puros que es por definición 1, se elimina la variación natural existente también en cultivos puros. Con el fin de poder hacer un análisis de varianza se comparó el rendimiento de cada parcela con el rendimiento promedio de cada tratamiento al cual pertenece la parcela respectiva:

$$\text{Para cultivos puros: } \frac{\frac{a \text{ puro}}{n}}{\frac{\sum a \text{ puro}}{1}} = \text{UET rel}$$

Para cultivos asociados:

$$\frac{\frac{a \text{ asociado}}{n}}{\frac{\sum a \text{ puro}}{1}} + \frac{\frac{b \text{ asociado}}{n}}{\frac{\sum b \text{ puro}}{1}} = \text{UET}$$

Se calculó los UET según la fórmula para cada una de las repeticiones y luego se les sometió al análisis de varianza. (Los requerimientos y factores UET son promedios redondeados de 4 repeticiones)

Resultados y discusión

Cultivos asociados

En los Cuadros 4, 5, 6, y 7 se observan los rendimientos obtenidos y en el Cuadro 8 se presenta los porcentajes de incidencia de enfermedades fungosas en la papa.

El nivel de rendimiento de los cultivos empleados en los cuatro ensayos se considera bajo. En el cultivo principal que es la papa comparado con la producción promedio nacional de 6 150 kg por ha en 1979 (3) los rendimientos logrados que fluctúan entre 8 410 y 13 090 se considera representativos. Estos rendimientos se deben en primer lugar a la baja fertilidad de los suelos escogidos y en segundo lugar a la baja dosis de 40 kg de nitrógeno en forma de abonos orgánicos. Pero se considera importante trabajar en el futuro al mismo nivel que tiene actualmente el pequeño agricultor, si se quiere conocer la efectividad de sus sistemas de cultivo.

Si en una asociación de cultivos un especie rinde más que la mitad que en cultivo puro, su aporte se considera positivo a la asociación. En el sistema de papa con haba se observó condiciones muy favorables para la haba en el ensayo de Colomi (Cuadro 5) donde la haba se comporta muy bien en la asociación pero causó ligera competencia a la papa; esto fue debido a la humedad excesiva para la papa que se presentó en este ensayo. En las pruebas de Pairumani y Rodeo, o sea en ambientes más secos los cultivos de papa y haba presentaron similar fuerza de competencia lo que significa que existió un equilibrio. El rendimiento de vainas de haba en el ensayo Pairumani B (Cuadro 7) fue bajísimo, por haberse utilizado una variedad no adecuada al ecosistema, lo cual produjo mucho follaje pero pocas vainas. En Rodeo ubicado a 3 480 msnm los rendimientos de lupino fueron mayores que en Pairumani que se encuentra a 2 600 msnm, lo que demuestra que el lupino prospera mejor en zonas elevadas y no soporta una napa freática alta. (Por eso fracasó totalmente el cultivo de lupino en Colomi).

Excepto de los resultados obtenidos en el ensayo de Rodeo donde se presentó un UET de 0.93 en el cultivo alternado de papa y haba siempre se logró factores UET de productos mayores que 1. En los ensayos Pairumani A y B y Colomi, al nivel de $P = 0.05$ no se encontró diferencias significativas, entre los sistemas utilizados pero se observa una tendencia clara en favor de las asociaciones. La misma se confirma en Rodeo, donde existe la diferencia significativa ($P = 0.01$) entre cultivos puro y cultivos asociados.

Cuadro 4. Rendimiento de cultivos asociados, ensayo Pairumani A.

Cultivos	Rendimientos kg/ha					UET	
	Papa Tub.	Papa Bm.	Haba Vaina	Haba Bm.	Lupino Grano	Lupino Bm.	Producto Bm.
Papa							
Cultivo puro	9 120	15 700					1.00
Haba							
Cultivo puro			9 210	18 680			1.00
Lupino							
Cultivo puro					800	39 880	1.00
Papa + Haba							
Alternado	5 790	10 710	4 210	8 200			1.11
Papa + Lupino							
Alternado	6 750	12 440			360	12 950	1.20
Papa + Haba							
Mixto	6 670	11 100	4 300	8 950			1.20
Papa + Lupino							
Mixto	8 070	15 420			240	45 410	1.18
DMS 0.05							ns

Cuadro 5. Rendimiento de cultivos asociados, ensayo Colomi.

Cultivos	Rendimiento kg/ha		UET
	Papa tub.	Haba vaina	
Papa			
Cultivo puro	13 090		1.00
Haba			
Cultivo puro		19 900	1.00
Papa + Haba			
Alternado	5 990	15 570	1.24
Papa + Haba			
Mixto	5 750	11 550	1.02
DMS 0.05			ns

Nota: El cultivo de Lupino se perdió por napa freática muy superficial.

Según el Cuadro 7 existe una enorme competencia del maíz hacia la papa; esto se debe aparentemente a la distancia de sólo 60 cm entre surcos de papa y maíz o sea 120 cm entre cada surco de maíz. Se observó que los agricultores acostumbran hacer esta asociación, pero con distancias de siembra mucho mayores.

Aunque estadísticamente no es significativo, pero con una tendencia clara, el lupino parece ser la mejor leguminosa para asociar con papa; esto vale para zo-

nas secas, puesto que su sistema radicular se extiende a más profundidad que el de la papa. En cambio, las raíces de la haba crecen en la misma área que la de las papas y su asociación es solamente aconsejable en zonas con suficiente humedad.

Como el UET en el sistema "mixto" tiende a ser más alto que en el "alternado" esto permite considerar una mayor eficiencia biológica del segundo sistema. Esto puede explicarse por los requerimientos de espacio de cada especie que no son iguales en el mis-

Cuadro 6. Rendimiento de cultivos asociados, ensayo Rodeo.

Cultivos	Papa tub.	Rendimientos kg/ha Haba vaina	Lupino grano	UET Productos
Papa Cultivo puro	11 950			1.00 b
Haba Cultivo puro		15 240		1.00 b
Lupino Cultivo puro			3 870	1.00 b
Papa + Haba Alternado	6 600	5 800		0.93 b
Papa + Lupino Alternado	6 470		2 490	1.31 a
Papa + Haba Mixto	8 690	9 010		1.32 a
Papa + Lupino Mixto	11 400		1 530	1.35 a
DMS 0.01				0.28

Cuadro 7. Rendimientos de cultivos asociados, ensayo Pairumani B.

Cultivos	Rendimientos kg/ha				Lupino		Maíz		UET	
	Papa tub.	Bm.	Haba vaina	Bm.	grano	Bm.	Choclo	Bm.	Prod.	Bm.
Papa Puro	8 410	18 070							1.00	1.00 b
Haba Puro			1 390	28 480					1.00	1.00 b
Lupino Puro					860	18 690			1.00	1.00 b
Maíz Puro							20 160	72 450	1.00	1.00 b
Papa + Haba Alternado	3 070	14 260	930	34 010					1.05	2.02 a
Papa + Lupino Alternado	3 730	18 400			530	28 330			1.12	2.61 a
Papa + Maíz Alternado	1 610	7 110					15 080	109 610	1.33	2.14 a
DMS 0.01									ns	0.56

mo tiempo para la papa y los cultivos utilizados en las asociaciones. Pero hay que tomar en cuenta que la cosecha de una planta de papa ubicada por ejemplo entre dos de lupino es sumamente incómoda y también daña a la planta restante, por esta razón el sistema "mixto" no es práctico.

Para el campesino no solamente los productos con fines alimenticios son importantes, toda materia verde

le interesa, hasta el follaje de la papa le sirve como forraje. Los factores de UET de biomasa fluctúan entre 1.11 y 2.31; esto indica todavía más claramente la alta eficiencia de la asociación de cultivos para el campesino, que siempre utiliza toda la biomasa producida en su lote.

Se supone que los cultivos asociados tendrían que ser más eficientes en condiciones marginales que en

óptimas. Pero los factores UET de producción en las alturas, que representan condiciones de crecimiento vegetal no tan favorables no superan a los de Pairumani, que es más bajo. Esta observación coincide con las de Kass (6), que también observa UET más altos en buenas condiciones agrícolas.

El ataque de enfermedades fungosas de la papa (Cuadro 8) fluctuó fuertemente de un lugar a otro. En Pairumani, el ataque fue mayor que en Colomi y Rodeo; eso tiene que ver con el microclima, aunque Colomi es un lugar húmedo, siempre hay viento y por eso las matas secan rápido y la incidencia es menor. Notable es también la baja infección del ensayo Pairumani A, sembrado en época de sequía y el fuerte ataque en el ensayo Pairumani B, cultivado en época de lluvia. En el ensayo de Pairumani A es notable la mayor incidencia en el cultivo puro, la misma tendencia se ve en el ensayo Pairumani B; cabe mencionar, la alta incidencia en la asociación con maíz por la elevada humedad que conservó el maíz en estas parcelas.

Efectos residuales de los cultivos asociados

Es de interés conocer los efectos residuales de las asociaciones con leguminosas; por eso se evaluó en dos ensayos los efectos que tenían los diferentes sistemas de asociación sobre un cultivo de papa consecutivo.

Según la creencia de algunos campesinos el lupino tiene un efecto regulador al nematodo *nacobus*. Este nematodo se presenta en las alturas como uno de los principales problemas en el cultivo de papa; por eso se escogió la papa como cultivo evaluador de los efectos residuales.

En el Cuadro 9 se observan los rendimientos obtenidos con el cultivo de papa, sembrada en los lotes de los ensayos de cultivos asociados de Rodeo y Pairumani B.

Los rendimientos del segundo cultivo de papa son mayores que los de año anterior; esto se debe a la época más apta de siembra y condiciones climatológicas superiores; además se considera que el nitrógeno aplicado el año anterior en forma orgánica estuvo más disponible en el segundo año.

Se observa residualmente mayores rendimientos de papa en los tratamientos en que el cultivo anterior fue haba; la respuesta de la papa al efecto residual de una leguminosa no es claro. Se considera que esto se debe al hecho que el fósforo se encuentra como factor limitante y no el nitrógeno, posiblemente fijado por las leguminosas. Eso coincide con ensayos de Kunkel (7) y trabajos propios (2) donde tampoco hay respuesta a nitrógeno en ninguna forma, si el fósforo es el factor limitante. Además, se debe considerar lo siguiente: la profundidad de trabajo del arado de palo es como máximo 15 cm; debajo de esta capa arable difícilmente penetran las raíces de la papa, pero sí las del lupino y probablemente también de la haba. En consecuencia el supuesto nitrógeno fijado o el fósforo solubilizado por las leguminosas se encuentra demasiado profundo como para que el segundo cultivo de papa pueda aprovechar estos nutrimentos.

Las leguminosas utilizadas en el presente trabajo en el sistema "mixto" han sido aporcadas junto con las papas o sea han crecido también en camellones de aproximadamente 30 cm; en cambio, en los "cultivos puros" y cultivos alternados prosperan en terre-

Cuadro 8. Porcentaje del follaje de la papa atacada por enfermedades fungosas.

Cultivo	Pairumani A	Ensayo de Colomi	Rodeo	Pairumani B
Papa				
Cultivo puro	21 a	13	4	50 ab
Papa + Haba				
Alternativo	10 b	9	7	41 a
Papa + Haba				
Asociado	12 b	8	7	—
Papa + Lupino				
Alternativo	10 b	—	8	36 a
Papa + Lupino				
Mixto	16 a	—	8	—
Papa + Maíz				
Mixto	—	—	—	65 b
DMS 0.05	7.6	ns	ns	16.8

Cuadro 9. Efectos residuales de cultivos asociados evaluados en comparación con cultivo puro de papa.

Cultivo anterior	Rodeo	Pairumani B
Papa		
Cultivo puro	10 660 bc	17 080 a
Haba		
Cultivo puro	11 610 bc	21 520 b
Lupino		
Cultivo puro	9 550 bc	20 120 ab
Maíz		
Cultivo puro	—	18 730 ab
Papa + Haba		
Alternativo	12 460 b	22 250 b
Papa + Haba		
Mixto	15 280 a	—
Papa + Lupino		
Alternativo	8 270 a	17 330 a
Papa + Lupino		
Mixto	11 160 bc	—
Papa + Maíz		
Alternativo	—	17 270 a
Promedio	11 370	19 190
DMS (P = 0.05)	2 790	3 460
C.V. %	16.52	12.13

nos casi planos. Eso no tiene ninguna importancia cuando el agua es abundante como en el ensayo de Colomí, pero si falta agua se presentan diferencias como por ejemplo en el ensayo de Rodeo (Cuadro 6), donde papa + haba alternativo tiene un UET negativo, pero papa + haba mixto resulta positivo.

Importante nos parece el hecho de que el cultivo asociado solamente en un caso (Cuadro 9) ha causado una reducción del rendimiento del cultivo posterior. En los dos ensayos el promedio del efecto residual de los cultivos asociados es mejor que el de la papa en cultivo puro.

Resumen

En Bolivia, en zonas frías y templadas existen todavía formas tradicionales de asociaciones de cultivos.

En ensayos realizados principalmente con cultivo de papa se vio la eficiencia de la asociación de papa con lupino, con haba y bajo ciertas condiciones también con maíz. Se logró demostrar un mayor aprovechamiento de superficie hasta 35% en productos agrícolas y hasta 161% en la producción de biomasa total.

Hay ligera superioridad del sistema "mixto" sobre el "alternado" por perjuicios causados en la cosecha

en el primer sistema; la alternación de cultivos en surcos es más aconsejable.

Sistemas de asociaciones en la puna parecen menos eficientes que en el valle.

Comparando con el trópico húmedo, los sistemas de asociaciones probados en el presente trabajo parecen menos eficientes.

Los efectos residuales de cultivos asociados son difíciles de demostrar, pero es evidente que una asociación de papa con otro cultivo la mayoría de las veces es más eficiente que el cultivo puro.

Literatura citada

1. AUGSTBURGER, F. Cultivos asociados; técnica agrícola en desaparición, Labor, 4-5. La Paz, Bolivia 1982.
2. AUGSTBURGER, F. Agronomic and economic aspects of manure in bolivian valleys and highlands. The Netherlands, Elsevier, 1983. pp. 335-345 (Agriculture Ecosystems and Environment, 10).

3. FAO. Anuario FAO Producción, Vol. 33, 1979 Roma, 1980.
4. IRRI. Annual Report for 1973, Los Baños, Philippines. 1974.
5. IRRI. Cropping systems, Los Baños, Philippines. 1975.
6. KASS, D. C. Polyculture cropping systems, Review and analysis, Cornell International Agriculture Bulletin 32, 1978.
7. KUNKEL, R. CIDI, Cochabamba, Bolivia. 1980.
8. STEINER, K. G. Mischkulturen: In wichtiges element zur intensivierung der troischen Kleinlandwirtschaft, en Entwicklung und landlicher Raum Nr 5, S 11-13 1981.

Reseña de libros

ODUM, H. T. Systems ecology; an introduction. New York, Wiley, 1983. 644 p.

Esta es una ambiciosa contribución, novedosa y dinámica, al todavía emergente campo de la ecología sistemática. Introduce los sistemas ecológicos, mientras resume los principios generales de todos los sistemas, y usa ejemplos de ecosistemas con mayor frecuencia para ilustrar generalizaciones sobre el diseño y funciones de los sistemas.

En los últimos años la palabra "sistemas" ha adquirido, para mucha gente, una cierta cualidad mágica. El término se usa promiscua, vaga y entusiastamente. El problema reside no en el significado de ese término sino en la manera en que se aplica. Conceptualmente, un sistema es simplemente una colección de componentes que interaccionan para lograr una función. En el uso convencional el término se refiere a un juego de factores que se sabe (o se supone) que son necesarios y suficientes para algún propósito o efecto. La naturaleza de los sistemas es estudiada por la ciencia de la cibernética, uno de cuyos padres es Norbert Wiener, y por la Teoría General de Sistemas (GST) fundada por Ludwig von Bertalanffy.

El enfoque de sistemas (o análisis de sistemas) es una senda al estudio de sistemas físicos y sociales que permite que situaciones complejas y dinámicas sean comprendidas en un amplio esquema. El enfoque es

válido ya sea que el tema sea un sistema de calefacción, un sistema postal, una explotación agrícola, una firma, ... o un ecosistema.

En los últimos veinte años el Dr. Odum y varios colegas y estudiantes han intentado desarrollar un lenguaje de sistemas que combinara características de sistemas reales, tomando, cuando era necesario, elemento de otros lenguajes de sistemas. Se desarrolló un lenguaje de símbolos y diagramas de circuitos de energía, el que combinaba la cinética, la energética y la economía. Al reducir los componentes a energía, se intenta unificar los modelos y principios en algo dinámico que funcione como una forma de matemáticas.

Por consiguiente, los propósitos del libro son 1) ayudar en la enseñanza de la naturaleza y teoría de los sistemas, 2) introducir sistemas de la Naturaleza, de diferentes escalas de tamaño en una forma comparativa, 3) introducir los sistemas ecológicos, 4) usar un lenguaje de energía para generalizar y comparar sistemas naturales y humanos, 5) enseñar el lenguaje de sistemas y enfoques de modelos para entender los sistemas, 6) unificar los conceptos de cinética, dinámica, energética, ambiente, y economía, 7) presentar evidencia para generalizar la jerarquía energética, calidad de la energía, y selección de máximo poder, 8) introducir la teoría de análisis de energía, y 9) buscar un camino más riguroso y total para introducir y unificar la ecología general.

Todo esto representa el texto del curso para graduados que el autor ha impartido en la Universidad de North Carolina (1966-1970) y en la Universidad de Florida (desde 1980). El resultado es un libro

interesante por lo novedoso y por el esfuerzo que se ha hecho para mostrar los modelos en forma gráfica. Los diagramas del lenguaje de energía son atractivos y fáciles de comprender una vez que uno haya observado con atención la decena de símbolos gráficos sencillos y fáciles de diferenciar, con que se elaboran. Es un gran alivio que se presenten estas figuras primero y después se relacionen con las matemáticas, en vez de la acostumbrada y atemorizadora ruta de representar primero a los sistemas con ecuaciones. Es también simultáneamente sintético y analítico: los diagramas muestran la estructura entera y las definiciones con símbolos muestran la relación entre las partes. Fue una agradable sorpresa, por ejemplo, entretenerse con tres diagramas energéticos de tres tipos de fotosíntesis, a saber, de las plantas C_3 , de las C_4 , y de las crasuláceas (pp. 375-376). Igualmente, me entretuve mucho estudiando un diagrama (p. 519) de un ecosistema con "humanos", un cultivo de cacao bajo sombra de árboles de *Erythrina*, en Brasil, descrito por Zevallos y Alvim, en cuya publicación en *Dasonomía Interamericana* intervine como editor.

El libro también desafía el enfoque insumo-producto (input-output) en el análisis de energía, al utilizar un concepto diferente, el de energía incorporada. Por último, esta representación del sistema en términos de energía integrada a él le pone un freno a los modelos matemáticos, los que tienden a desbordarse en extrapolaciones, muchas veces absurdas. Quizás, como dice el autor (p. 582), los diagramas están más cerca a la heterogeneidad del mundo real. Esto se confirma al final del libro, en el que Odum, consciente del uso errado de los modelos y de algunas predicciones como las del Club de Roma, advierte, tal como lo han hecho otros autores como Gardner, Beckerman y Galomb, sobre los peligros y trampas en que puede caer el que elabora un modelo sin seguir

ciertas precauciones. Así, aconseja no extrapolar más allá de la región de ajuste del modelo, no creer que el modelo es la realidad misma, no enamorarse de su modelo, no rechazar datos que están en conflicto con el modelo, y no limitarse a un solo modelo. Estas advertencias realzan los méritos de esta obra.

Es una lástima que un libro de valor, que puede llegar a ser muy importante si sus postulados y su enfoque son aceptados en el futuro, tenga abundantes erratas. Parece que no hubiera habido una esmerada corrección de pruebas antes de la impresión. La página de erratas que se ha agregado al volumen se refiere sólo a fórmulas matemáticas (14 de ellas), en las que hay que cambiar términos de ecuaciones. Pero hay numerosas otras erratas menores. Leslie Holdridge, de quien hay un diagramita (p. 410) de su conocida fórmula para la determinación de las formaciones vegetales del mundo, publicada en 1947, figura en el libro como Holderidge y, en mi opinión, Odum falla en no señalarlo como uno de los primeros en formular un modelo ecológico. Un autor Martini, sin iniciales, en la p. 599, resulta ser T. Martin en la 620. Hay dos Di Toro, D.D. y D.M., en la bibliografía (p. 589) y sólo uno (D.D.) en la lista de autores (p. 617). En una misma página (458), Van Voris (1980) figura también como Von Voris (1978), y se trata del mismo trabajo. Y hay otros más. Quizás habría que agregar a las advertencias del Dr. Odum a estudiantes y estudiosos, otra sobre no dejar de revisar y verificar sus datos cuando publiquen sus modelos de sistemas y hagan referencias bibliográficas.

ADALBERTO GORBITZ
EDITOR EMERITO, IICA
APARTADO 281
2100 GUADALUPE, COSTA RICA

INCIDENCIA DEL ESTADO DE MADUREZ SOBRE EL CONTENIDO DE ACIDO TANICO EN EL GRANO DE SORGO¹ /

O. J. RUBIOLO*, N. B. REINAUDI*, R. M. de TROIANI*, J. VAQUERO**, R. A. DOMINGUEZ**

Abstract

In six grain sorghum hybrids: Pioneer 845, Pioneer 8440, 2 DA 60 R, Litoral 2, Cimarrón y Dorado A, tannic acid equivalentes were determined at 14, 21, 28, 35, and 42 days after anthesis. Significant differences in the harvest time, hybrids and time x hybrids interaction were noted.

Introducción

El sorgo, como grano forrajero, adquiere cada vez mayor importancia. En Argentina, desde el quinto lugar que ocupaba en 1953-1954, pasó al segundo en 1960-1961 (4), y a partir de ese momento se mantiene en esa posición superando al resto de los granos forrajeros, excepto al maíz.

De casi 5 millones de toneladas producidas anualmente, poco menos de 4 millones se exportan y alrededor de 250 000 se utilizan en la industria.

En ambos casos, el contenido de taninos resulta uno de los factores más importantes de la calidad del grano.

En las condiciones que se señalan como causas de la variación de sustancias tánicas contenidas en el grano se encuentran la constitución genética y su estado de madurez (5).

Cuando se aplican ciertas técnicas de producción, como la cosecha anticipada, adquiere mayor importancia el conocimiento de la evolución del contenido de sustancias astringentes luego de la anthesis, ya que ello permitirá adecuar el momento de la cosecha para obtener mejor calidad. Las investigaciones referentes

a la marcha del contenido tánico del grano son divergentes entre sí; mientras que en algunos casos (8) se señala que el contenido de ácido tánico no decrece con la madurez, en otros (5) se muestran variaciones que están relacionadas con el método de cultivo y, además, con el método de extracción a que es sometido.

El presente trabajo tiene por objeto determinar cómo varía el contenido de ácido tánico en función a la evolución ontogénica del grano, bajo las condiciones ambientales locales y demostrar de la existencia o no de diferencias entre híbridos en cuanto a esas variaciones.

Materiales y métodos

Las determinaciones se efectuaron sobre material sembrado durante la campaña 1980-1981 en el campo experimental y de enseñanza de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, situado aproximadamente a 8 km al norte de la ciudad de Santa Rosa (La Pampa – República Argentina).

Se utilizaron los siguientes híbridos de sorgo granífero: Pioneer 8440, 2 DA 60 R, Litoral 2, Cimarrón Dorado A y Pioneer 845; los tres primeros de ciclo largo y los otros de ciclo intermedio. Se seleccionaron estos cultivares en función a las diferencias mostradas en su contenido de ácido tánico a través de determinaciones en campañas anteriores (6).

Las condiciones de cultivo, hasta la recolección de las panojas, fueron las normales para la zona; se hizo hincapié principalmente en la eliminación de malezas

¹ Recibido para publicación el 14 de marzo de 1984.

* Docentes, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa (L.P.), Argentina.

** Técnicos Auxiliares, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Santa Rosa (L.P.), Argentina.

y en la densidad y no se utilizaron agroquímicos con el objeto de evitar interferencias que enmascaran la evolución durante el llenado del grano.

Para cada cultivar se realizó la determinación de equivalentes de ácido tánico en los siguientes momentos: 14, 21, 28, 35 y 42 días a partir de la manifestación del comienzo de la antesis en las primeras panojas; el cultivo fue recorrido diariamente, se rotularon las panojas que mostraban anteras fuera de las flores en la porción superior (primer o segundo día de iniciada la antesis) hasta alcanzar el número de panojas rotuladas por parcela previsto para el análisis. A medida que las mismas alcanzaban el estado requerido se cortaron a razón de tres por tratamiento, las que se procesaron como muestras separadas o repeticiones.

Después de secadas, trilladas, molidas (a través de malla 60) y homogeneizadas, de cada panoja cosechada se pesaron 0.5000 g de muestra y se sometió a un reflujo en medio acuoso durante tres horas a partir de la ebullición. El contenido de ácido tánico se determinó espectrofotométricamente, de acuerdo a Folin-Denis (1) con la inclusión de un centrifugado previo al desarrollo de la reacción cuantitativa (3).

El material se condujo como un diseño aleatorio con tres repeticiones y se analizó como una combinación factorial de 6 cultivares x 5 estados (días desde la antesis). Previo el análisis de varianza, los datos fueron sometidos a una transformación arco-seno para lograr una distribución más aproximadamente normal (7).

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se consignan los valores de contenido tánico, para cada uno de los cultivares, obtenidos semanalmente desde el día 14 a partir de la antesis.

Se encontraron diferencias significativas entre cultivares y entre momentos de cosecha. Aunque se detectó interacción cultivar por época, los promedios de estas últimas indican tendencia a disminuir a medida que se avanza en el periodo de llenado del grano.

En la Figura 1 se representa la evolución del contenido de taninos para cada uno de los participantes en función del tiempo a partir de la antesis. Se reflejan dos tendencias distintas según se trate de híbridos con alto o bajo contenido de taninos logrado a la madurez fisiológica (en este caso día 42).

Las mayores variaciones se demuestran para aquellos cultivares que, a la madurez, presentan alto contenido tánico en el grano (2DA 60 R, Litoral 2) mientras que los otros (Pioneer 8440, Cimarrón, Pioneer 845, Dorado A) no muestran variaciones significativas posteriores al día 21 a partir del principio de la antesis. Estos resultados manifiestan congruencia con los que presentan otros autores (5) si bien las determinaciones fueron realizadas por distintos métodos.

Tales diferencias podrían ser justificadas si se considera que el término sustancias astringentes engloba

Cuadro 1. Contenido de ácido tánico, expresado en equivalentes de ácido tánico, en porcentaje, de las seis híbridas de sorgo en función del momento de corte.

Híbridos	Días a partir de la antesis					Prom. por híbrido
	14	21	28	35	42	
Pioneer 8440	0.90 h	0.36 kl	0.31 l	0.27 l	0.28 l	0.42 b
2 DA 60 R	3.42 a	2.37 cd	3.02 b	2.09 cd	1.83 g	2.55 a
Cimarrón	0.49 ij	0.35 kl	0.32 l	0.31 l	0.33 l	0.36 b
Litoral 2	1.79 g	2.27 d	2.62 c	2.04 ef	2.37 cd	2.22 a
Pioneer 845	0.50 i	0.28 kjl	0.35 kl	0.35 kl	0.32 l	0.36 b
Dorado A	1.08 h	0.43 ijh	0.31 l	0.31 l	0.31 l	0.49 b
Promedio por fecha	1.36 a	1.01 ab	1.16 ab	0.90 b	0.91 b	

Tratamientos seguidos de igual letra no difieren entre sí al nivel de 5% de probabilidades, según test de Tukey, previa transformación arco-seno. Los promedios por fecha y por híbrido se compararon por separado.

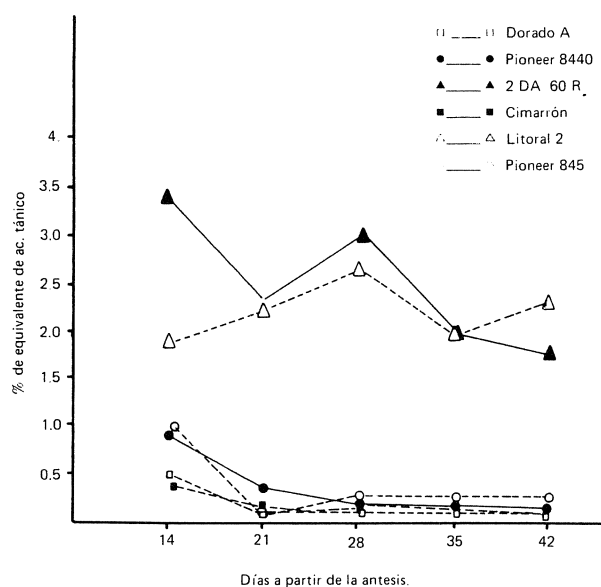


Fig. 1. Evolución del contenido de ácido tánico en función del tiempo.

a compuestos de naturaleza similar pero estructura diferente y durante el proceso de maduración del grano se producen fenómenos de polimerización en alguno de estos compuestos, los que serían la causa de las variaciones halladas (2).

Conclusiones

Si bien los datos analizados corresponden a una sola campaña y se hace necesario obtener mayor información a través de campañas sucesivas, puede concluirse que existen diferencias varietales en cuanto a la evolución del contenido de equivalentes de ácido tánico durante el período de llenado del grano.

Las mayores variaciones son presentadas por aquellos cultivares cuyos cariopses a la madurez contienen alto porcentaje de taninos (2DA 60 R y Litoral 2).

En términos generales, no existen variaciones significativas posteriores al día 21 a partir del comienzo de la antesis.

Resumen

El propósito del presente informe es proporcionar datos para el conocimiento de la evolución de las sustancias astringentes durante el período de maduración del grano, con el objeto de determinar prácticas de recolección y utilización de este producto en alimentación animal como así también utilizar estos resultados para el mejoramiento genético de la especie.

Se presentan los resultados obtenidos sobre material sembrado durante la campaña 1981-1982 en el Campo Experimental y de Enseñanza de la Facultad de Agronomía de la U.N. La Pampa.

Las determinaciones se realizaron cada 7 días a partir del día 14 de iniciada la antesis y se utilizó para ello el método de Folin-Denis.

Se detectaron diferencias significativas entre épocas de recolección, entre híbridos e interacción híbridos por época.

Literatura citada

1. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis. 9th ed. Washington, D.C., 1960.
2. GUPTA, R. K.; HASLAM, E. Vegetable tannins-structure and biosynthesis. In Hulse, J. H., ed. Polyphenols in cereals and legumes. Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Institute of Food Technologist, St. Louis, Missouri, 1979. pp. 15-24.
3. REINAUDI, M. B.; RUBIOLO, O. J.; VAQUERO, J. Algunos factores que afectan la determinación de equivalentes de ácido tánico en muestras de sorgo. Revista de la Universidad Nacional de La Pampa (Argentina), (en prensa).
4. REVISTA DE LA BOLSA DE CEREALES (Argentina). Número Estadístico 1981. Buenos Aires, 1982.
5. ROONEY, L. W. *et al.* Factor affecting the polyphenols of sorghum and their development and location in the sorghum hernel. In Hulse, J. H., ed. Polyphenols in cereals and legumes. Proceedings of the 36th Annual Meeting of the Institute of Food Technologist. St. Louis, Missouri, 1979. p. 38.
6. RUBIOLO, O. J. *et al.* Contenido de taninos, expresado como equivalente de ácido tánico en distintos estados de madurez y diferentes cultivares de sorgo granífero. Revista de la Universidad Nacional de La Pampa (Argentina), (en prensa).
7. SNEDECOR, G.; COCHRAN, W. Métodos estadísticos. México, D.F. Continental., 1981. 703 p.
8. TIPTON, K. W. *et al.* Resistance of certain grain sorghum hybrids to bird damage in Louisiana. Agronomy Journal 62:211-214. 1970.

Reseña de libros

ROSENGARTEN, Jr., FREDERIC. *The Book of Edible Nuts*. New York (USA), Walker and Company, 1984, 384 p.

El libro, con fotografías y dibujos, escrito en inglés, es de mucho interés para aquellas personas que cultivan nueces, tanto como empresario o como un pasatiempo, y para los horticultores profesionales.

También es muy atractivo para el público en general por su buena presentación y apetitosas recetas.

El autor explica al lector que el empleo de la palabra "nuez" en su libro tiene un amplio sentido, para cubrir así el gran rango de frutos y semillas —los cuales en realidad no son nueces desde el punto de vista botánico— ya que es la costumbre referirse a ellos como tales.

La primera parte del libro se divide en doce capítulos, uno para cada una de las siguientes nueces: Almendra (Almond), Castaña de Pará (Brazil Nut), Marañón (Cashew Nut), Castaña (Chestnut), Coco (Coconut), Avellana (Filberts), Nuez de Macadamia (Macadamia), Maní (Peanut), Pacana (Pecan), Pistacho (Pistachio), Semillas de Girasol (Sunflower seeds) y Nogal (Walnut). En esta parte el autor presenta el nombre científico de cada nuez y luego el nombre vulgar en siete idiomas. Estas nueces son más aprovechadas en recetas gastronómicas y consumidas en el período navideño.

Puesto que la semilla es la fuente principal para alimentar la plántula recién establecida, el valor nutritivo de las nueces es de mucha importancia. El autor

muestra en su libro, por medio de un cuadro, la composición alimenticia de varias nueces y semillas.

El autor indica el área geográfica donde cada nuez tiene su origen, presenta algunas referencias históricas, explica su cultivo, incluyendo enfermedades y plagas y cómo controlarlas, cómo se cosechan y procesan comercialmente.

En el capítulo dedicado a la Nuez de Macadamia presenta temas interesantes que cubren la introducción de esta nuez a Hawai procedente de Australia, y su importancia en la economía del primero. Hace pocos años fue introducida en algunos países tropicales americanos. El autor se refiere a la gran demanda potencial para Macadamia en los mercados poco explotados de los Estados Unidos de América, América Latina, Europa, el Lejano Oriente y África.

La segunda parte del libro incluye treinta nueces de menor importancia. En algunos casos no son nueces, como el "Litchi", que en realidad es un fruto, y el "Water Chestnut", que es un bulbo o tubérculo. En esta sección, el autor describe la nuez Betel, que quita el apetito y sirve como un estimulante suave; la nuez Cola, también estimulante; la nuez Jojoba, el único sustituto para el aceite de ballena (Cachalote). La parte dedicada a cada nuez es más corta pero incluye su área de origen, una descripción de la planta, los usos de la nuez y contenido nutritivo.

Se encuentra un glosario de términos técnicos utilizados en el texto y finalmente una bibliografía de más de 300 citas bibliográficas.

Es posible que daría mucho gusto y satisfacción, a cualquier persona interesada en el cultivo de nueces, tener este libro en su propia biblioteca.

ARNOLD L. ERICKSON
CATIE, TURRIALBA
COSTA RICA

CHEMICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF SELECTED ACID SOILS OF THE STATE OF PARANA, BRAZIL¹

M. A. PAVAN*
F. T. BINGHAM*
P. F. PRATT*

Resumen

Se realizaron experimentos de laboratorio para estudiar las propiedades químicas y mineralógicas de siete suelos ácidos del sur de Brasil. En estos suelos dominó la caolinita como mineral de arcilla y se detectó gibsita y hematita en proporciones menores. No se detectó minerales de arcilla tipo 2:1. Estos suelos meteorizados presentaron CIC permanente bajo que varió de 1.05 me/100 g (Ultisoles) a 2.4 me/100 g (Oxisoles). Al pH de campo (4.0-4.5) la CIC (en KCl) varió de 1.43 me/100 g (Ultisoles) a 5.94 me/100 g (Oxisoles). La CIC a pH 8.2 varió de 5.8 me/100 g (Ultisoles) a 43.80 me/100 g (Oxisoles). La alta CIC propia del pH de estos suelos dependía principalmente de la materia orgánica. La CIA a pH 2.0 varió de 3.2 me/100 g (Ultisoles) a 4.4 me/100 g (Oxisoles) mientras que aquello a pH 7.0-7.5 era demasiado baja para medir. El PCZ varió de 2.7 para Oxisoles a 3.5 para Ultisoles. El PCZ más bajo de los horizontes superficiales de los Oxisoles se debía, probablemente, a su mayor contenido de materia orgánica.

Se extrajo mayores cantidades de Al con CaCl_2 que con KCl y la diferencia era más pronunciado para los suelos con más materia orgánica. La cantidad de Al extraída con NH_4OA_c (pH 4.8) era considerablemente mayor que aquella que se extrajo con soluciones de KCl o CaCl_2 . El Al no intercambiable y el C orgánico de los suelos indicaron una correlación alta.

Introduction

Although the State of Paraná, Brazil, has extensive areas of acid soils under cultivation for beans (*Phaseolus vulgaris*), coffee (*Coffea arabica*), corn (*Zea mays*), rice (*Oryza sativa*), soybeans (*Soya max*), and wheat (*Triticum* spp), little infor-

mation is available on the chemical and mineralogical properties of these soils. These soils require lime and complete fertilizers for maximum production. The liming practice is, in general, based upon soil pH rather than upon mineralogical-chemical properties.

The authors initiated a study of the liming requirements of soils collected from the major cultivated areas of Southern Brazil. The focus of this study was upon available Al, i.e., KCl extractable, % Al saturation, and soil solution Al species as affected by application of CaCO_3 , MgCO_3 , and CaSO_4 with reference to the coffee plant. Results of this phase of the study have been published by Pavan *et al.* (14). In order to evaluate more completely the effects of the amendment treatments, were characterized the chemical-mineralogical properties of these soils, particularly the properties influencing Al chemistry and charge characteristics. The results of this chemical-mineralogical characterization are discussed in this paper.

1 Received for publication in May 7, 1984.
Contribution from the Dep. of Soil and Environmental Sciences, University of California, Riverside, CA 92521. Part of a dissertation presented by the senior author in partial fulfillment of requirements for the Ph.D. degree at the University of California, Riverside.
Gratitude is expressed to Ms. Amahia de Camargo Potier for her careful typing of the manuscript

* Former graduate student, Professor, and Professor of Soil Science, respectively. The senior author's address is: Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), C. P. 1331, CEP 86100, Londrina, PR, Brazil.

Materials and methods

Seven highly acid soils were selected from the 0 to 30 cm horizon of uncultivated sites from potential agricultural areas throughout the State of Paraná, Brazil for laboratory study. Figure 1 shows the location of State of Paraná. The specific locations of the sites sampled are given in Table 1. Bulk lots of the soils were air dried and passed through a 2.0 mm screen preparatory for chemical and mineralogical analysis.

Chemical analysis

Extraction of exchangeable cations (Ca, Mg, and Al) was carried out with a NH_4Cl solution following the technique described by Lin and Coleman (6). Extraction with N CaCl_2 solution was also carried out to obtain a measurement of exchangeable Al (1). In addition, a $\text{N NH}_4\text{OAc}$ solution (pH 4.8) was used to extract Al (15). For the present discussion, Al extracted with buffered solution (NH_4OAc at pH 4.8) is referred to as "exchangeable plus non-exchangeable Al" and that extracted with unbuffered solutions (KCl or CaCl_2) will be referred to as "exchangeable Al". The difference between the two fractions is referred to as "non-exchangeable Al".

Available K and P were measured by the extraction procedure originally developed by Nelson *et al.* (10) and subsequently modified by Vettori (22). This procedure uses a solution of 0.05 N HCl and 0.025 $\text{N H}_2\text{SO}_4$ as the extractant. The organic C in soil was determined by the procedure described originally by Walkley (23). The CEC at soil pH was determined by using unbuffered solutions of N KCl and N CaCl_2 following the technique described by



Fig. 1. Map of Brazil showing the location of the State of Paraná.

Fiskell (3). The CEC was measured also at pH 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, and 8.2 with buffered solution of Ba(OAc)_2 - TEA technique described by Pratt (16).

The pH-dependent CEC of soils was calculated as the difference between CEC measured at pH 8.2 and 4.0. The contribution of clay to the pH-dependent CEC was measured by removing the organic matter from soils by repeated treatments with H_2O_2 of a soil suspension heated on a steam plate. After the organic matter had been removed, a buffered Ba-saturating solution was used to determine the CEC of the clay.

Table 1. Soil types according to soil taxonomy, associated location, and particle size.

Soil No.	Classification	Location		Particle size		
		Longitude West Greenwich	Latitude South	Clay	Silt %	Sand
1	Haplusthox	51° 28'	23° 34'	75	15	10
2	Eutrothox	51° 28'	24° 00'	56	16	28
3	Tropudults	51° 22'	22° 62'	16	2	82
4	Haplusthox	51° 08'	23° 20'	81	15	4
5	Tropudults	48° 50'	25° 30'	28	23	49
6	Eutrothox	50° 40'	23° 40'	50	11	39
7	Organic	49° 02'	25° 30'	70 ¹	19 ¹	11 ¹

1 Particle size class of mineral fraction after destruction of organic matter with H_2O_2 at low heat.

fraction at pH values from 4.0 to 8.2 (16). The contribution of organic matter to the pH-dependent CEC of soil was calculated as the difference between pH-dependent CEC of soil and the value obtained from the contribution of clay to pH-dependent CEC of soil. Any interactions between clay and organic matter is ignored in these calculations of pH-dependent CEC.

The permanent charge CEC of soil was determined by equilibrating the soil with 0.02 N HCl, removing excess HCl with deionized water, replacing the H^+ plus Al^{3+} with N KCl solution, and titrating the acidity of the KCl extract (18).

The method used to determine the distribution of electric charge of soil is based upon the procedure developed by Schofield (20). The positive and negative charge of soils were determined by measuring the absorption of both anion and cation from 0.2 N KCl solution as a function of suspension pH. The pH of the suspensions were adjusted to 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, and 8.0 with HCl or KOH. The adsorbed K and Cl and entrapped KCl were replaced with N Na_2SO_4 . The technique used for determining entrapped KCl was essentially that described by Morais *et al.* (9) in which the tare weight of the soil plus container was known and the container plus soil plus entrapped solution was determined after equilibration with a solution of known KCl concentration. The volume times concentration gives the amount of entrapped KCl.

Aluminum, Ca, Mg, and Ba were determined by atomic absorption spectrophotometry (AAS). How-

ever, the AAS procedure for Ca and Mg entailed the use of lanthanum to eliminate interferences (24). Potassium was determined by a flame photometric method while chloride was determined colorimetrically (12).

Mineralogical analysis

Mineral components of $\leq 2 \mu m$ fraction of the soils were qualitatively identified by Whitting's (25) method with the modification of not removing iron oxides, carbonates, and organic matter as originally specified. X-ray diffractograms were obtained with an X-ray unit equipped with a copper tube and a nickel filter. X-rays were generated from a copper element tube at 35 KV and 15 mA. The samples were scanned from 2° to 60° .

Results and discussion

CEC relations

Data pertaining to exchangeable cations and their summation ($Al+Ca+Mg+K$) are reported in Table 2. Only a small proportion of the exchange capacity was balanced by basic metals. Aluminum was the dominant cation in the cation exchange complex. The effective CEC at native soil pH as calculated by the sum of cations is compared in Table 2 with CEC measured by unbuffered salt solutions (KCl and $CaCl_2$) and buffered salt solution $Ba(OAc)_2$ -TEA at pH 8.2. The sum of the exchangeable cations was related more closely to the KCl-CEC values than to the $CaCl_2$ -CEC values. The CEC values measured

Table 2. Chemical properties of the soils: exchangeable cations (Al, Ca, Mg, and K), CEC, and permanent charge-CEC.

Soil No.	pH(H ₂ O) 1:1	Exchangeable cations				CEC				Permanent Charge-CEC
		Al	Ca	Mg	K	Σ	KCl	CaCl ₂	Ba(OAc) ₂ -TEA pH 8.2	
						Cations				
						me/100 g				
1	4.2	2.31	1.77	0.40	0.38	4.86	4.82	5.19	24.40	1.60
2	4.0	2.86	0.60	0.22	0.19	3.87	4.31	5.59	43.80	1.72
3	4.3	0.55	0.60	0.20	0.34	1.69	1.43	2.11	5.80	1.05
4	4.3	1.77	1.76	0.47	0.34	4.34	4.73	5.15	23.90	2.00
5	4.1	2.00	0.90	0.50	0.19	3.59	3.82	4.49	14.55	2.02
6	4.2	4.11	0.96	0.35	0.22	5.64	5.94	7.55	30.90	2.24
7	4.5	7.36	0.80	0.36	0.23	8.75	14.60	15.18	88.50	4.94

with buffered $\text{Ba}(\text{OAc})_2$ -TEA at pH 8.2 showed that a large proportion of the exchange sites of these soils were pH-dependent

For soil 1 to 6, inclusive, the sums of exchangeable cations agree quite well with the CEC values measured by KCl and they are only slightly smaller than the CEC values measured by CaCl_2 . However, for soil 7 the sum of cations is much smaller than these CEC values. One explanation for this difference for soil 7 is that it might have contained exchangeable H^+ . The analytical procedures did not involve a determination of exchangeable H^+ because the large accumulation of information on soil acidity during the past three decades shows that essentially all of the exchangeable acidity in mineral soils is exchangeable Al. But, soil 7 is an organic soil for which the main component of the CEC was undoubtedly from humus. The CEC-pH curve (Figure 2) and the absolute values for CEC support the conclusion that a large fraction of the CEC in soil 7 is contributed by the organic colloids which possibly favor adsorbed H^+ as compared to adsorbed Al^{3+} .

Table 2 also shows the values for permanent charge CEC of soils. Coleman *et al.* (2) pointed out that there is a relationship between permanent charge of soils and clay type minerals, viz, low values are indicative of kaolinite. Kaolinite is the dominant mineral in the clay fraction of these soils.

The effect of pH on soil CEC- $\text{Ba}(\text{OAc})_2$ -TEA is shown in Figure 2. These data show a relationship between pH of the buffered solution and CEC. There are three distinct pH-CEC regions of the curves: (i) There is a small increase per unit of CEC from pH 4.0 to 5.0; (ii) a greater increase in CEC from pH 5.0 to

6.0; and (iii) a marked increase in CEC between pH 6.0 to 8.2. The latter increase in CEC was evidently associated with organic matter since the soils which attained the highest CEC values were the soils richest in organic matter. Soils 2, 6, and 7 which had the highest levels of organic matter showed a greater increase in CEC above pH 5.0, whereas soil 3, which has the lowest level of organic matter and clay, showed the smallest increase in CEC with pH. Such a relationship between CEC and organic matter has been reported by Schofield (20), Pratt (16), Kamprath and Welch (5), and McLean and Owen (7).

The contribution of clay and organic matter to the soil CEC is reported in Table 3. The contribution of organic C to the pH-dependent CEC of soil was on

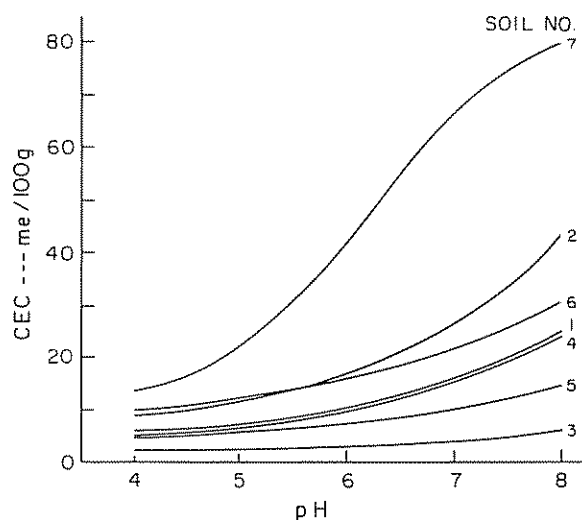


Fig. 2 CEC values of soils in relation to soil pH

Table 3. The pH-dependent CEC of soils, and the contribution of organic C and clay to pH-dependent CEC of soils.

Soil No.	pH-dep. CEC	Clay pH-dep. CEC	Org. C pH-dep. CEC	Clay %	pH-dep. CEC of clay me/100 g	Org. C %	pH-dep. CEC of org. C me/100 g
	me/100 g						
1	19.25	5.00	14.25	75	6.70	1.71	833
2	35.85	3.68	32.17	56	6.57	4.46	721
3	3.70	0.45	3.25	16	2.81	0.44	739
4	18.40	4.38	14.02	81	5.40	1.84	762
5	9.95	2.75	7.20	28	9.82	1.46	492
6	21.90	1.17	20.73	50	2.34	2.42	857
7	68.00	8.00	60.00	70	11.40	18.59	323

an averaged basis 83% of the CEC values for the seven soils studied. The pH-dependent CEC of clay was lower than the pH-dependent CEC of organic C. Although these Oxisols contain high clay contents, these soils manifested a low pH-dependent CEC for the clay fraction, possibly because these soils have a "low activity" clay. Evidently the pH-dependent CEC of these soils was primarily associated with organic matter.

Al relationships

Table 4 contains values for KCl- and CaCl_2 -Al and NH_4OAc (pH 4.8)-extractable Al. The amount of Al extracted with CaCl_2 was greater than that extracted with KCl, the difference being more pronounced for soils containing relatively large amounts of organic matter. Pionke and Corey (15) reported that the addition of a salt solution increased the concentration of Al in the soil solution, altering the equilibrium in favor of the formation of Al organic matter complexes. They found that organic exchange sites in unlimed soils were less affective for adsorbing K from KCl than Ca from CaCl_2 . Thus, less Al would be extracted with KCl than with CaCl_2 in soils containing Al bound with organic matter.

The amount of Al extracted with NH_4OAc (at pH 4.8) was approximately three times greater than that extracted with either KCl or CaCl_2 solutions. Pratt and Bair (17), McLean *et al.* (8), and Igue and Fuentes (4), found that NH_4OAc at pH 4.8 released more Al than KCl for soils containing similar amounts of organic matter. The difference between Al extracted with NH_4OAc (pH 4.8) and KCl solution, referred to as the non-exchangeable fraction, correlated closely

with organic C content of soils ($R=0.90^{**}$). These data indicate that the Al complexed with organic matter was virtually non-exchangeable with KCl, but somewhat extractable with NH_4OAc at pH 4.8 and hence was included in the non-exchangeable Al fraction. Similar relationship between non-exchangeable Al and organic C content of Brazilian soils has been reported by Pavan (13).

Distribution of charges

The effect of pH on distribution of positive and negative charges of soils as measured by adsorption of K^+ and Cl^- ions from 0.2 N KCl is shown in Table 5. These soils were separated into Oxisols and Ultisols. For all soils used in this study, the positive charge tended to decrease and the negative charge tended to increase as the pH was raised. The marked increase of negative charge with pH was a reflection of the pH-dependent CEC of these surface soils. The zero point of charge (ZPC) of these soils was obtained by plotting the net charge against pH. The value of the soil solution at which there was no net charge is reported in Table 5. The ZPC values obtained varied from 2.7 (Oxisol) to 3.5 (Ultisol) which are within the range of ZPC values expected for kaolinite. Parks (11) reported ZPC values for kaolinite to be pH 3.5. The lower ZPC value obtained for the Oxisols may be due to the soils's higher content of organic matter and higher permanent-CEC charge. According to Van Raij and Peech (21) and Parks (11), organic matter lowers the ZPC of soils. The results of the present study are in accord with observations of Brazilian soils by Van Raij and Peech (21) and Moraes *et al.* (9). The CEC values measured with buffered $\text{Ba}(\text{OAc})_2$ -TEA were consistently higher than those measured at

Table 4. Amount of exchangeable Al (KCl and CaCl_2), extractable Al (NH_4OAc at pH 4.8), and nonexchangeable Al (NH_4OAc at pH 4.8 - KCl) of soils.

Soil No.	Exchangeable Al		Extractable Al	Nonexchangeable Al
	KCl (2)	CaCl_2 (3)	NH_4OAc pH 4.8 (4)	4 - 2 (5)
	me/100 g			
1	2.31	2.38	8.40	6.09
2	2.86	3.70	12.63	9.77
3	0.55	0.59	1.68	1.13
4	1.77	1.81	6.30	4.53
5	2.00	2.20	4.18	2.18
6	4.11	4.31	12.76	8.65
7	7.36	9.80	34.35	26.99

Table 5. Negative and positive charges, and zero point of charge (ZPC) for surface soils at different pH values.

Soil	pH	Charges in 0.2 N KCl			ZPC
		Neg.	Pos. me/100 g	Net	
Ultisol	2.0	1.8	3.2	+ 1.4	3.5
	3.1	2.0	2.8	+ 0.8	
	4.1	4.6	2.5	- 2.1	
	5.0	5.8	2.1	- 3.7	
	5.8	7.5	1.9	- 5.6	
	6.4	8.8	1.1	- 7.7	
	7.9	12.6	0.8	- 11.8	
Oxisol	2.0	2.2	4.4	+ 2.2	2.7
	3.2	3.6	2.8	- 0.8	
	4.2	9.2	2.4	- 6.8	
	4.9	10.6	0.9	- 9.7	
	5.7	14.8	0.8	- 14.0	
	6.3	18.0	0.5	- 17.5	
	7.5	26.8	0.2	- 26.6	

low solution electrolyte (0.2 N KCl). This aspect of electrolyte solution effect on CEC measurement of tropical soil has been discussed by Van Raij and Peech (21)

Mineralogy

Qualitative mineralogy for the $\leq 2 \mu\text{m}$ soil fraction is shown in Table 6. Kaolinite was the only clay mineral present in all soils. Hematite, gibbsite, and quartz were present in smaller amounts. The hematite peaks were more evident in Oxisols than in Ultisols. Hematite was almost absent in soil 5 (Ultisol). The presence of gibbsite minerals were more evident in soils 2 and 6 (Oxisol) and least in other soils. Quartz was identified in soils 3 and 5 (Ultisols) only. The presence of these mineral compounds suggest that these soils have undergone strong chemical weathering. Clay minerals of the 2:1 type were not detected for these soils. Similar mineralogical characteristics for Brazilian soils have been reported by Pratt *et al.* (19).

Soil management implications

Oxisols are the principal soils in many parts of Brazil. There are extensive agricultural areas in the State of Paraná that have Oxisols. The selected soils used in the present study showed highly acid, low CEC, high % Al saturation, and low base saturation

in the surface horizons. Hydrous oxides and kaolinite are the main minerals in the clay fraction in these soils.

The low CEC values in association with heavy rainfall results in the removal of macro- and micro-nutrients. The high levels of Al saturation also creates an unfavorable soil condition for most crop species. Consequently, special management techniques must be used in an attempt to neutralize Al and to supply basic cations for the nutritional needs of most crops.

Table 6. Dominant minerals in the $\leq 2 \mu\text{m}$ soil fraction.

Soil No	Minerals ¹
1	Kaolinite, hematite, and gibbsite ²
2	Kaolinite, gibbsite, and hematite ²
3	Kaolinite, hematite, quartz, and gibbsite ²
4	Kaolinite, hematite, gibbsite ²
5	Kaolinite, quartz, gibbsite, and hematite ²
6	Kaolinite and gibbsite

1 Minerals are listed in order of peak intensities

2 Trace

Liming these soils appears to be a routine practice to neutralize the soil acidity, to supply adequately nutrients (Ca and Mg), and to increase the availability of other nutrients as well

Properties, such as content of organic matter, CEC, degree of Al saturation, and rainfall characteristics control to varying degrees the effectiveness of lime and fertilizer applications. Although these factors are interrelated, the content of organic matter undoubtedly exerts an influence on the physical and chemical properties of Oxisols

The high rainfall (1 600 mm per year) creates problems of soil erosion and conservation. In fact, annual crops require special management to prevent losses of soil, organic matter (by erosion itself or by acceleration of mineralization) and nutrients. Also perennial crops require soil erosion control, specially during the earlier stages of growth. The inter rows of coffee plantation, for example, are maintained under continuous vegetation during the rainfall season.

Regarding fertilizer management, the high rainfall and low CEC of these soils make it necessary to use split applications of nitrogen and potassium to minimize losses by leaching. The presence of hydrous oxide contents suggest high phosphate fixation capacity for these soils. Dolomitic lime is expected to be effective for these soils. More specifically, dolomitic lime combined with gypsum might be the best amendments for these soils. Dolomitic lime effects (decrease exchangeable Al, increase pH, CEC, and exchangeable Ca and Mg) are limited to the top-soil while the gypsum effects (decrease exchangeable Al, increase exchangeable Ca, no change – pH or CEC, and improve sulfate status in soil) are manifested throughout the soil profile.

Conclusion

The inorganic fraction of these Oxisols and Ultisols was dominated by 1:1 layer silicates (kaolinite). Hematite, gibbsite, and quartz were present in smaller amounts. There was a relationship between permanent charge CEC of soils and clay type minerals. These soils exhibited a low permanent charge CEC which is to be expected because of their kaolinitic character. However, the CEC of these soils increased as the pH was increased. The high pH-dependent CEC was primarily associated with organic matter. The non-exchangeable Al and organic matter content of soils were highly correlated.

The ZPC values for these surface soils fall within the range expected for kaolinite, averaging 2.7 for the Oxisols and 3.5 for the Ultisols. The higher ZPC of

Oxisols was probably due to its higher content of organic matter. In general, the organic matter content of Oxisols exceeded that in Ultisols.

Summary

Laboratory experiments were conducted to study chemical and mineralogical characteristics of seven acid soils from southern Brazil. Kaolinite was the dominant clay mineral present in these soils. Gibbsite and hematite were detected in smaller proportion. Clay minerals of the 2:1 type were not detected. These weathered soils showed a low permanent CEC varying from 1.05 me/100 g (Ultisol) to 2.24 me/100 g (Oxisol). At the field pH (4.0 to 4.5) the CEC (KCl) varied from 1.43 me/100 g (Ultisol) to 5.94 me/100 g (Oxisol). The CEC at pH 8.2 varied from 5.8 me/100 g (Ultisol) to 43.80 me/100 g (Oxisol). The high pH-dependent CEC of these soils was associated with organic matter mainly. The AEC at pH 2.0 varied from 3.2 me/100 g (Ultisol) to 4.4 me/100 g (Oxisol) while that at pH 7.0 – 7.5 was immeasurably small. The ZPC varied from 2.7 for Oxisols to 3.5 for Ultisols. The lower ZPC for the surface horizon of Oxisols was probably due to their higher amount of organic matter.

The amount of Al extracted with CaCl_2 was greater than that extracted with KCl and this difference was more pronounced for soils containing larger amounts of organic matter. The amount of Al extracted with NH_4OAc (pH 4.8) was considerably greater than that extracted with KCl or CaCl_2 solutions. The non-exchangeable Al and organic C of soils were highly correlated.

Literature cited

1. CLARK, J. S. The extraction of exchangeable cations from soils. *Canadian Journal of Soil Science* 45(2):311-322. 1965.
2. COLEMAN, N. T., WEED, S. B. and McCracken, R. J. Cation exchange capacity and exchangeable cations in Piedmont soils of North Carolina. *Soil Science Society of America Proceedings* 23(2):146-149. 1959.
3. FISKELL, J. G. A. Cation-exchange capacity and component variations of soils of southeastern USA. *Soil Science Society of America Proceedings* 34(5):723-727. 1970.
4. IGUE, K. and FUENTES, R. Characterization of aluminum in volcanic ash soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 36(2):292-296. 1972.

5. KAMPRATH, E. J. and WELCH, C. D. Retention and cation-exchange properties of organic matter in coastal plain soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 26(3):263-265. 1962.
6. LIN, C. and COLEMAN, N. T. The measurement of exchangeable aluminum in soils and clays. *Soil Science Society of America Proceedings* 24(6):444-446. 1960.
7. McLEAN, E. O. and OWEN, E. J. Effects of pH on the contributions of organic matter and clay to soil cation-exchange capacities. *Soil Science Society of America Proceedings* 33(6):855-858. 1969.
8. McLEAN, E. O., REICOSKY, D. C. and LAKSHMANAN, C. Aluminum in soils: VII Interrelationships of organic matter, liming and extractable aluminum with "permanent charge" (KCl) and pH-dependent cation-exchange capacity of surface soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 29(4):374-378. 1965.
9. MORAIS, F. I., PAGE, A. L. and LUND, L. J. The effect of pH, salt concentration, and nature of electrolytes on the charge characteristics of Brazilian tropical soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 40(4):521-527. 1976.
10. NELSON, W. L., MEHLICH, A. and WINTERS, E. The development, evaluation, and use of soil tests for phosphorus availability. *Agronomy* 4(2):153-188. 1953.
11. PARKS, G. A. Aqueous surface chemistry of oxides and complex oxide minerals. Isoelectric point and zero point of charge. In: Stumm, W. (ed.) *Equilibrium concepts in natural water systems*. Washington, D.C. Advanced in Chemistry Series No. 67. 1967. pp. 121-160.
12. PAVAN, M. A. Toxicity of Al (III) to Coffee (*Coffea arabica*, L.) in nutrient solution culture and in oxisols and ultisols amended with CaCO_3 , MgCO_3 , and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Ph.D. Thesis Riverside, California University. 1981. 214 p.
13. PAVAN, M. A. The relationship of non-exchangeable, exchangeable and soluble Al with pH, CEC, Al saturation, and organic matter in some soils of the State of Paraná, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 7(1):39-46. 1983.
14. PAVAN, M. A., BINGHAM, F. I. and PRATT, P. F. Toxicity of aluminum to coffee in ultisols and oxisols amended with CaCO_3 , MgCO_3 , and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *Soil Science Society of America Proceedings* 46(6):1 201-1 207. 1982.
15. PIONKE, H. B. and COREY, R. B. Relations between acidic aluminum and soil pH, clay, and organic matter. *Soil Science Society of America Proceedings* 31(6):749-752. 1967.
16. PRATT, P. F. Effect of pH on the cation-exchange capacity of surface soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 25(2):96-98. 1961.
17. PRATT, P. F. and BAIR, F. L. A comparison of three reagents for the extraction of aluminum from soils. *Soil Science* 91(6):357-359. 1961.
18. PRATT, P. F. and ALVAHYDO, R. Cation exchange characteristics of soils from the State of São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 1:401-406. 1966.
19. PRATT, P. F., PETERSON, F. F. and HOLZHEY, C. S. Qualitative mineralogy and chemical properties of a few soils from São Paulo, Brazil. *Turrialba* 19(4):491-496. 1969.
20. SCHOFIELD, R. K. Effect of pH on electric charges carried by clay particles. *Journal of Soil Science* 1(1):1-8. 1949.
21. VAN RAIJ, B. and PEECH, M. Electrochemical properties of some oxisols and alfisols of the tropics. *Soil Science Society of America Proceedings* 36(4):587-593. 1972.
22. VETTORI, L. Métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Brasil, Divisão de Pedologia e Fertilidade do solo, Boletim Técnico No. 7. 1969. 24 p.
23. WALKLEY, A. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils. Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science* 63(2):251-264. 1947.
24. WEBBER, M. D. Atomic absorption measurements of aluminum in plant digests and neutral salt extracts of soils. *Canadian Journal of Soil Sciences* 54(1):81-87. 1974.

- 25 WHITTIG, L. D. X-ray diffraction techniques for mineral, identification and mineralogical composition. In: Black C. A. *et al.* eds.

Methods of soil analysis. Madison, Wis. American Society of Agronomy. 1965. Part 1 pp. 671-698.

Reseña de libros

STAPLES, R. C. and TOENNIESSEN, G. H. Salinity tolerance in plants. John Wiley & Sons, 1984. 443 p.

Tradicionalmente la agricultura moderna se ha desenvuelto en dos campos: el técnico y el científico. La interacción entre estos tiende a ser cada vez más fuerte porque las necesidades de alimentos y de materias primas de origen vegetal son más apremiantes cada día y los problemas agrícolas se agudizan rápidamente. "Salinity Tolerance in Plants —Strategies for Crop Improvement"— es un libro que ilustra perfectamente el anterior aserto, ya que nos presenta una visión amplia y actualizada del conocimiento científico sobre los mecanismos que utiliza la planta para acomodarse a situaciones de alta salinidad en el suelo y el agua. También se analizan en él las nuevas estrategias desarrolladas por un conjunto de genetistas y fisiólogos vegetales, quienes se han propuesto modificar la capacidad hereditaria de ciertas especies glicófilas de alto valor económico (arroz, trigo, cebada), para que eventualmente se adapten a condiciones salinas y posiblemente a otras situaciones ambientales adversas, como alta temperatura, sequía, etc.

La obra es producto del trabajo editorial de Richard C. Staples, de la Universidad de Cornell y de Gary H. Toennissen, de la Fundación Rockefeller, EEUU, y reúne las disertaciones de distinguidos hombres de ciencia de varios países, quienes se reunieron en una Conferencia Internacional que se llevó a cabo en Bellagio, Italia, en 1983, bajo los auspicios de la Fundación Rockefeller. Al respecto creemos que es de justicia reconocer públicamente tanto a la Fundación como a la Editorial John Wiley & Sons, el haber hecho posible nuestro acceso a tan valiosa información en un período relativamente corto.

"Salinity Tolerance in Plants —Strategies for Crop Improvement" consta de tres partes. En la primera se enfocan, a través de 12 capítulos, los mecanismos de tolerancia a las sales. A nivel citológico y fisiológico se discuten los fenómenos de absorción, intercambio y exclusión de iones, según ocurren en las raíces y follaje de plantas halófilas y glicófilas, para desembocar en un análisis ecológico de la adaptación, por evolución, a medios salinos. Este conocimiento es fundamental para pasar al examen de nuevas vías en el mejoramiento genético de las plantas, lo cual constituye la segunda parte del libro.

Considerando que Latinoamérica tiene cerca del 20% de los suelos mundiales clasificados entre moderada a fuertemente salinos, que en algunas partes de nuestro hemisferio el uso de esas tierras puede ser importante a corto plazo, que la adopción de tal medida obligaría a emplear cultivares (variedades) resistentes o al menos tolerantes al estrés salino y, finalmente, que son muy pocas las especies botánicas —y menos aún los cultivares— que se caracterizan por crecer y producir eficientemente en ambientes ecológicamente limitantes, es fácil comprender el alto valor teórico y práctico de los conocimientos condensados bajo el título: Selección de Cultivos y Mejoramiento. Es oportuno señalar que aquí el enfoque se aparta de los métodos seguidos tradicionalmente por el fitomejorador, cuando manipula la composición genética de las plantas con miras a obtener cultivares de mayor producción de alimentos en ambientes favorables desde el punto de vista agrícola. Ahora que ha llegado el momento de encarar el problema de tener que utilizar en agricultura tierras marginales y de que es prácticamente imposible o antieconómico pretender cambiar el ambiente en grandes extensiones, como en efecto lo son las afectadas por la acumulación de sales inorgánicas, el reto para los científicos es modificar la constitución genética de la planta para que ésta se ajuste al ambiente hostil. Este es el mensaje que se nos comunica por medio de 7 capítulos, in-

teligentemente colocados y desarrollados en la segunda parte del libro. La discusión cubre los aspectos genéticos del cruzamiento y la selección por tolerancia al exceso de sales, en plantas como el arroz, el trigo y la cebada; abarca también el papel de las halófilas en la agricultura bajo regadío y examina la genética fisiológica de la resistencia salina en las llamadas plantas superiores, profundizando hasta los niveles celular y molecular del problema. Se nos presenta una idea clara del progreso hecho en este campo, así como del trabajo que resta por hacer. Aunque todavía no se han producido cultivares tolerantes a las sales, se espera que tal cosa ocurra al finalizar la presente década.

En la tercera parte, aunque es relativamente corta y de contenido más heterogéneo que las precedentes, encontramos temas muy importantes, como los tratados en los capítulos 20 y 21, que versan sobre el cultivo de plantas en agua salobre bajo condiciones agrícolas controladas, y sobre un análisis económico de las estrategias de fitomejoramiento para satisfacer condiciones salinas. En el último capítulo se discute

la situación alimentaria a escala mundial, así como el papel que pueden desempeñar las plantas tolerantes al exceso de sales, como un nuevo recurso al servicio de la humanidad.

Definitivamente, "Salinity Tolerance in Plants - Strategies for Crop Improvement" es un libro ejemplar desde muchos puntos de vista. Estimamos que debe ser analizado cuidadosamente tanto por estudiantes como por profesores de agronomía, horticultura y biología. También pueden ser una excelente obra de referencia para los señores políticos, en cuyas manos está la responsabilidad de propiciar el mejoramiento de la enseñanza superior y la investigación científica y tecnológica en que debe sustentarse nuestro desarrollo agrícola y por ende el socio-económico de Latinoamérica.

EDUARDO JIMENEZ SAENZ
ESCUELA DE BIOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

SOIL NITROGEN CHANGES, EARLY GROWTH, AND RESPONSE TO SOIL INTERNAL DRAINAGE OF A PLANTATION OF *Alnus jorullensis* IN THE COLOMBIAN HIGHLANDS¹ /

P. J. CARLSON*

J. O. DAWSON*

Resumen

El crecimiento inicial de una plantación de Alnus jorullensis H. B. K. (= A. acuminata H. B. K.) a 2300 msnm en el sur de Colombia fue rápido, alcanzando después de 2 años una altura máxima de 8.0 m y un promedio de 6.2 m en los mejores sitios. Se estimó que en la plantación con una densidad de 1200 árboles/ha, la producción de madera seca fue de 6.4 toneladas/ha.

El drenaje interno del suelo (orgánico arenoso de origen volcánico) tuvo gran influencia tanto sobre el crecimiento del Alnus como sobre los cambios de nitrógeno en el suelo. En áreas con buen drenaje el crecimiento del Alnus fue mejor que en aquellas con drenaje deficiente. En áreas pantanosas el Alnus sobrevivió pero su crecimiento fue menor. El crecimiento del Alnus se correlacionó con el porcentaje de cobertura del pasto kikuyo (Pennisetum clandestinum Hochst.) ($r^2 = 0.93$), sugiriendo que el kikuyo puede servir como indicador de sitios favorables para la siembra de Alnus. El Alnus resistió bien la presencia del kikuyo.

Las raíces tuvieron una gran cantidad de nódulos que a su vez produjeron un inoculum capaz de inducir la producción de nódulos en plántulas de Alnus rubra Bong. cultivadas asépticamente in vitro.

Por estas características favorables, el Alnus jorullensis parece ser de un gran potencial para la reforestación en climas húmedos de tierra fría en Centroamérica y Suramérica.

Introduction

Alnus is one of at least 19 known genera of actinorhizal plants in the world that form root nodules in symbiosis with nitrogen-fixing actinomycetes of the genus *Frankia* (1, 11, 44). Although most alder species are found in temperate regions of the northern hemisphere, several alder species, including *A. jorullensis* H. B. K. are native to the cool tropical highlands of Central and South America where it is often referred to synonymously

with *A. acuminata* H. B. K. (18). Alders have been widely planted and they become nodulated in soil, even outside of their native ranges (10).

Estimates of annual nitrogen fixation by alders vary widely because of differences in species, climate, and experimental techniques used by investigators (42). Lawrence (28) estimated that a 5-year-old thicket of *A. sinuata* (Reg.) Rydbert may fix 155 kg/ha of N annually, while Crocker and Major (6) estimated that nitrogen accretion in soil under *A. sinuata* (Regel) Rydb. in areas of receding glaciers in Alaska was 62 kg/ha/yr. *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. was reported to fix nitrogen at an annual rate of 125 kg/ha (45), and Daly (8) calculated that from 155 to 165 kg/ha nitrogen may be added annually to the soil by *A. rugosa* (Du Roi) Sprengle in Quebec. In Oregon, Newton *et al.* (33) found in red alder stands (*A. rubra* Bong.) between 2 and 15 years old, an annual increase of 320 kg/ha N in

¹ Received for publication in June 12, 1984

This research was funded in part through USDA Hatch Project 55-0366 and a Tinker Foundation Fellowship at the University of Illinois.

* Department of Forestry, University of Illinois, Urbana, Illinois, 61801 USA.

biomass and soil. Such increases in red alder stands were substantiated by the work of Zavitzovski and Newton (47).

Alders have been found to increase growth of associated vegetation (17, 38) as well as to control certain fungal coniferous-root pathogens (19, 32). Alder stands are also thought to increase soil organic matter and to lower bulk density thus increasing soil porosity and water infiltration rates and improving soil hydrologic properties (42). In the northern hemisphere various alder species have been widely planted for soil improvement on minespoils and for stabilization on recent flood deposits and landslide areas (11). Various experiments using nitrogen-fixing alders as nurse crops have demonstrated growth stimulation of associated crop trees (7, 13, 20, 34, 41).

Alders have been used regionally in a number of silvicultural and agrosilvicultural systems in Latin America. Highland farmers in Guatemala have been known to allow scattered alder trees to remain in corn fields to increase crop yields (9). In Costa Rica, upland dairy farmers plant *Alnus acuminata* H. B. K. at wide spacings in pastures to combine a system of wood production with natural fertilization of pasture grass (5). In the Alto Charma region of Andean Venezuela, *A. jorullensis* is the main timber species available to farmers for house construction material (14).

The Andean alder or aliso (*Alnus jorullensis* H. B. K.) is native to humid areas of the central and eastern sierras of the Colombian Andes at elevations between 2 000 and 3 250 m (36). Andean alder does well in zones with annual precipitation averaging between 2 000 and 3 000 mm and with an average temperature of 18°C, ranging between 5° and 24°C. The alder's rapid growth, straight bole, natural pruning, useful wood, and nitrogen-fixing capability make it an ideal species for plantation culture (39).

In Colombia, *A. jorullensis* has been extensively planted in the watersheds of the cities of Manizales and Armenia. Peace Corps volunteers in the Manizales region used the alder for establishing farm woodlots on heavily eroded sites and for direct seeding of landslide areas. Also in Manizales an experimental plantation interplanting *A. jorullensis* with a *Cedrela* species has been established to evaluate the effect of the interplanted alder on *Cedrela* growth (35).

Several decades of plantation work with the alder in Caldas, Colombia have resulted in the development

of some silvicultural treatments for the species in that zone (36, 39). Tree heights of 35 m and diameters at breast height of 79 cm have been noted for alder and height growth of 25 m in 10 years in Colombia is possible (36). Common tree associates of Andean alder in native forests of Colombia include species of *Cedrela*, *Juglans*, *Tabebuia*, *Nectandra*, and *Ocotea* (36).

Tree legumes are prevalent in many tropical ecosystem (2, 24) and a number of nodulated tree legumes are used for reforestation in the lowland tropics (15). We observed *Frankia*-nodulated *Alnus* and *Myrica* to occur commonly in the Colombian highlands, though these and other actinorhizal (*Frankia*-nodulated) trees are not common in tropical lowlands (11). Various genera of nitrogen-fixing tree legumes have traditionally been incorporated into the agricultural systems of the lower and middle elevation neotropics, such as the use of species of *Inga*, *Albizia*, and *Erythrina* as shade trees for coffee and cacao plantations and in pastures. However, only the non-leguminous, nitrogen-fixing *Alnus* has been used to any great extent in silvicultural and agro-silvicultural systems in the cool highlands of Colombia. Actinorhizal plants seem to be equally efficient in fixing dinitrogen as legumes (43). Consequently, actinorhizal woody plants such as *Alnus* may be important contributors to the nitrogen economy of some highland forestry and agricultural systems, much as tree legumes are at lower elevations for site amelioration and improvement of soil productivity.

Future intensive reforestation efforts in Colombia will undoubtedly be directed toward humid zones where there are high potentials for loss of soil N due to nitrate leaching and denitrification. Nitrogen fixation will become an increasingly desirable characteristic in tree crops in order to avoid high fertilizer costs and to maintain site productivity. In cool highland areas the use of alder, either in rotation with *Pinus* or *Eucalyptus* or in mixed planting systems, should be investigated as a possible technique to maintain site productivity. In addition, since human population and intensive land use in many parts of Colombia are concentrated in highland areas, techniques using alder in agro-forestry systems may prove to be sustainable methods for increasing food and fiber production while expanding the amount of tree cover on deforested upland areas of the Andes.

The objectives of this study were to measure the growth of *Alnus jorullensis* plantations at the Merenberg Nature Reserve at various spacings and to determine changes in soil nitrogen concentration in alder plantation soils.

Materials and methods

A three-quarter ha area at the Merenbert Nature Reserve was planted in May of 1981 with *Alnus jorullensis*. The Merenberg Reserve is located in the Andean highlands of southern Colombia approximately 80 km East of the city of Popayan. The area lies at latitude 2°15' North and longitude 76°10' West and is situated on the eastern slopes of the central sierra of the Colombian Andes at an elevation of 2 300 m.

The Merenbert Reserve lies on the upper slopes of and ancient volcano, el Volcan Merenberg, which last erupted approximately 50 000 years ago (27), and the parent material of the upper soil layers is probably wind-deposited volcanic ash from the nearby Puracé Volcano which has erupted within the last few centuries. The mean annual temperature of the farm is 15°C with temperatures never falling below 5°C. Mean annual precipitation on the Reserve for the years 1976 through 1982 averaged 1956 mm. The Merenberg region typically experiences two wet and two relatively dry seasons each year with the principal dry season occurring between December and February and a lesser dry season falling between July and September. Apart from rainfall, the area receives a large amount of mist and fog, and insolation during much of the year is quite low for a site near to the equator.

The experimental site was chosen because it contained the least topographic variability (with slopes ranging from 10 to 30°) within the area designated to be reforested in 1981. The soil in the top 20 cm is an organic sandy loam (30% organic matter) with a bulk density of 0.9 g/cc and a pH of 5.2. The soil varies from being very poorly drained (depth to gleying of 15 to 25 cm) in the lower portions of the field to somewhat poorly drained (depth to gleying of 45 to 60 cm) in the upper parts of the field. The very poorly drained downslope area was generally defined by a ground cover of mosses, ferns, and sedges with islands of kikuyo grass (*Pennisetum clandestinum* Hochst.), an introduced pasture species, on better drained rises. The somewhat poorly drained upslope region was covered predominately with kikuyo grass with pockets of mosses and ferns in swales and other wet spots. The area of the experiment had been covered by highland hardwood forest (dominated by *Quercus humboldtii* Bonpl., *Billia columbiana* Planch. & Lind., *Ficus* spp., *Weinmania* spp., and *Ocotea* spp.) until the late 1940s, when it was cleared, burned, and converted to pasture. The area had been in cattle pasture until 2 months before planting.

Alnus jorullensis seedlings were grown from seed collected in Colombia at La Selva farm above Manizales, Caldas. Seed was germinated in the state nursery in Villamaría, Caldas and grown for 4 months. Seedlings of approximately 4 cm in height were then transported in moist peat moss to the Merenberg nursery. At Merenberg the small seedlings were planted in 7 x 12 cm black polyethylene bags containing local forest soil. The containers were inoculated with crushed nodules from established alders in the Merenberg nursery to insure adequate nodulation, and the seedlings were grown to a 20 to 25 cm height (8 months after germination) before planting on the experimental site.

In April of 1981, the site was prepared for planting by removing aboveground vegetation on areas 70 cm square for each seedling and by thoroughly chopping the soil down to a depth of 15 to 20 cm. Site preparation was done with machetes and an 18 x 22 cm pick hoe for breaking ground. Trees were planted in the center of these "plateos" the following month. "Plateos" were weeded at 3, 12, and 24 months after planting. There was 100% survival of the alder despite the fact that in the first 3 months after planting many trees stood in pools of water in the concavity resulting from site preparation.

Tree plantings were organized in a randomized complete block design with 5 replications of 3 spacings (Figure 1). Trees were planted with rows offset, giving a staggered rather than a linear configuration across rows. The 3 spacings in 0.03 ha plots were: (1) 5.0 x 5.0 m, giving a density of 400 alder trees/ha; (2) 2.5 x 5.0 m, giving a density of 800 alder trees/ha; and (3) alder planted with 2.5 m between rows and alternating within row spacings of 2.5 and 5.0 m, giving a density of 1 200 alder trees/ha. The blocks were located across the principal slope with 2 blocks positioned on the lower slope, which was very poorly drained, and the remaining 3 blocks on the upper and middle slopes, which had better drainage. Swales occurred on the slope, resulting in drainage variation across the slope in some of the middle slope blocks (Figure 1). The plantation site was mapped for dominant ground cover before tree establishment.

Alder tree height and diameter measurements were taken 2 years after planting. Height measurements were taken to the nearest tenth of a meter using an 8 m measuring pole, and diameter measurements were taken with a caliper at 30 cm above ground. There was one staggered row of border trees within each plot which was excluded from statistical analysis. An ANOVA was performed to determine the variation in

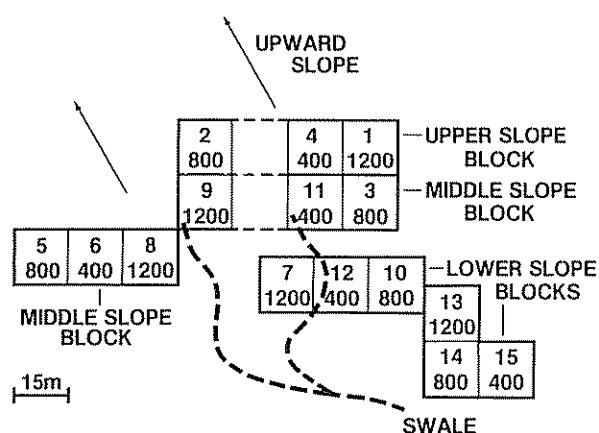


Fig. 1. Schematic diagram of plot layout on the site. The upper number represents ranking of mean alder height growth. The lower number is density of *A. jorullensis* plantings in a plot. Irregular blocking is due to rough terrain.

2-year alder height associated with blocks, spacing, and block by spacing interaction. Means and standard deviations of alder height and an alder volume index (D^2H = diameter at 30 cm squared times tree height) were determined by plot and were ranked in descending order by mean alder height. Mean alder height was plotted against % kikuyo cover in each plot. Also, after 2 years a stem analysis was done on 4 randomly-selected entire alder tree stems from each of the 6 plots with mean tree heights exceeding 4.9 m by measuring diameters at 1-m intervals. A volume estimate for 2-year alder growth was made using Smalien's Formula (23), and an estimate of 2-year dry tonnage of stemwood biomass was made using average value for dehydrated specific gravity of 0.338 g/cc for *A. jorullensis* as reported by Rojas *et al.* (36).

Prior to tree planting, soil samples were collected by taking 4 cores with a soil probe in each block. Cores were taken to a depth of 20 cm and were divided into 5-cm depth increments. The soil was immediately air dried at the Merenberg Reserve and was transported to the University of Illinois in Urbana where the samples were sieved through a 2-mm mesh prior to total nitrogen determination using a micro-Kjeldahl procedure (31). After 2 years, soil samples were again taken around one randomly selected alder tree in each spacing plot. Cores were taken with a soil probe adjacent to the alder stem and at 10, 25, 50, 75, and 100 cm distances at a randomly selected stem azimuth for each sample. The cores were again taken to a depth of 20 cm, divided into 5-cm increments, air dried at the Merenberg Reserve, and transported to Urbana, Illinois for total nitrogen analysis. Nitrogen concentrations at the various distance by depth combinations from alder stems

were combined for the 3 better drained upslope blocks and for the 2 poorly drained downslope blocks. These 2-year concentrations were compared with soil nitrogen concentrations from corresponding depths and drainage class prior to tree planting using a t-test for comparing means of unequal sample sizes (40).

Nodulated *Alnus jorullensis* plants from the plantation were brought to Urbana, Illinois and fresh nodules from these plants were ground in a Virtis homogenizer in a phosphate buffer solution at pH 7.0. The ground nodular suspension was filtered through cheesecloth and used to inoculate aseptically grown *Alnus rubra* seedlings on Hoagland's agar slants according to the method described in Knowlton and Dawson (26). Nodulated seedlings were assayed for nitrogenase activity using an acetylene reduction method of Dawson and Gordon (12).

Results

Analysis of variance showed significant differences in alder height and D^2H means associated with spacing, blocks, and their interaction. The significant difference associated with spacing is probably the result of the spacing effect being confounded with an effect due to drainage, since plots at the wider spacings often were in the wettest areas.

A ranking of spacing plots by mean alder height shows increasing alder growth with better soil drainage (Table 1). The poorest alder growth occurred in the most poorly drained areas which were covered with mosses and ferns. Two-year tree heights ranged from a maximum of 8 m in the best drained plots to a minimum average of slightly under 2 m in the wettest areas. Examination of Table 1 reveals an apparent lack of spacing effect on alder growth. The fastest growing alder plot with a density of 1 200 trees/ha was estimated to have produced 6.5 dry metric tons of stemwood/ha after its first 2 years of growth.

Fitting mean alder height with percentage kikuyo cover (Figure 2) further illustrates the strong influence drainage seems to have upon alder growth. The r^2 value for this simple linear regression is 0.83, indicating a strong positive correlation between percentage of kikuyo grass and alder height growth. The linear equation provided the best fit of the regression line, compared with quadratic or logarithmic fits as is manifest in Figure 2. Kikuyo grass is intolerant of poor soil drainage.

Nodules were formed on most aseptic *Alnus rubra* seedlings after inoculation with ground nodules from

Table 1. Ranking of plots by mean *Alnus* height.

Topographic position	% Kikuyo cover	Density (stems/ha)	No. of trees	Mean tree height (m) mean $\pm$ sd	Range (m)	D ² H* (dm ³) mean $\pm$ sd
1. Upper slope	100	1 200	19	6.22 $\pm$ 0.91	4.8 – 8.0	24.9 $\pm$ 12.4
2. Upper slope	100	800	12	6.08 $\pm$ 0.86	5.2 – 7.9	38.8 $\pm$ 19.0
3. Middle slope	100	800	12	5.43 $\pm$ 1.47	1.1 – 7.3	20.5 $\pm$ 14.5
4. Upper slope	100	400	6	5.25 $\pm$ 0.41	4.8 – 6.0	16.6 $\pm$ 6.8
5. Middle slope	72	800	12	5.23 $\pm$ 0.82	3.7 – 6.7	15.5 $\pm$ 8.1
6. Middle slope	100	400	6	4.93 $\pm$ 1.22	3.1 – 6.5	14.4 $\pm$ 8.4
7. Lower slope w/rise	60	1 200	19	4.39 $\pm$ 1.26	2.0 – 6.0	10.9 $\pm$ 7.0
8. Middle slope	92	1 200	19	4.34 $\pm$ 1.05	2.4 – 6.0	10.2 $\pm$ 9.7
9. Middle slope w/swale	100	1 200	19	4.24 $\pm$ 1.08	2.4 – 6.0	8.8 $\pm$ 4.7
10. Lower slope w/rise	52	800	12	3.76 $\pm$ 1.23	2.0 – 6.0	6.8 $\pm$ 6.2
11. Middle slope w/swale	48	400	6	3.28 $\pm$ 1.32	1.5 – 5.0	5.4 $\pm$ 6.2
12. Lower slope	12	400	6	2.97 $\pm$ 1.08	2.2 – 5.1	4.2 $\pm$ 4.5
13. Lower slope	12	1 200	19	2.49 $\pm$ 0.84	1.3 – 5.0	2.4 $\pm$ 3.2
14. Lower slope	0	800	12	2.48 $\pm$ 0.71	1.5 – 3.5	2.3 $\pm$ 1.9
15. Lower slope	0	400	6	1.95 $\pm$ 0.47	1.2 – 2.4	0.9 $\pm$ 0.6

* Diameter for D²H measured at 30 cm above ground

the *A. jorullensis* plantation. Nitrogen fixation was evidenced by the greening of nodulated seedlings on N-free Hoagland's agar slants, and by the ability of intact nodules to reduce acetylene to ethylene.

Soil nitrogen concentration in the relatively better drained upslope area increased significantly after 2 years in the superficial 20-cm soil layer at distances

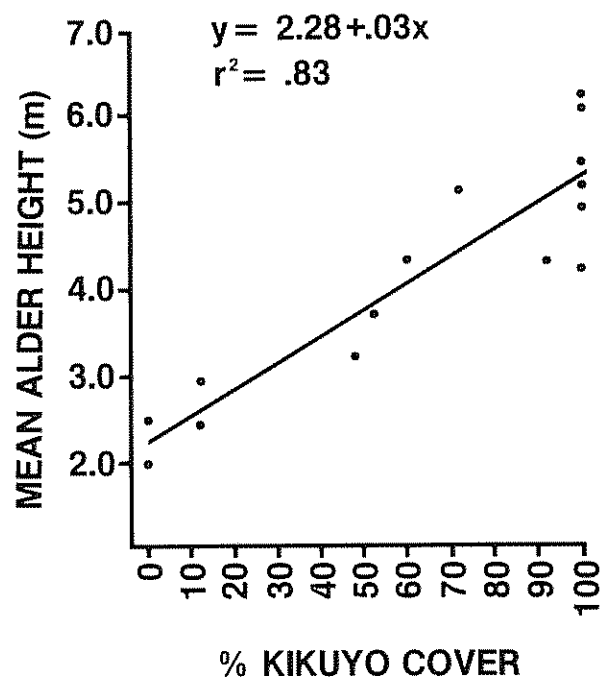


Fig 2 Relationship between mean *A. jorullensis* height and % kikuyo ground cover

from 50 to 100 cm from alder stems (Table 2). Within 50 cm of tree stems, soil N seemed to increase slightly over preplanting levels, but the increases were not statistically significant. Only at the base of alder stems in the top 10 cm did there seem to be a decrease in soil N, but this decrease was not significant. Soil N at the 50 to 100 cm distance from stems seemed to increase most in the surficial soil layer (0 to 10 cm) while closer to alder stems this trend did not exist. Soil N concentrations in the very poorly drained downslope area decreased at all depths around the alder trees with no consistent pattern of nitrogen change evident in this region (Table 3).

Discussion

Alder Tree Growth

Growth of *A. jorullensis* in the better-drained plots on the upper slopes is extremely rapid. Although the alder does not occur naturally in the immediate area of Merenberg, its early height growth and abundant nodulation suggest that the species may be well adapted for more extensive use in reforestation in the region. An actinorhizal *Myrica* species occurs naturally at Merenberg and may be a source of *Frankia* propagules, explaining the abundant nodulation of *Alnus* at this locale. Several 5-year-old alder trees in the Merenberg botanical garden have reached heights of 15 m with 15 cm dbh's and have produced a seed crop.

Alder on the better "somewhat poorly drained" sites had three times the height growth of alder on the

Table 2. Mean change in total soil N around the stems of *A. jorullensis* on the somewhat poorly drained upslope site (mg N/kg air-dried soil sample). Mean values are for 9 plantation soil samples minus the mean value ($n = 12$) for soil N concentration at corresponding depth prior to planting.

Soil depth (cm)	Distance from alder stem (cm)						Initial soil N concentration mean $\pm$ sd
	0	10	25	50	75	100	
0 - 5	-112	223	162	864**	930**	657**	1 661 $\pm$ 276
5 - 10	-101	110	302	536**	740**	581**	1 071 $\pm$ 314
10 - 15	87	187*	321**	308**	408**	394**	706 $\pm$ 108
15 - 20	22	32	69	309*	200*	222*	666 $\pm$ 185

** Significantly different from mean N concentration at corresponding soil depth prior to plantation establishment ($\alpha = 0.01$).

* Significantly different from mean N concentration at corresponding soil depth prior to plantation establishment ($\alpha = 0.05$).

Table 3. Mean change in total soil N around the stems of *A. jorullensis* on the very poorly drained downslope site (mg N/kg air-dried soil sample). Mean values are for 6 plantation soil samples minus the mean value ($n = 8$) for soil N concentration at corresponding depth prior to planting.

Soil depth (cm)	Distance from alder stem (cm)						Initial soil N concentration mean $\pm$ sd
	0	10	25	50	75	100	
0 - 5	-550**	-329	-337	-463**	-278*	-101	1 784 $\pm$ 304
5 - 10	-844**	-581*	-617**	-795**	-371	-546**	1 750 $\pm$ 382
10 - 15	-742**	-529**	-565**	-550**	-281**	-543**	1 459 $\pm$ 420
15 - 20	-471*	-349	-466*	-451*	-355	-428	1 180 $\pm$ 528

** Significantly different from mean N concentration at corresponding soil depth prior to plantation establishment ($\alpha = 0.01$).

* Significantly different from mean N concentration at corresponding soil depth prior to plantation establishment ($\alpha = 0.05$).

very poorly drained sites. Although *Alnus jorullensis* naturally occurs on wet sites along streams and around swamps, the species grows best on well-drained sites as long as soil moisture is not limiting. This situation may be analogous to that found with *A. glutinosa* in the British Isles (29) where alder grows best on upland sites but is limited in occurrence to streamsides and wetlands because of extreme sensitivity of germinating seedlings to desiccation. Although alder growth on the lower slopes of the experimental plantation is evidently limited by poor aeration, the trees have grown at least 1 m per year and have suffered no mortality.

Alder's ability to become established on boggy sites may be useful. In the cool Merenber region where high precipitation is coupled with low evaporative potential, *Sphagnum* filled boggy pasture land often is found adjacent to fairly well-drained forest lying on the same terrain. The poorly aerated condi-

tions of the pasture may be the result of the loss of the evapotranspirative tree cover which allowed for a buildup of *Sphagnum* and other mosses. The mosses seem to hold water on the site resulting in saturated soil conditions and the exclusion of many tree species and preferred pasture grasses. Since alder trees are able to survive these poorly drained soils, they may lower soil moisture content over time through evapotranspiration. If this is the case, then planting of alder trees may be a low cost means for converting wet sites to more productive wood and forage sites.

The results of this experiment suggest that kikuyo grass may be a useful indicator plant for a good alder site. This exotic grass is widespread over most of the Colombian highlands and is a dominant ground cover in many pasturelands. We have observed in Colombia that sites with volcanic soils lacking kikuyo invariably have drainage that is too poor for the establishment of trees.

While kikuyo grass may indicate the best sites for alder growth, the presence of the grass generally increases the costs of tree plantation establishment owing to the highly competitive nature of the grass (36). *Eucalyptus globulus* Labill, the principal hardwood planted in the Colombian highlands, is notoriously intolerant of grass competition (16), and much of the cost of *Eucalyptus* establishment is the result of kikuyo control. The alder is more tolerant of kikuyo competition than in *Eucalyptus*. Although two weedings are recommended for establishment of alder in kikuyo (34), we have observed in previous work with *A. jorullensis* that the species can become adequately established in kikuyo with only one weeding. This ability to tolerate weed competition is important because campesinos often do not carefully follow recommended maintenance practices with small tree plantations.

It is fortuitous that *A. jorullensis* grows well in kikuyo grass because an important use of this tree species is in agri-silvicultural systems in which alder is cultivated at wide spacings in pastures. Interplanting alder in pasture has been carried out for decades in parts of Costa Rica (22). We have observed in some farms above Manizales, Caldas, that farmers somewhat passively follow this practice by leaving volunteer alders that grow in their pastures when clearing their fields of other volunteer trees. Also, kikuyo under partial alder shade continues to produce throughout the dry season while the open-field kikuyo does not, which may be due in part to moisture inputs from condensation and drip during misty weather (personal communication from John Beer of CATIE, Turrialba, Costa Rica, 1981). Furthermore, tree cultivation in pastures diversifies and expands a farm economy via production of fuelwood and timber.

Apart from its beneficial effect on pasture grass, alders have been found to support greater volume and variety of understory plants than stands of other timber species (42). We have observed in the Manizales region that understory vegetation in alder plantations is much greater and more varied than under plantations of conifers or *Eucalyptus*. This abundant understory may be due to increased nitrogen fertility, increased dripping of water condensed from mists on the alders, or abundant light penetration permitted by the relatively open alder canopy.

Nitrogen Accretion

A dense mat of heavily-nodulated roots was observed near the soil surface within 1 m of alder trees in the better-drained plots. Aseptically grown

Alnus rubra seedlings inoculated with ground nodules from this plantation produced nodules that were effective in reducing acetylene to ethylene, indicating nitrogenase activity of *Frankia* originating from this plantation. The existence of large-diameter roots at 1 m from tree stems in the better-drained plots suggest that alder roots were extensive. However, roots were not totally excavated to determine their extent. The zone of greatest soil nitrogen accretion was in the concentric zone from 50 to 100 cm around alder stems. Various researchers have found evidence for the importance of roots in nitrogen cycling. Hansen and Dawson (20) found localized regions of soil N accretion confined to the zone of greatest early root growth around 2-year-old *A. glutinosa* in northern Wisconsin. Root mortality was found to be the most important cycling mechanism for nitrogen in a southern Appalachian forest soil (21), and Zavitkovski and Newton (47) estimated that 60% of soil nitrogen added in a stand of *A. rubra* came from within the soil.

The absence of significant net nitrogen accretion within 50 cm of alder stems, despite many heavily-nodulated roots there, might be explained by the effects of site preparation. In the process of removing the ground cover vegetation during site preparation, part of the N-rich top horizon was also removed. Chopping the soil probably resulted in a mixing of the upper soil horizon with lower horizons, while undoubtedly increasing soil aeration at the planting site and increasing activities of microorganisms, including nitrifiers. Improved aeration may have led to accelerated decomposition of roots of kikuyo grass with subsequent addition to soil N, but it also might have promoted nitrification. Although nitrification rates are usually low in acidic soils with pH's around 5.0 or below (25), Bollen and Lu (3) found high rates of nitrification in strongly acidic soil under red alder in coastal Oregon. Once formed, nitrates could have been leached through the coarse texture soil. Significant increases at the 10 to 15 cm depth close to alder stems (Table 2) suggest that leached nitrates may have accumulated in that zone. Ponding also occurred in the depressions created by soil chopping for seedling planting. This could have accelerated nitrate leaching in the site-prepared zone closest to the alder stems and reduced nitrogenase activity of nodules.

Nitrates also could have been lost from the chopped "plateaus" by denitrification. Denitrification occurs when nitrates are present in a water-saturated soil with an available energy source. When the supply of oxygen in soil is not adequate to meet the requirements of aerobic microorganisms, denitrifying microorganisms utilize the nitrates in place of

oxygen as hydrogen acceptors and volatile dinitrogen gas is lost in the process (4). With an abundant energy source, owing to the high organic matter content of the soil, and with water saturation caused by precipitation, high rates of denitrification could have occurred at the planting site. Even when the soil was not water saturated, denitrification could have occurred in anaerobic microsites present in the soil resulting from low oxygen potentials caused by active root respiration and microbial activity (46).

Another possibility for low N accretion near the upslope alder stems after 2 years is that much fine root activity of these large trees migrated away from the root collar. Near the alder stems were large, suberized roots with large, older nodules. It is possible that N was added here in the first year of tree growth when fine root activity would have been greatest, but that much of this N had subsequently been removed from the soil as a result of ammonification, nitrification, leaching, and denitrification.

Although less soil nitrogen accretion was expected on the very poorly drained lower slopes of the plantation because of the slower alder growth, the losses of N were surprising, and we have no precise explanation for them. It seems possible that loss of nitrogen in surface runoff or due to denitrification may have been significant in these areas. Making direct measurements of denitrification based on the inhibition by acetylene of N_2O reduction during denitrification, Ryden and Lund (37) estimated N losses as high as 3.60 kg/ha/day after rains, and annual nitrogen losses of up to 233 kg/ha in irrigated vegetable crop lands in California. In the Merenberg area with a stable year around temperature and considerable precipitation, it seems possible that levels of denitrification of such a magnitude could also have occurred. This could explain the losses in soil N found after 2 years in the very poorly drained parts of the plantation.

The largest annual N contribution estimated for red alder in the coastal range of Oregon, an environment not unlike that of the wet highland Andes, is 320 kg/ha in the top 60 cm of soil and in the standing biomass based on stands 2 to 15 years olds (33). This research suggests that *A. jorullensis* might be a similarly prodigious contributor of nitrogen to highland tropical ecosystems where alder growth, nitrogen fixation, and nitrogen accretion in soil are not limited by poor drainage. By averaging the values for changes in soil N concentration for the top 20 cm of soil within 1 m of alder stems on the better-drained upslope plots (Table 2), using the corresponding soil bulk density value of 0.9 g/cc, and assuming a density of 1,200 trees/ha, a rough estimate of 279 kg/ha of annual soil N increase can be derived.

Additional sampling of soil and plant nitrogen contents will be necessary to accurately determine soil nitrogen accretion rates in these plantations.

Summary

Early growth of *Alnus jorullensis* H. B. K. (= *A. acuminata* H. B. K.) in a plantation at 2,300 m in elevation in southern Colombia was very rapid with maximum individual tree heights of 8 m, and maximum average heights of 6.2 m in the best plot after 2 years. Stemwood production in a plot with a density of 1,200 trees/ha was estimated to be 6.4 dry metric tons/ha after 2 years.

Internal drainage of the volcanically-derived organic sandy loam soil influenced both alder growth and soil nitrogen changes. Alder growth was greatest on upper slope soils with better drainage. On very poorly drained lower slopes, alder survived well, but grew slowly. Alder height growth was strongly linearly correlated with percentage of kikuyo grass (*Pennisetum clandestinum* Hochst.) cover ($r^2 = 0.83$) suggesting that kikuyo may be a useful indicator of a good alder site. Alder was also quite tolerant of kikuyo competition. Trees were heavily nodulated, and nodules produced an inoculum capable of inducing effective nodules on aseptically-grown *A. rubra* Bong.

Because of these favorable features, *A. jorullensis* seems to have potential for use in similar moist highland areas of South and Central America.

Literature cited

1. AKKERMANS, A. D. L. and ROELOFSON, W. Symbiotic nitrogen fixation by actinomycetes in *Alnus*-type root nodules. In Nutman, P. S., ed. Nitrogen fixation: Proceedings of the Phytochemical Society of Europe Symposium, Sussex, England, Cambridge University Press, 1980, pp. 279-299.
2. ALLEN, E. K., GREGORY, K. F. and ALLEN, O. N. Morphological development of nodules on *Caragana arborescens* Lam. Canadian Journal of Botany 33:139-148, 1955.
3. BOLLEN, W. B. and LU, K. C. Nitrogen transformations in soils beneath red alder and conifers. In Biology of alder, Portland, Or., US Forest Service Pacific NW Forest Range Experiment Station, 1968, pp. 141-148.

- 4 BREMNER, J. M. and SHAW, K. Denitrification in soil. I. Methods of investigation. *Journal of Agricultural Science* 51:22-39 1958
- 5 COMBE, J. *Alnus acuminata* con pastoreo y con pasto de corte: Las Nubes de Coronado, Costa Rica. In *Taller sobre Sistemas Agroforestales en América Tropical*. CATIE. Turrialba, Costa Rica, 1979 pp 205-207
- 6 CROCKER, R. L. and MAJOR, J. Soil development in relation to vegetation and surface age at Glacier Bay, Alaska. *Journal of Ecology* 43:427-448 1955
- 7 DALE, M. E. Interplant alder to increase growth in strip-mine plantations. US Forest Service Research Note CS-14 1963
- 8 DALY, G. T. Nitrogen fixation by nodulated *Alnus rugosa*. *Canadian Journal of Botany* 44:1 607-1 621 1961
- 9 DAWSON, J. O. Nitrogen-fixing trees and shrubs. *Illinois Research* 21(4):4-9 1979
- 10 DAWSON, J. O. Dinitrogen fixing plant symbiosis for combined timber and livestock production. In Hannaway, D. B., ed. *Foot-hills for food and forests*. Oregon State University College of Agricultural Sciences, Symposium Series No. 2. Beaverton, OR. Timber Press, 1983 pp 95-112
- 11 DAWSON, J. O. Dinitrogen fixation in forest ecosystems. *Canadian Journal of Microbiology* 29(8):979-992 1983
- 12 DAWSON, J. O. and GORDON, J. C. Nitrogen fixation in relation to photosynthesis in *Alnus glutinosa*. *Botanical Gazette (Supplement)* 140:70-75 1979
- 13 DE BELL, D. S. and RADWAN, M. A. Growth and nitrogen relations of coppiced black cottonwood and red alder in pure and mixed plantations. *Botanical Gazette (Supplement)* 140:97-101 1979
- 14 DIEUDONNE, R. L. Estudio ecológico-silvicultural sobre el aliso en la región del Alto Charma. Tesis. Mérida, Venezuela, Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, 1957. 57 p
- 15 DOEBEREINER, J. and CAMPELO, A. B. Importance of legumes and their contribution to tropical agriculture. In Hardy, R. W. F. and Gibson, A. H. eds. *A treatise on dinitrogen fixation IV: Agronomy and ecology*. New York, Wiley, 1977. pp. 191-220
- 16 FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Eucalyptus* for planting. Rome, FAO Forestry Series No. 11 1981 677 p.
- 17 FRANKLIN, J. F. and PECHANEC, A. A. Comparison of vegetation in adjacent alder, conifer, and mixed alder-conifer communities. I. Understory vegetation and stand structure. In *Biology of alder*. Portland, Or., US Forest Service. Pacific NW Forest Range Experiment Station, 1968 pp 37-43
- 18 FURLOW, Y. J. The systematics of the American species of *Alnus* (Betulaceae). *Rhodora* 81:1-248 1979
- 19 GORDON, J. C. and DAWSON, J. O. Potential uses of nitrogen-fixing trees and shrubs in commercial forestry. *Botanical Gazette (Supplement)* 140:88-90 1979
- 20 HANSEN, E. A. and DAWSON, J. O. Effect of *Alnus glutinosa* on hybrid *Populus* height growth in a short-rotation intensively cultured plantation. *Forest Science* 28:49-59 1982
- 21 HENDERSON, G. S. and HARRIS, W. F. An ecosystem approach to characterization of the nitrogen cycle in a deciduous forest watershed. In Bernier, B. and Winget, C. H. eds. *Forest soils and forest land management, Proceedings of the Fourth North American Forest Soils Conference*. Quebec, Laval University Press, 1975 pp. 179-193
- 22 HOLDRIDGE, L. R. The alder, *Alnus acuminata*, as a farm timber tree in Costa Rica. *The Caribbean Forester* 12(2):47-53 1951
- 23 HUSCH, B., MILLER, C. I. and BEERS, T. W. *Forest Mensuration* 2ed. New York, Ronald, 1972 p 123.
- 24 JENNEY, H. Causes of the high nitrogen and organic matter content of certain tropical forest soils. *Soil Science* 48:63-69 1949

25. KENNEY, D. R. Prediction of soil nitrogen availability in forest ecosystems: a literature review. *Forest Science* Vol. 26(1):159-171. 1980.
26. KNOWLTON, S. and DAWSON, J. O. Effects of *Pseudomonas cepacia* and cultural factors on the nodulation of *Alnus rubra* roots by Frankia. *Canadian Journal of Botany* 61: 2 877-2 882. 1983.
27. KROONENBERG, S. B. Geología del Volcán Merenberg y sus alrededores, Cordillera Central, Colombia. Wageningen, Holland, Agr University, Department of Soil Science, 1983. 98 p.
28. LAWRENCE, D. B. Glaciers and vegetation in southeastern Alaska. *American Scientist* 46:89-112. 1958.
29. MC VEAN, D. N. Ecology of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. III. Seedling establishment. *Journal Ecology* 44:195-218. 1956.
30. MILLER, R. E. and MURRAY, M. D. The effect of total nitrogen in plant material. *Agronomy Journal* 65:109-112. 1973.
31. NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Determination of total nitrogen in plant material. *Agronomy Journal* 65:109-112. 1973.
32. NELSON, E. E. The role of red alder in reducing losses from laminated root rot. In Briggs, D. G. and De Bell, D. S. and Atkinson, W. A., eds. Utilization and management of alder. USDA Forest Service General Technical Report. PNW-70, 1977. pp. 273-282.
33. NEWTON, M., EL HALLAN, B. A. and ZAVITKOVSKI, J. Role of red alder in western Oregon forest succession. In Biology of alder. Portland, OR. USDA. Forest Service Pacific NW Forest Range Experiment Station, 1968. pp. 73-84.
34. PLASS, W. T. Growth and survival of hardwoods and pine interplanted with European alder. USAD Forest Service Research Paper. NE-376, 1977. 10 p.
35. RIASCOS, J. C. Evaluación del establecimiento de cedro (*Cedrela* sp.) asociado con aliso (*Alnus jorullensis*). Tesis. Manizales, Colombia, Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía, 1984. 48 p.
36. ROJAS, H., MACIA, F. and LASTRA, J. A. Monografía del *Alnus jorullensis*. H. B. K. Colombia Forestal 1(1):5-22. 1978.
37. RYDEN, J. C. and LUND, L. J. Nature and extent of directly measured denitrification losses from some irrigated vegetable crop production units. *Soil Science Society America Journal* 44:505-511. 1980.
38. SMIRNOVA, V. A. and SOROGOVETS, P. E. The effect of grey alder on herbaceous vegetation. Israel Program for Scientific Translations Cat. No. 1585. 1966. 4 p.
39. SMIT, G. S. Notas silviculturales sobre el *Alnus jorullensis* de Caldas, Colombia. *Turrialba* (Costa Rica) 21(1):83-88. 1971.
40. STEEL, R. G. D. and TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics. ed. New York, Mc Graw-Hill, 1980. p. 106.
41. TARRANT, R. F. Stand development and soil fertility in a Douglas-fir-red alder plantation. *Forest Science* 7:238-246. 1961.
42. TARRANT, R. F. and TRAPPE, J. M. The role of *Alnus* in improving the forest environment. *Plant Soil* (Special volumen):335-348. 1971.
43. TJEPKEMA, J. D. and WINSHIP, L. J. Energy requirements for nitrogen fixation in actinorhizal and legume root nodules. *Science* 209:279-281. 1980.
44. TORREY, J. G. Nitrogen fixation by actinomycete-nodulated angiosperms. *Bio Science* 28(9):586-592. 1978.
45. VIRTANEN, A. I. and MIETTINEN, J. K. Biological nitrogen fixation. In Steward, F. C., ed. *Plant Physiology*, New York, Academic Press, 1963. v. 3, pp. 539-668.
46. WOLLUM, A. G. and DAVEY, C. B. Nitrogen accumulation, transformation, and transport in forest soils. In Bernier, B. and Winget, C. H., eds. *Forest soils and forest land management. Proceedings of the Fourth North American Forest Soils Conference*. Quebec, Laval University Press, 1975. pp. 67-106.
47. ZAVITKOVSKI, J. and NEWTON, M. Effects of organic matter and combined nitrogen on nodulation and nitrogen fixation in red alder. In Biology of alder. Portland, OR, USDA Forest Service Pacific NW Forest Range Experiment Station, 1968. pp. 209-223.

ALTURA TOTAL, DIAMETRO ALTURA DE PECHO Y FACTOR DE FORMA PARA *Pinus oocarpa* Schi., EN SIGUATEPEQUE, HONDURAS¹ /

F. CASTAÑEDA*
A. JELVEZ**

Summary

Predicting equations are presented to estimate total tree height, diameter at breast height and form factor for Pinus oocarpa Schi., (Pino ocote), in Siguatepeque, Honduras, C.A. All equations are highly significant at the 0.001 level. They predict parameters which have application in forest inventory tasks and should help the forest technician in obtaining more accurate stand volume estimates.

Introducción

Tradicionalmente los forestales hemos usado tablas de doble entrada para determinar el volumen de un árbol o de un rodal. Las variables de predicción que las anteriores emplean son la altura total (H) y el diámetro a la altura de pecho (DAP). A pesar de que este tipo de tablas da estimaciones volumétricas confiables, preferiblemente deberían usarse aquéllas que hayan sido diseñadas para factores de forma individuales. La razón para ello es que dos árboles de diámetros y alturas similares, pero con distintos factores de forma, registrarán distintos valores de volumen.

En el presente trabajo se presentan varios modelos de predicción para tres relaciones dasométricas en *Pinus oocarpa* Schi., (Pino ocote). Las tres relaciones son: H versus DAP, DAP con corteza versus DAP sin corteza y factor de forma (FF) versus DAP cc, DAPsc y H.

Materiales y métodos

Se escogieron al azar 99 muestras circulares representando una superficie de 0.05 de hectárea cada una (radio = 12.62 m). Inicialmente cada muestra fue localizada en fotos aéreas y luego, con la ayuda de las mismas, en el terreno. Las muestras se encuentran en el bosque de la Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR), Siguatepeque, Honduras, el cual en el pasado ha sido sometido a cortas selectivas severas siendo ahora su composición muy heterogénea. Las siguientes medidas se tomaron a todos los árboles cuyo DAP era igual o mayor de 10 cm: DAP en centímetros a 1.30 m del suelo con forcípulas (dos lecturas promediadas), altura total en metros con el hipsómetro Blume Leiss y grosor doble de la corteza en milímetros con un medidor de corteza. El DAP se calculó restándole el grosor al DAP cc.

En total se midieron 886 árboles en las 99 parcelas; ello representa 8.7 unidades por muestra. Los rangos de las medidas fueron: DAP de 10.0 a 77.0 cm con la mayor concentración entre los 20.0 y 45.0 cm, FF de 0.38 a 0.61 y H de 9.05 a 28.11 m. Todas las medidas fueron tomadas por dasónomos con experiencia en el uso del equipo mencionado. El análisis de regresión fue usado para desarrollar las ecuaciones de predicción.

El factor de forma se expresa como el volumen de un árbol dividido por el volumen de un sólido geomé-

¹ Recibido para publicación el 7 julio, 1984

* Asistente de Investigación y candidato a Ph.D.; College of Forestry, Wildlife and Range, University of Idaho, Moscow, Idaho 83843

** Ingeniero Forestal, MSF, Alumnus. Actualmente en el Departamento de Industrias Forestales, Universidad de Bío-Bío, Concepción, Chile.

trico cilíndrico de igual diámetro y altura que el árbol que representa (5). El volumen de cada árbol fue calculado usando una ecuación desarrollada anteriormente por FAO (3).

Resultados y discusión

I. Relación altura total versus DAP

Primero se empleó el modelo lineal de la forma $Y = \beta_0 + \beta_1 (X)$ resultando la ecuación:

$$H = 5.232 + 0.456 \text{ DAP} \quad (r^2 = 0.83, S_{y.x} = 1.96 \text{ m}) \quad (1)$$

de donde: H = altura total en m.

DAP = diámetro con corteza en cm.

$S_{y.x}$ = error estándar de lo estimado en las unidades de Y.

A pesar de que el modelo lineal simple ajusta bien la relación, el mismo asume un aumento lineal indefinido en altura por cada unidad adicional de diámetro. La tendencia de la relación en la realidad es ascendente al inicio y luego tiende a nivelarse con un DAP (Figura 1).

Por lo tanto se aplicó el siguiente modelo de regresión parabólico polinomial de segundo grado:

$$H = 0.6212 + 0.9202 \text{ DAP} - 0.0077 \text{ DAP}^2 \quad (r^2 = 0.86, S_{y.x} = 1.85 \text{ m}) \quad (2)$$

Comparando ambas proyecciones en la Figura 1 se puede observar que la relación parabólica tiende a estabilizarse en árboles con un DAP mayor a 60.0 cm, mientras que la lineal sigue su curso indefinido.

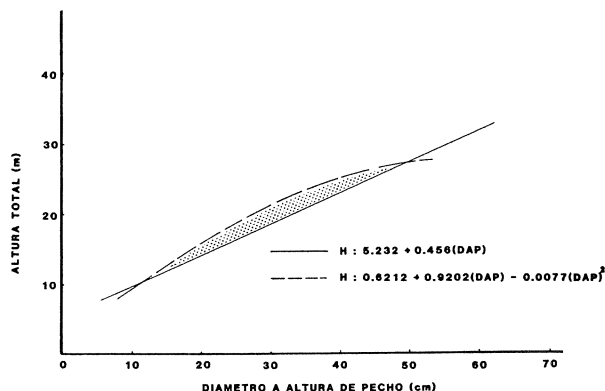


Fig. 1. Relación H/DAP para *Pinus oocarpa*, Schi., (Pino ocote) en Siguatepeque, Honduras.

Trabajos similares se han llevado a cabo para esta especie y los resultados indican que el modelo 2 es el más apropiado para expresar esta relación. Henning mostró una curva "ajustada gráficamente" pudiéndose observar en ella una estabilización en altura similar a la expresada en la Figura 1 (Henning, N., sin publicar). Troensegard (sin publicar) estudió la misma relación para esta especie en el distrito forestal demostrativo en Jutiapa, Olancho, encontrando el mismo modelo polinomial como el más adecuado. En este último caso la curva se estabilizó en árboles con un DAP igual a 57.7 cm. Finalmente Peters (6) demostró que este modelo es el más indicado para coníferas en Guatemala. Por lo tanto se recomienda el uso de la ecuación 2 para estimar alturas en esta especie en el bosque de ESNACIFOR.

II. Relación DAP sc versus DAP cc

El modelo lineal permite un mejor ajuste en esta relación:

$$\text{DAP sc} = 0.9381 \text{ cc} - 2.73 \quad (r^2 = 0.98, S_{y.x} = 1.9 \text{ cm}) \quad (3)$$

Este modelo es uno de los más fáciles de aplicar para expresar esta relación. Sin embargo, existen otras opciones desarrolladas por Grosenbaugh (4) y usadas con éxito por otros autores (1, 2, 7) las cuales podrían considerarse cuando el modelo lineal no dé predicciones confiables.

III. Relaciones FF versus DAP y FF versus DAP y H.

Se desarrollaron los siguientes cuatro modelos para estimar el factor de forma:

$$\text{FF} = 0.6567 - 0.0046 \text{ DAP cc} \quad (r^2 = 0.98, S_{y.x} = 0.01), \quad (4)$$

$$\text{FF} = 0.6470 - 0.005 \text{ DAP sc} \quad (r^2 = 0.92, S_{y.x} = 0.02) \quad (5)$$

y

$$\text{FF} = 0.5744 - 0.000002141 \text{ DAP}^2 \text{ H} \quad (r^2 = 0.94, S_{y.x} = 0.02) \quad (6)$$

El modelo 6 puede ser usado cuando sólo se cuenta con tablas de volumen clasificadas según un factor de forma. Si este es el caso, entonces la altura promedio del rodal deberá calcularse para luego obtener así una estimación del FF del mismo. Con esta información se deberá usar la tabla correspondiente.

De la Figura 2 se puede concluir que para árboles con un mismo DAP pero con alturas distintas, el factor de forma fluctúa. Por ejemplo, si se toman dos árboles con un DAP = 40.0 cm y cada uno con alturas de 20.0 y 40.0 metros, los factores de forma (según ecuación 6) serían 0.50 y 0.44 respectivamente. Para esta especie ello debe interpretarse como que entre más pequeño es un árbol (más joven) más cilíndrico es el fuste, y entre más grande es el árbol (más viejo) mayor es su grado de conicidad. La Figura 2 también demuestra que entre mayores son los DAP a medir, mayores serán las diferencias en el FF, aumentando así la necesidad de usar tablas de volumen clasificadas según el factor de forma.

La siguiente ecuación de predicción de FF considera solamente la altura total:

$$FF = 0.5502 + 0.0099 H - 0.000533 H^2$$

$$(r^2 = 0.96, S_{y.x} = 0.012) \quad (7)$$

En situaciones cuando sólo se cuenta con mediciones de altura total, esta ecuación puede usarse en vez de la 4 ó la 5, las cuales sólo usan DAP como variable independiente. A modo de comparación se tomaron al azar el DAP y altura de 15 árboles de *P. oocarpa* Schi. Se calcularon las predicciones del FF usando las ecuaciones 4 y 7. Los resultados fueron comparados por una prueba t-student la que indicó que no había diferencia significativa entre los promedios de las predicciones. Además las diferencias en FF entre los dos totales y sus promedios fueron 0.10 y 0.014 unidades del factor respectivamente. Esos valores equivalen a un 3.03 por ciento en cada uno de los casos.

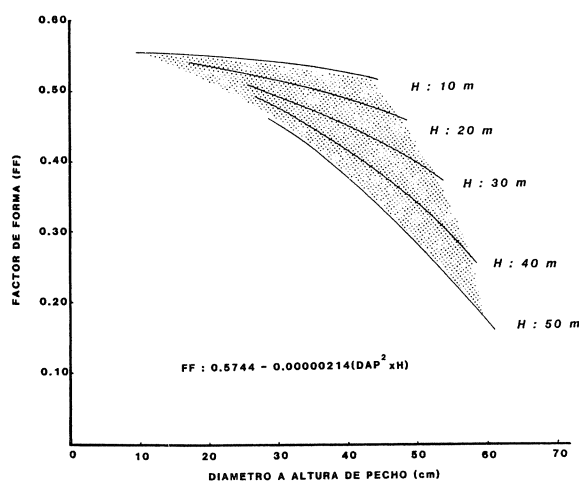


Fig. 2. Relación FF/DAP a distintas alturas para *Pinus oocarpa*, Schi., (Pino ocote) en Siguatepeque, Honduras.

Conclusiones

Las siete ecuaciones que se presentan son significativas al nivel 0.001. Todas tienen aplicación en trabajos de inventario en los cuales se trata de determinar el volumen de un rodal o de un bosque. La ecuación 6 es la más importante ya que ella ayudará al técnico a obtener estimaciones de volumen más confiables.

A pesar de que las ecuaciones dan estimaciones confiables, el usuario deberá limitar su uso a mediciones que estén dentro de los rangos anteriormente apuntados en este estudio, pero preferiblemente a aquellas que se encuentren dentro de los límites de mayor concentración, según lo demostrado en las Figuras 1 y 2 y en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores de factor de forma para *Pinus oocarpa*, Schi., (Pino ocote) en Siguatepeque, Honduras.

DAP* (cm)	Altura total (m)							
	10	15	20	25	30	35	40	45
10	0.57	0.57						
15	0.57	0.57						
20	0.57	0.56	0.56					
25	0.56	0.55	0.55					
30		0.55	0.54	0.53				
35			0.52	0.51	0.50			
40			0.50	0.49	0.47	0.46	0.44	
45				0.47	0.45	0.43	0.40	
50				0.44	0.42	0.39	0.36	0.34
55					0.38	0.37	0.32	0.29
60					0.35	0.31	0.27	0.23

Ecuación FF: $0.5744 - 0.00000214 (DAP^2 \times H)$.

* Diámetro a altura de pecho.

Resumen

Se presentan ecuaciones de predicción para estimar la altura total, el diámetro del pecho y la forma, en *Pinus oocarpa* Schi., (Pino ocote), en Siguatepeque, Honduras, C.A. Todas las ecuaciones son significativas a un nivel de 0.001. Ellas predicen condiciones que tienen aplicación de inventarios forestales, debiendo ayudar a los técnicos en la obtención de estimados de volumen más precisos.

Literatura citada

1. BOEHMER, W. D., and RENNIE, J. C. Predicting diameters inside bark for some hardwoods in Tennessee. *Wood Science* 8(4):209-212. 1976.
2. CASTAÑEDA, F. Converting outside bark to inside bark diameters. Resource inventory notes, BLM-19. 1979. pp. 9-12.
3. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Proyecto de inventario forestal. Boletín informativo No. 3. Honduras, C.A. 1965. 60 p.
4. GROSENBAUGH, L. R. SIX-FORTRAN-4 program for estimates of tree populations from 3-P sampling-tree-measurements. USDA Forestal Service Research Paper PSW-13. 1964. 49 p.
5. HUSCH, B., MILLERS, CH. I. and BEERS, T. W. Forest mensuration. 2 ed. New York, Wiley, 1972. 410 p.
6. PETERS, R. Tablas de volumen para las especies coníferas en Guatemala. Proyecto PNUD/FAO/72/006. Documento de trabajo No. 17. INAFOR. Guatemala. 1977.
7. WIANI, H. and KOCH, C. B. Predicting diameters inside bark from outside bark measurements of some appalachian hardwoods. *Journal of Forestry* 72:775. 1974.

Notas y comentarios

Perfume repelente de insectos

Los repelentes de insectos tienen un gran defecto. . . . son hediondos. Untarse el cuerpo con sebo rancio de búfalo, como se usaba durante la colonización del Oeste norteamericano en el siglo XIX, puede mantener en raya a los mosquitos, pero la gente puede apartarse de uno a causa de la hediondez. Sin embargo, una alternativa es tan agradable que ha sido usada por largo tiempo como perfume.

La fragancia de la madera de cedro es agradable, segura y barata. La industria del jabón de algunos países la extrae en gran volumen de la viruta del cedro del Himalaya o "deodar" (*Cedrus deodora*, Pinnacea).

Además, el aceite inhibe a las polillas y escarabajos que mascan las ropas y alfombras. Nadie lo había probado contra insectos transmisores de enfermedades, hasta que tres científicos indios fumigaron a mosquitos de la India (*Anopheles stephensi*) con aspersiones de aceite de madera de cedro.

D. Singh, S. M. Rao, y A. K. Tripathi, del Instituto Central de Plantas Medicinales y Aromáticas, en Lucknow, capital de Uttar Pradesh, India, encontraron que una aspersión de uno por ciento del aceite mataba a los mosquitos (*Naturwissenschaften* vol. 71, p. 264). Y, malas noticias para otros insectos: mata también a las cucarachas y a las moscas.

El mercado para un insecticida a base de madera de cedro podría ser inmenso. Uno de los más populares insecticidas actualmente en el mercado es el piretro, el que, aunque es también extraído de una planta (*Chrysanthemum cinerariifolium*), a menudo deja en el lugar un olor irritante y desagradable. A. G.

EFFECTO DE LA RADIACION SOLAR SOBRE ALGUNAS CARACTERISTICAS
FISICOQUIMICAS DEL GRANO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.).
OBSERVACIONES PRELIMINARES¹ /

A. GARCIA*
R. BRESSANI**

Summary

The present study was carried out in order to confirm the contention made by bean producing farms –from a production, storage, processing and consumption survey carried out in Guatemala– that extended solar exposure increased common bean hardening or resistance to a rapid cooking. For such a purpose, a sample of recently harvested bean was exposed for several periods of time to solar radiation. The exposed samples were then analyzed for their cooking characteristics and for various chemical components. The results indicated clearly that extended solar exposure increased cooking time. The results also showed a reduction in moisture content and in ammonium oxalate soluble pectins. This preliminary research must be studied in greater detail and alternatives should be developed to reduce water content in the grain after harvest, particularly during the rainy season.

Introducción

Uno de los factores de mayor importancia en cuanto a la aceptabilidad del frijol por parte del consumidor es su facilidad de cocción (8). Esta depende, en cierto grado, de la rapidez del cotiledón para absorber el agua, lo cual, a su vez, está condicionado por la permeabilidad de la cáscara (3). La hidratación del cotiledón favorece la transferencia del calor, que resulta en la rápida cocción del grano, con la consiguiente destrucción de los factores antifisiológicos.

Sin embargo, durante un almacenamiento a alta temperatura y humedad relativa, el grano de frijol se vuelve difícil de cocinar; se reduce la capacidad de absorción de agua y se prolonga el tiempo de cocción (7). El mecanismo que lleva al grano a esta condición no está bien establecido y constituye un problema que requiere una pronta solución, debido a las grandes pérdidas de que se ha informado a causa del grano duro de frijol (5).

En una encuesta sobre producción, manejo pos-cosecha, mercadeo y consumo de frijol realizada en Guatemala, se les preguntó a los agricultores su opinión sobre el problema del endurecimiento. Se encontró que entre muchos agricultores existe el conocimiento empírico de que la radiación solar induce cambios desfavorables en el frijol, principalmente en lo que respecta al endurecimiento (4). Debido a la constancia de esta aseveración empírica y a la importancia económica del problema, se planteó la hipótesis de que la radiación solar induce cambios en el frijol, que resultan en un incremento en la resistencia a la cocción; demostrarla es el objetivo del presente estudio.

¹ Recibido para publicación el 19 de julio de 1984.
Este proyecto fue financiado por el IDRC (International Development Research Centre, Ottawa, Canada) y el Título XII (Bean/Cowpea Collaborative Research Support Program)

* Coordinador en el INCAP del proyecto colaborativo ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, Guatemala)/ INCAP.

** Jefe de la División de Ciencias Agrícolas, Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), Guatemala, Guatemala.

Materiales y métodos

Se utilizó frijol negro criollo de la región, recién cosechado, proporcionado por la Finca Experimental del INCAP (1 500 msnm y 25°C de temperatura promedio), y que no había sido expuesto directamente a la radiación solar.

El material fue extendido sobre una superficie plana y sometido a exposiciones solares de 0, 1/4, 1/2, 1, 2 y 4 días, considerando un día de radiación solar el tiempo comprendido entre las 8:00 y las 16:00 horas.

Las muestras así tratadas fueron sometidas a análisis de humedad, índice de absorción de agua, índice de cocción y sólidos totales en el caldo de cocción. Todas las muestras se analizaron en duplicado. Además, considerando que ciertos factores químicos son determinantes en aspectos de cocción, se estableció el contenido de polifenoles, azúcares solubles, sólidos insolubles en alcohol y pectinas solubles en oxalato de amonio.

La humedad se midió por deshidratación a peso constante mediante un horno al vacío a 65°C. Para el índice de absorción de agua se pusieron 25 granos en 150 ml de agua y se midió el cambio de peso al final de 4 horas. El valor se expresó como el incremento en el contenido de agua a partir del contenido inicial de agua en el grano. Para medir el índice del tiempo de cocción, se puso una muestra de 50 granos en 100 cc de agua hirviendo. El índice del tiempo de cocción se tomó contando el número de granos rotos a los 15 minutos. Todo el líquido de cocción restante se evaporó para medir sólidos totales.

El contenido de polifenoles se estimó por el método de Folin-Denis expresado como ácido tánico (6).

Los azúcares solubles se cuantificaron por el método de fenol-sulfúrico (2); los sólidos solubles en alcohol, por extracción en solución alcohólica al 65%, y las pectinas por su solubilidad en oxalato de amonio (1).

Resultados y discusión

El Cuadro 1 resume los cambios en algunas características físicas del grano de frijol sometidas a diferentes tiempos de exposición a la radiación solar, y la Figura 1 describe la relación entre la exposición solar y los cambios físicos del grano que fueron medidos. Conforme la radiación aumenta, se encuentra una reducción en la humedad, lo cual se esperaba. Sin embargo, también se pudo medir una pérdida significativa en la absorción del agua, así como una disminución en la facilidad de cocción por la reducción de granos reventados. Se notó, asimismo, una reducción en los sólidos totales del caldo; esta reducción se asocia a la facilidad de cocción (García Soto A.A., sin publicar). Estos datos vienen a demostrar que la observación de los agricultores es correcta, razón por la cual al cosechar ellos el frijol lo exponen sólo por un tiempo mínimo a la radiación solar para reducir su humedad.

En un intento para comprender el mecanismo de los cambios observados se procedió a realizar algunos análisis químicos, los resultados de los cuales se presentan en el Cuadro 2. Se puede observar que no hubo ningún cambio en taninos; sin embargo, se observó un aumento progresivo en azúcares solubles y no ocurrió ningún cambio en los sólidos totales solubles en alcohol acuoso, y sí una reducción en el contenido de pectina soluble en oxalato de amonio. Estos últimos resultados podrían sugerir, como ya ha sido indicado por otros autores (7), que las pectinas alrededor de las células del cotiledón, al perder humedad, se condensan y hacen menos fácil una rápida

Cuadro 1. Características físicas de los granos sometidos a diferentes tiempos de exposición solar.

Tratamiento	Radiación cal/cm ²	Humedad del grano (%)	Absorción de agua (%)	Granos reventados (%)	Sólidos totales del caldo g/100 ml
1	0	15.2	33.4	20.0	3.98
2	91	13.7	30.4	18.0	3.60
3	204				
4	390	12.0	20.4	8.0	2.00
5	750	12.4	10.5	2.0	1.76
6	1 416	10.7	7.4	4.0	1.78

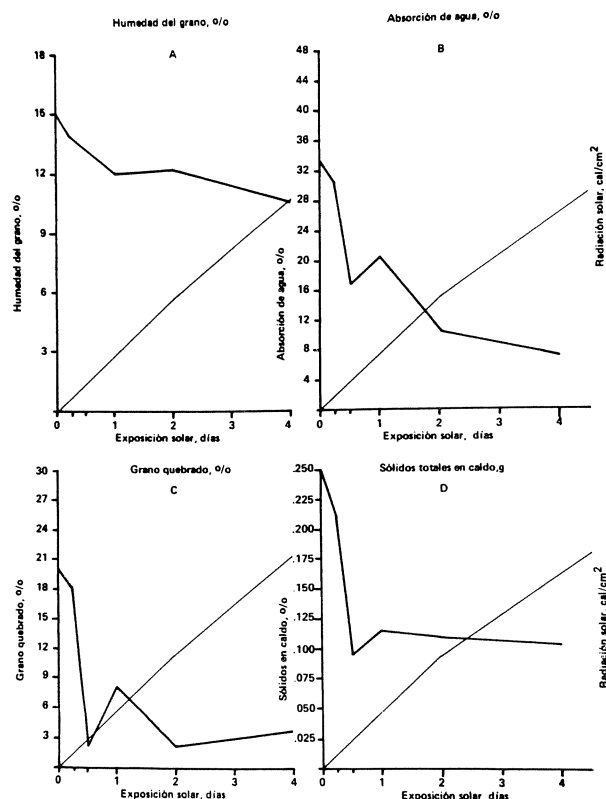


Fig. 1. Efecto de la exposición solar sobre la humedad y absorción de agua del grano y sobre la incidencia de granos quebrados y contenido de sólidos totales del caldo.

absorción de agua. Lo que es difícil de comprender y explicar es el incremento de los azúcares solubles. En todo caso, estas observaciones preliminares deben ser estudiadas más extensamente, para así comprender el mecanismo responsable del endurecimiento del frijol. La hipótesis de que la radiación solar interfiere con la absorción de agua del grano de frijol a través de un probable mecanismo de condensación de pectinas parece estar substantiada por los resultados.

Resumen

El presente estudio se llevó a cabo para confirmar la veracidad de las respuestas obtenidas de agricultores que producen frijol y de las amas de casa, en una encuesta sobre frijol, referente al problema del endurecimiento del grano y su resistencia a la cocción. El estudio trata de confirmar la aseveración de que exposiciones prolongadas a la luz/energía solar se traducen en un grano difícil de cocinar. Para los propósitos del caso, grano de frijol negro recién cosechado fue expuesto al sol durante diferentes períodos. Las muestras así tratadas fueron analizadas por sus características de cocción y por algunos componentes químicos. Los resultados indicaron que, en efecto, la exposición solar reduce la facilidad de cocción del grano. Se notó una pérdida de humedad y de pectinas solubles en oxalato de amoníaco. Es necesario, por consiguiente, hacer estudios más detallados y buscar alternativas económicas y simples para reducir el contenido de agua del grano para su almacenamiento.

Literatura citada

1. AHMED, E. E-D. M. and SCOTT, L. E. Pectic constituents of the fleshy roots of the sweet potato (*Ipomoea batatas*, Lam.). Dissertation Abstracts 17(11):2 349. 1957.
2. DUBOIS, M. *et al.* Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28:350-356. 1956.
3. ELIAS, L. G. Conocimientos actuales sobre el proceso de endurecimiento del frijol. Simposium sobre "El Problema del Endurecimiento del Frijol". XXVII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMCA), Santo Domingo, República Dominicana, 1981.

Cuadro 2. Características químicas de granos sometidos a diferentes tiempos de exposición solar.

Tratamiento	Radiación cal/cm ²	Taninos* (%)	Azúcares solubles totales (%)	Sólidos solubles en alcohol (%)	Pectina soluble en oxalato de amonio (%)
1	0	0.86	3.62	13.5	5.77
2	91	0.93	3.91	13.4	5.46
3	204	1.05	4.98	13.3	5.20
4	390	0.97	5.16	13.3	4.69
5	750	0.96	5.85	13.2	4.49
6	1 416	0.96	6.37	12.7	4.43

* Expresados como ácido tánico.

- 4 GARCIA SOTO, A. A. y BRESSANI, R. Estudio sobre características de producción y consumo de frijol en Guatemala. I. Características de producción y manejo postcosecha. XXVIII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMCA). San José, Costa Rica, marzo 22-26, 1982.
- 5 GARCIA SOTO, A. A. y BRESSANI, R. Estudio sobre características de producción y consumo de frijol en Guatemala. II. Características de almacenamiento y comercialización. XXVIII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMCA). San José, Costa Rica, 1982.
- 6 JOSLYN, M. A. *Methods of food analysis*. 2nd ed. New York, Academic Press, 1970, pp. 701-725.
- 7 MOSCOSO, W. Efecto del almacenamiento a altas temperaturas y alta humedad sobre algunas características físicas y químicas del frijol. XXVII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMCA), Santo Domingo, República Dominicana, 1981.
- 8 NAVARRETE, D. A. y BRESSANI, R. Estudio sobre características de producción y consumo de frijol en Guatemala. III. Características de preparación y consumo a nivel de hogar rural. XXVIII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMCA), San José, Costa Rica, 1982.

Reseña de libros

VICKERY, M. L. *Ecology of tropical plants*. Wiley and Sons, 1984. 170 p.

Esta obra, tal como lo indica la autora en la introducción, es una adaptación para las regiones tropicales de la 3a. edición, de 1974, del libro de autoecología del ecólogo norteamericano, Dr. R. F. Daubenmire. En los primeros cuatro capítulos se analiza someramente la influencia sobre las plantas del suelo, el agua, la radiación y los gases atmosféricos. Luego hay un breve capítulo que muestra un vistazo general sobre los diferentes tipos de vegetación que se presentan en los trópicos, desde el bosque pluvial hasta el desierto. A continuación se incluyen tres capítulos que tratan de las diferentes relaciones bióticas entre plantas y animales y entre las plantas y el hombre. El capítulo final es una innovación con respecto a la obra de Daubenmire, ya que se ofrece un resumen sobre diferentes técnicas y equipos empleados en el estudio de los factores del ambiente físico, preparado por el Dr. John Hall, de la Universidad de Dar es Salaam, Tanzania.

En la contratapa de este libro se indica que éste va dirigido a estudiantes y personas interesadas en ecología, botánica, biogeografía y agricultura de las regio-

nes tropicales. Sin embargo, esta es una obra bastante elemental, que difiere en profundidad, con respecto al libro en que está inspirado. Sin duda, este libro sí podría ser de interés para estudiantes universitarios de países extratropicales, ya que les permitiría formarse una idea somera sobre las condiciones del ambiente tropical. En lo que respecta a los países tropicales, existen ya numerosas obras mucho más profundas que ésta que ofrecen a los estudiantes y técnicos de esas regiones mayor información sobre el ambiente en que viven y trabajan. Sin embargo, el libro también podría servir como referencia en cursos de biología en los trópicos para estudiantes cuyo interés no es estrictamente biológico.

En cuanto a su contenido, hay algunos aspectos que vale la pena comentar. El proceso de sucesión ecológica, tan importante en las regiones tropicales, tanto desde el punto de vista científico como aplicado, se trata en forma muy general. Otro aspecto de la ecología moderna, que se debería haber discutido con mayor amplitud es el concepto de nicho. Por otra parte, en el capítulo de suelos, aunque la autora aclara que el objetivo del libro está muy alejado del entrar en detalles taxonómicos, en el resto del capítulo se emplea una mezcla de sistemas taxonómicos que podría traer cierta confusión al lector.

LUIS A. FOURNIER O.
ESCUELA DE BIOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

DIFERENCIAS EN NODULACION Y PRODUCCION DE GRANO DE LA SOYA AL INOCULAR SUELO O SEMILLA¹ /

M. VALDES*
J. F. AGUIRRE**
M. VELAZQUEZ**

Summary

The experiment was conducted in the Soconusco Region of Chiapas State, Mexico, and it was done to evaluate, through nodulation and grain yield, two different techniques of inoculation to soybean (var. Jupiter). Strains of Rhizobium japonicum (ENCB 517, 502 and 516) were utilized to prepare peat-moss inoculants; a commercial inoculant was also utilized. Same treatments were studied plus N fertilizer (80 kg N as urea/ha).

Results showed that nodule numbers and yields were higher in soil inoculation than in seed inoculation. No nodules were found when inoculated with the commercial inoculant. Best yields were obtained with strains 502 and 516 in both techniques of inoculation, with and without N fertilization. Soil treatment with the strain 502 (without N fertilizer) was significantly better to all other treatments

Introducción

Se ha incrementado rápidamente en los últimos años el interés regional sobre la soya dadas las necesidades de los países en la adquisición de este grano. Sólo en México el total de granos importados en 1982 fue equivalente a \$ 1 700 000 dólares, ocupando la soya el cuarto lugar.

Dentro de las estrategias por considerar para la inoculación de leguminosas en países en desarrollo, además de la selección de cepas, la implementación de una tecnología adecuada es un aspecto fundamental (2).

Cuando se siembra soya por primera vez aparece con frecuencia un fenómeno que los campesinos llaman "soya tricolor"; se ha podido comprobar que

este fenómeno está relacionado con la nodulación de la planta, es decir, en un mismo terreno aparecen plantas amarillas (sin nódulos), plantas verde claro (con pocos nódulos) y verde oscuro (con nódulos abundantes). Por otro lado, muchos de los suelos recién abiertos al cultivo de la soya son suelos donde previamente y por muchos años ha sido cultivado algodón, cultivo fertilizado con altas dosis de nitrógeno, pudiéndose encontrar residuos en cantidades tales que puedan afectar negativamente la simbiosis *Rhizobium japonicum* soya. Este nitrógeno residual es quizás la razón por la cual en algunas ocasiones, cuando se siembra soya por primera vez y sin que presente nódulos radiculares, los rendimientos son altos; también podría explicar la irregularidad de la nodulación en los primeros años de siembra, aunque este último hecho podría también ser debido a un mal uso del inoculante.

El objetivo de este estudio es evaluar dos formas de inoculación a la soya, así como de verificar si existe algún efecto en la simbiosis causado por la presencia en el suelo del fertilizante nitrogenado.

El método más común de inoculación consiste en aplicar el inoculante directamente a la semilla (2). Sin embargo, en algunos casos este método puede no ser el mejor, debido a la necesidad de disminuir la incidencia de enfermedades preemergentes o de ataques a la semilla por insectos, mediante el uso de plaguicidas

1 Recibido para publicación el 19 de julio de 1984.
Auspiciado en parte por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, proyecto PCECBNA 1029.

* Laboratorio de Microbiología Agrícola, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, México.

** Departamento de Forrajes, Centro de Investigaciones Agrícolas del Pacífico Sur, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México.

que pueden ser tóxicos a los rhizobia (1), disminuyendo el número viable de bacterias inoculadas en la cubierta de la semilla, lo cual puede afectar negativamente la posterior nodulación de la plántula. Por otro lado, la cubierta de la semilla de soya es muy delicada y la adición de adherente e inoculante puede estropearla; muchas veces cuando la testa de la semilla está dañada se facilita la invasión de patógenos, lo cual afecta a su vez la germinación (Reza, A. R. Comunicación personal, 1982).

Cuando en el suelo hay problemas de humedad y de temperatura, para lograr el número de rhizobia necesario para la nodulación efectiva, el método de inoculación a la semilla no es recomendable (4). En los suelos con poblaciones bajas de rhizobia, las cepas introducidas por inoculación forman casi el 100% de los nódulos (10); sin embargo, cuando hay poblaciones numerosas de rhizobia indígena, únicamente alrededor de un 5% de los nódulos son formados por las cepas introducidas (7). En estas circunstancias es mejor introducir las bacterias por otros medios que permitan la inoculación de un mayor número de ellas.

Los métodos alternativos incluyen tanto inoculantes líquidos como sólidos aplicados al suelo antes de sembrar (1). El inoculante líquido simplemente se suspende en solución acuosa para aplicarlo. En cuanto al inoculante sólido, se aplica al suelo tal como se produce comercialmente en forma granular y en la dosis recomendada por el productor. Esto podría ser más aceptable y práctico para el agricultor pues se incorpora al suelo en la misma forma que se aplica el fertilizante.

La inhibición de la fijación simbiótica de nitrógeno por nitrógeno mineral está bien documentada (5, 9).

Existen diferencias en la respuesta simbiótica a la presencia de nitratos, dependiendo ésta tanto de la planta como de la bacteria de que se trate (3, 5, 6). En cuanto a las cepas de *R. japonicum*, su tolerancia a los efectos de N mineral es de gran importancia económica para el ecosistema, pues la soya es un buen removedor de N mineral en los suelos (8), lo que podría afectar aún más la formación de nódulos y el nitrógeno fijado simbióticamente.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el verano de 1982 en la estación auxiliar del Campo Agrícola Experimental Rosario Izapa, INIA, localizado en el km 20 de la carretera Tapachula-Puerto Madero. El suelo presenta un pH de 7.1, una capacidad de retención

de agua del 60%, está clasificado como medianamente rico en materia orgánica y tiene una textura fina con clasificación textural migajón-arcillosa. Su clasificación de acuerdo a FAO es como unidad un Nitisol, como subunidad Distrito; en otra clasificación correspondería a un Andosol húmico (Carta Edafológica del Atlas Nal. del Medio Físico, Secretaría de Programación y Presupuesto, México). El tipo climático correspondiente a la zona es Aw''2(w)¹ g, es decir, cálido-húmedo.

El terreno no había sido previamente sembrado con soya. Para el estudio se utilizó la variedad de soya Júpiter que es la recomendada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas para la región, a una densidad de 100 kg/ha con una distancia entre surcos de 61 cm. El tamaño de la parcela total fue de 14.4 m², considerando como parcela útil los dos surcos centrales. La distancia entre parcelas y bloques fue de 2 m.

Las cepas de *R. japonicum* ensayadas fueron ENCB 502, ENCB 517 y ENCB 516. Las dos primeras fueron proporcionadas por el Dr. P. Williams del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas y cuya nomenclatura para esas cepas es IVIC 2 e IVIC 34; la tercera cepa la proporcionó el Dr. J. R. Jardim Freire del Centro de Recursos Microbiológicos (MIRCEN/UNESCO) de Porto-Alegre, Brasil, en cuyo cepario está bajo la denominación de SEMIA 587. También se utilizó el inoculante comercial Nitragin de fabricación nacional. Las cepas fueron previamente seleccionadas bajo condiciones controladas en el solarío del Laboratorio de Microbiología Agrícola de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN.

Con las cepas puras se prepararon inoculantes unicepa a base de turba con una cuenta de 10⁸ células/g de turba para cada inoculante. Para preparar el inoculante multicepa se mezclaron en proporciones iguales los inoculantes unicepa. En el caso del inoculante comercial no se hizo recuento de células viables de *R. japonicum*.

La inoculación se hizo tanto al suelo como a la semilla. La cantidad de inóculo fue al 4% con respecto al peso de la semilla. La inoculación de la semilla fue directa usando como adherente goma arábica al 10%. La inoculación al suelo se hizo mezclando el inoculante con aserrín (pH 6.5) en una cantidad equivalente a 16.6 kg/ha, y previamente tamizado (malla aproximada de 1mm) a través de un morral común de plástico. Los tratamientos sin inocular también fueron suplementados con aserrín.

Como fuente de nitrógeno se utilizó urea en una dosis de 80 kg/ha y como fósforo, superfosfato de

calcio triple, también equivalente a 80 kg/ha. Este último fue aplicado en todos los tratamientos con inoculación. La aplicación del fertilizante fue antes de la siembra en el fondo del surco y tapado antes de depositar la semilla.

Tratamientos y diseño experimental

Número	Tratamientos
1	<i>R. japonicum</i> ENCB 517
2	<i>R. japonicum</i> ENCB 502
3	<i>R. japonicum</i> ENCB 516
4	Mezcla de las 3 cepas
5	<i>R. japonicum</i> Nitragín
6	<i>R. japonicum</i> ENCB 517 + N
7	<i>R. japonicum</i> ENCB 502 + N
8	<i>R. japonicum</i> ENCB 516 + N
9	Mezcla de las 3 cepas + N
10	<i>R. japonicum</i> Nitragín + N
11	Nitrógeno
12	Nitrógeno + Fósforo
13	Testigo

Se utilizó el diseño de bloques al azar con 4 repeticiones, analizándose los datos por el mismo método.

Variables consideradas

Durante la floración se muestrearon 5 plantas por parcela (20 por tratamiento) para cuantificar el número de nódulos; estos se colocaron en una estufa a 80°C hasta peso seco. Una parte de los nódulos de las plantas inoculadas con la mezcla de cepas se conservaron congelados para identificar posteriormente la cepa que había formado cada nódulo. La identificación se hizo por método serológico previamente descrito (11).

Al final del ciclo vegetativo se cuantificó producción de grano.

Resultados y discusión

Durante el ensayo hubo disturbios climáticos importantes. Después de instalado el experimento se presentó una sequía de 20 días consecutivos. Posteriormente, cuando la vaina ya estuvo formada, la precipitación pluvial fue tan intensa que el terreno se inundó, permaneciendo así durante 5 días. De esta manera tanto las células fijadoras de nitrógeno como las plantas estuvieron bajo condiciones muy adversas. La Figura 1 muestra el climograma para 1982.

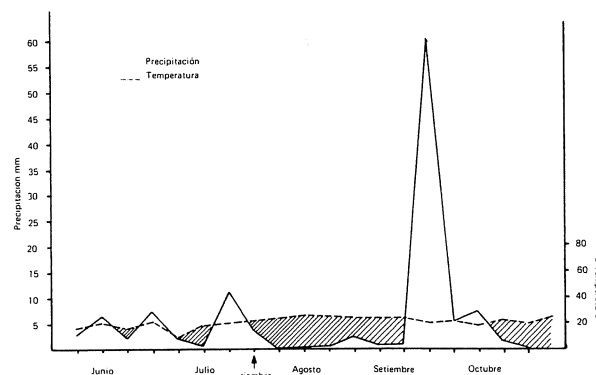


Fig. 1. Climograma del sitio experimental "La Costa" según Bagnouls y Gausson para 1982.
/// = déficit hídrico.

En forma general la nodulación fue incrementada al inocular el suelo (Cuadro 1). Bajo ninguno de los 2 métodos de inoculación el inoculante comercial fue capaz de nodular las plantas. En ambos métodos la nodulación de la cepa *R. japonicum* ENCB 512 no fue considerable, siendo aún menor al inocular el suelo en presencia de nitrógeno.

Los incrementos mayores en el número de nódulos al inocular el suelo se observaron en los siguientes tratamientos (Cuadro 1): mezcla de cepas, cuyo incremento fue de 2.5 nódulos por planta cuando se inocula semilla, a 7.7 nódulos por planta al inocular suelo; la misma mezcla más fertilizante nitrogenado, con un aumento de 2.2 a 14 nódulos y la cepa ENCB 502 más el mismo fertilizante aumentando el número de nódulos por planta de 1.2 a 16.5.

Cuadro 1. No. de nódulos comparativo cuando se inocula suelo o semilla de soya var. Júpiter con diferentes cepas de *R. japonicum*.

Tratamiento	Prom. No. de nódulos/planta	
	Inoculación a semilla	Inoculación a suelo
<i>R. japonicum</i> ENCB 517	0.7	2.7
<i>R. japonicum</i> ENCB 502	5.3	7.1
<i>R. japonicum</i> ENCB 516	16.5	19.2
Mezcla de cepas	2.5	7.7
Nitragín	0.0	0.3
<i>R. japonicum</i> ENCB 517 + N	2.4	0.3
<i>R. japonicum</i> ENCB 502 + N	1.2	16.5
<i>R. japonicum</i> ENCB 516 + N	6.7	7.0
Mezcla de cepas + N	2.2	14.1
Nitragín + N	0.1	0.0
N + P	0.2	0.0
Testigo	0.0	0.0

Dados los grandes cambios en el número de nódulos formados, sobre todo con el inoculante elaborado con la mezcla de las 3 cepas ensayadas, se procedió a identificar los nódulos formados al inocular el suelo para conocer la dominancia entre ellos de una cepa u otra. En el caso de la mezcla de cepas sin adición de nitrógeno se encontró que la ENCB 502 y la ENCB 516 formaron cada una un 35% de los nódulos y la ENCB 517 sólo un 15%. Cuando se adicionó a esta mezcla el fertilizante nitrogenado, esta última cepa no formó nódulos, mientras que la ENCB 502 formó sólo un 10% de ellos y la ENCB 516 fue la dominante formando el 85% de los nódulos. Estos resultados confirman lo obtenido en otro ensayo nuestro (11) inoculando semilla, donde esta misma cepa se manifiesta dominante en la formación de nódulos en presencia de nitrógeno combinado. Sin embargo, la nodulación por esta cepa, cuando se inocula individualmente tanto a semilla como a suelo, baja en presencia de nitrógeno.

En el caso de la cepa ENCB 502 su comportamiento en presencia del fertilizante nitrogenado es notoriamente diferente cuando se inocula al suelo que cuando se inocula a la semilla, es decir, cuando se inocula semilla en presencia de fertilizante nitrogenado el número de nódulos disminuye y cuando se inocula el suelo en presencia del fertilizante, el número de nódulos se incrementa considerablemente. Cuando se inocula individualmente al suelo, en presencia de nitrógeno, el número de nódulos aumenta, mientras que disminuye este número al inocularse con otras cepas.

En cuanto a los rendimientos, mostrados en el Cuadro 2, no fueron muy altos dado las condiciones adversas de experimentación; sin embargo, superan considerablemente a la media regional que en este año fue de 1 400 kg/ha (Reza, A. R. Comunicación personal, 1982).

En todos los casos fueron mejores los mismos cuando se inoculó el suelo que cuando se inoculó la semilla. Así mismo, las plantas creciendo en el suelo previamente inoculado, mostraron una coloración uniforme.

Cuando se inoculó la semilla, los mejores tratamientos fueron con las cepas ENCB 502 y ENCB 516 sin fertilización de nitrógeno, presentando diferencias significativas, con los otros tratamientos.

Cuando se inoculó el suelo los mejores rendimientos fueron para los mismos tratamientos aunándose a ellos el tratamiento de la mezcla de las 3 cepas, siendo el mejor el tratamiento con la cepa 502 sin adición de nitrógeno, con diferencia significativa entre tratamientos.

Cuadro 2. Rendimiento comparativo de grano (kg/ha) de la soya variedad Júpiter al inocular semilla o suelo con diferentes cepas de *R. japonicum*.

Tratamientos	Rendimiento de tratamientos	
	Inoculación a semilla	Inoculación a suelo
<i>R. japonicum</i> ENCB 517	1 462.75 bed	2 123.25 bed
<i>R. japonicum</i> ENCB 502	2 022.25 a	2 812.75 a
<i>R. japonicum</i> ENCB 516	2 227.50 a	2 358.25 abcd
Mezcla de cepas	1 549.00 bed	2 204.25 abcd
Nitragin	1 579.50 bed	1 919.75 de
<i>R. japonicum</i> ENCB 517 + N	1 582.75 bed	2 044.75 cde
<i>R. japonicum</i> ENCB 502+N	1 842.00 abc	2 614.25 ab
<i>R. japonicum</i> ENCB 516+N	1 853.75 ab	2 483.00 abc
Mezcla de cepas + N	1 621.50 bed	2 032.25 cde
Nitragin + N	1 499.00 bed	2 161.25 bed
N	1 420.25 cd	1 888.75 de
N + P	1 611.00 bed	2 055.00 cde
Testigo	1 410.75 d	1 577.50 e
	DMS = 5% 421.19	DMS = 5% 518.24
	CV = 17.6	CV = 16.6

Si se considera que al inocular el suelo el mayor rendimiento de grano es de 2 812.75 kg/ha y que fue obtenido con inoculación de la cepa ENCB 502 (más fósforo) y lo comparamos con el rendimiento obtenido al fertilizar con nitrógeno (más fósforo) que fue de 2 055 kg/ha, significa que el primer tratamiento supera al segundo en un 36%, por lo que esta cepa podría substituir y superar al fertilizante nitrogenado.

Estos incrementos podrían mejorarse si se contara con condiciones climáticas mejores y si se utilizara una mayor tasa de inoculación, lo que es recomendable cuando se inocula al suelo (2) ya sea con un inoculante de mejor calidad (más bacteria/g de turba) o agregando mayor cantidad de inoculante.

Conclusiones

- 1 El número promedio de nódulos por planta fue mayor al inocular suelo que al inocular semilla.
- 2 La producción de grano fue mayor al inocular suelo que al inocular semilla.
- 3 El mayor rendimiento de grano se obtuvo al inocular al suelo con la cepa *R. japonicum* ENCB 502 superando significativamente a todos los tratamientos, dando esta cepa junto con la 516 los mejores rendimientos en todos los casos.

4. El inoculante comercial no formó nódulos en ningún caso y el rendimiento de las plantas fue tan bajo como los testigos.
5. La presencia de N en la dosis utilizada no manifestó efecto negativo en la simbiosis de la soya con las cepas 502 y 516, y la simbiosis con la cepa 517 si se mostró afectada.

Resumen

En la región del Soconusco, Chiapas, México, fue montado un ensayo con el objeto de evaluar a través de nodulación y producción de grano, la inoculación al suelo y la inoculación a la semilla de soya var Júpiter. Las cepas estudiadas fueron *Rhizobium japonicum* ENCB 517, 502 y 516 con las que se elaboraron inoculantes uni y multicepa a base de turba. Se inoculó también con un inoculante comercial. Se incluyeron también estos tratamientos adicionados con fertilizantes nitrogenado (80 kg de urea/ha). El número promedio de nódulos por planta en general fue mayor al inocular el suelo que al inocular la semilla, así mismo el rendimiento en grano. Bajo ninguno de los dos métodos de inoculación, el inoculante comercial formó nódulos. Los mejores rendimientos en ambos métodos adicionando y sin adicionar fertilizante nitrogenado, se lograron con las cepas de *R. japonicum* 502 y 516. La cepa 502 superó significativamente todos los tratamientos al inocular el suelo.

Literatura citada

1. BROCKELL, J. Application of legume seed inoculants. In IV. R. W. F. Hardy and A. H. Gibson eds. A treatise on dinitrogen fixation, section. Wiley, New York, 1977.
2. BURTON, J. C. *Rhizobium* inoculants for developing countries. Tropical Agriculture (Trinidad) 58(4):291-295. 1981.
3. EVANS, J. Response of soybean-*Rhizobium* symbiosis to mineral nitrogen. Plant and Soil 66:439-442. 1982.
4. GIBSON, A. H. Factors in the physical and biological environment affecting nodulation and nitrogen fixation by legumes. Plant and Soil. Special volume: 139-152. 1971.
5. GIBSON, A. H. Recovery and compensation by nodulated legumes to environmental stress. In P. S. Nutman, ed. Symbiotic nitrogen fixation in plants. IBP No. 7. Cambridge, University Press. 1973. pp. 385-403.
6. GIBSON, A. H., DUDMAN, W. F., WEAVER, R. W., HORTON, J. C., ANDERSON, I. C. Variation within serogroup 123 of *Rhizobium japonicum*. Plant and Soil, Special volume: 33-37. 1971.
7. JOHNSON, J. W., MEANS, U. M., WEBER, C. R. Competition for nodule sites between strain of *Rhizobium japonicum* applied as inoculum and strains in the soil. Agronomy Journal Madison 57:179-185. 1965.
8. JOHNSON, J. W., WELCH, L. F., KURTZ, L. T. Environmental implication of N fixation by soybeans. Journal of Environmental Quality 4:303-306. 1975.
9. MUUNS, D. N. Mineral nutrition and the legume symbiosis. In R. W. F. Hardy and A. H. Gibson, eds. A treatise on dinitrogen fixation, section IV. Wiley New York, 1977. pp. 353-391.
10. ROUGHLEY, R. J., BLOWS, W. M., HER-
RIDGE, D. F. Nodulation of *Trifolium*
subterraneum by introduced rhizobia in
competition with naturalized strains. Soil
Biology and Biochemistry 8:403-407. 1976.
11. VALDES, M., VELAZQUEZ, V. M., AGUIRRE,
J. F. Competencia por nodulación de *Rhizo-
bium japonicum* en la variedad Júpiter de
soya y su producción de grano. Agricultura
Técnica en México 10(2) (en prensa).

Reseña de libros

JENSEN, U., and FAIRBROTHERS, D. E. *Proteins and nucleic acids in plant systematics*. Springer Verlag 1983. 408 p.

Recientemente la Editorial Springer-Verlag publicó una serie de conferencias, veintiséis en total, sobre bioquímica macromolecular, biología celular, genética vegetal, filogenia sistemática y otras ciencias afines, bajo el título: "Proteins and Nucleic Acids in Plant Systematics", 1983. Las conferencias versaron sobre temas altamente especializados y se dictaron con motivo de la celebración de un simposio internacional, el cual se llevó a cabo en la Universidad de Bayreuth, República Federal de Alemania. El objetivo principal de dicho simposio fue el de brindarles a los científicos germanos la oportunidad de comunicarse con colegas de otras naciones —intercambiando información acerca de los métodos analíticos más modernos— y examinar el rumbo que debe imprimirse a las investigaciones en Biosistemática Macromolecular Vegetal en el futuro cercano.

El simposio estuvo plenamente justificado en virtud de la gran cantidad de información científica que se había acumulado desde inicios de la década de los setenta, cuando se desencadenó una avalancha de estudios sobre biología celular y molecular, genética, taxonomía y filogenia. Como se recordará, la taxonomía fue la primera disciplina que se desarrolló para clasificar sistemáticamente y ordenar las características especiales de los organismos y grupos de éstos (taxones). Por otra parte, la filogenia estudia las relaciones de parentesco y la historia de grupos de seres vivos, con base en datos paleontológicos, ontogénicos, anatómicos y de clasificación y distribución de floras y faunas. La filogenia sistemática o biosistemática surgió por la necesidad de correlacionar diferentes características biológicas con ciertos aspectos evolucionistas. En este aspecto, el uso de reacciones serológicas hizo posible que se confirmara la mayoría de los grupos taxonómicos establecidos y que, además, se haya podido perfeccionar y hasta corregir otros. Es interesante señalar que la portada del libro resume todo lo antes dicho, por medio de una concepción artística de las relaciones evolucionistas de una planta unicelular flagelada, posiblemente *Euglena*, y una angiosperma representada por lo que parece ser una bellota de algodón. Verticalmente y ocupando una posición central se aprecia como emerge una cadena helicoidal doble (ADN), que equivale a la línea evolutiva principal del Reino Vegetal.

La delicada tarea de confeccionar el libro estuvo a cargo de dos eminentes profesores e investigadores:

U. Jensen de la Universidad de Bayreuth, y D. E. Fairbrothers de la Universidad de Rutgers, Nueva Jersey, EE.UU., quienes además tuvieron una participación activa en el Simposio.

Podría pensarse que "Proteins and Nucleic Acids in Plant Systematics" fue escrita para un grupo de lectores pequeño, dado el alto nivel de la obra. Sin embargo, después de leerla nos atrevemos a decir, sin temor de incurrir en exageraciones, que no. La información debe ser de interés y gran utilidad tanto para el biólogo evolucionista como para el biólogo celular y molecular, así como para ecólogos, genetistas, bioquímicos vegetales y estudiantes avanzados de diversas ramas de la Biología Moderna.

Ya mencionamos que el libro es de alto nivel y bastante especializado, lo cual es cierto. Pero también lo es el hecho de que es sumamente didáctico pues seguramente así quisieron que lo fuera sus editores. Los temas siguen una secuencia lógica; están adecuadamente entrelazados sin que haya una repetición excesiva de los conceptos fundamentales (genética, bioquímica, etc.) en que se sustentan los análisis de las relaciones evolutivas de las plantas; con igual énfasis se discuten las buenas características como las limitaciones de los métodos analíticos aplicables en estudios sobre filogenia y clasificación de las plantas. Pero por encima de todo eso hay que destacar que todos los temas se desarrollaron cuidadosa y hábilmente, y que cada capítulo termina con una discusión en la cual se repasan los puntos sobresalientes y se hacen valiosas recomendaciones para que las futuras investigaciones sean aún más eficaces. Sin duda alguna, se trata de una excelente obra científica.

Consideramos que "Proteins and Nucleic Acids in Plant Systematics" es ideal para un curso avanzado en Botánica, y que el estudio de esa materia puede servir para que los nuevos profesionales en ciencias biológicas —y Agricultura es una de ellas— descubran por ellos mismos otros campos en que desenvolverse técnica o científicamente. Para nadie es un secreto que los mercados tradicionales de trabajo están saturados y que esta situación posiblemente siga igual mientras perdure la seria crisis económica por la que atravesamos los países pobres. Quizás porque creemos en el valor de la superación profesional como requisito para la superación socioeconómica, es que la lectura de esta importante obra resultó tan estimulante para nosotros. Ojalá tenga igual efecto en otros lectores.

EDUARDO JIMENEZ
ESCUELA DE BIOLOGIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

J. NAKAGAWA*
 R. BERBEL Jr.**
 J.R. MACHADO*
 C.A. ROSOLEM*

Summary

The objective of the present research was to study the seed maturation in 17 cultivars of sweet sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench.) The experiment was conducted under field conditions at Botucatu county, São Paulo State, Brazil, on a soil classified as Ultisol (Terra Roxa Estruturada). The sowing was carried out in late December and the seed maturation was studied in seeds harvested weekly. The interval between 50% of flowering and the first harvest, was different between cultivars. The seed maturation was evaluated by the visual aspect and the hardness of the seeds from the bottom and the top parts of the panicle, the moisture content, the 1 000 seeds weight and the germination after homogenisation of the moisture of the seeds in a dry chamber. By the analysis of these characteristics, the physiological maturity could be determined and it occurred near 40th or 46th days after flowering (50%) for the most of the cultivars.

Introdução

O estudo da maturação de sementes visando a determinação do ponto ideal de colheita reveste-se de importância no tocante aos aspectos de produção e a qualidade das mesmas, sendo que para o sorgo sacarino, além destes, soma-se a da relação desta maturação com a dos colmos (18).

A determinação do ponto de maturidade fisiológica, que se torna uma das preocupações maiores nestes estudos, tem sido feita considerando-se principalmente o instante em que a semente atinge o seu máximo de matéria seca (2), sendo este também critério utilizado pela maioria dos pesquisadores em sorgo (4, 5, 6, 7, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18). Além desta característica, outros aspectos como desenvolvimento morfo-

lógico da cariópse e do embrião (13), germinação (4, 5, 10, 15, 16, 18), vigor (10, 15, 16, 18) e teor de umidade (4, 6, 10, 12, 15, 16, 18) tem sido estudados para melhor definir e entender a maturação das sementes de sorgo. Neste particular, o aparecimento da camada negra na região do hilo da semente de sorgo tem sido bem estudado e relacionado com a maturidade fisiológica (4, 7, 8, 17, 18), apesar de algumas restrições.

A diferenciação das espiguetas na panícula do sorgo ocorre do ápice para a base (11) e as antesis destas é progressiva nesta ordem levando de 4 a 7 dias até completar-se (17), e como a maturação das cariopses segue a mesma sequência, torna-se difícil a definição do momento da maturidade das sementes da panícula.

Levando em consideração que os estudos de maturação de sementes de sorgo, em condições brasileiras, tem sido em pequeno número, normemente em sorgo sacarino (16, 18), e aos problemas expostos na literatura, é que o presente trabalho foi delineado e conduzido com o intuito de contribuir aos conhecimentos sobre a maturação de sementes de cultivares de sorgo sacarino nas condições de Botucatu, São Paulo.

¹ Recebido para publicação em julho, 1984.

* Departamento de Agricultura e Silvicultura, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu-UNESP, 18600, Botucatu-SP.

** Ex-estagiário do Departamento de Agricultura e Silvicultura, F.C.A. - Botucatu-UNESP.

Materiais e métodos

O trabalho foi conduzido em condições de campo, na Estação Experimental "Presidente Médici" (EPEM) pertencente ao Campus de Botucatu-UNESP, localizada no município de Botucatu, Estado de São Paulo. O solo empregado foi classificado como Terra Roxa Estruturada distrôfica, textura argilosa (3). Os dados diários de precipitação pluvial, referentes ao período após a fase vegetativa da cultura, coletados no Posto Meteorológico da EPEM, encontram-se nas Figuras 1, 2, 3 e 4.

Foram utilizados 17 cultivares de sorgo sacarino, sendo oito variedades e nove híbridos (Quadro 1), dispostos em blocos ao acaso, com quatro repetições. As parcelas eram constituídas de cinco linhas de 7.0 m de comprimento cada, espaçadas de 0.70 m, com 10 plantas por metro linear.

A adubação básica empregada foi 20-80-30 kg/ha, respectivamente de N, P_2O_5 e K_2O , nas formas de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, aplicadas no sulco de semeadura. Uma adubação em cobertura à base de 60 kg/ha de N, uma forma de sulfato de amônio, foi realizada em torno do trigésimo dia após a emergência das plântulas. A semeadura foi realizada em 30/12/80.

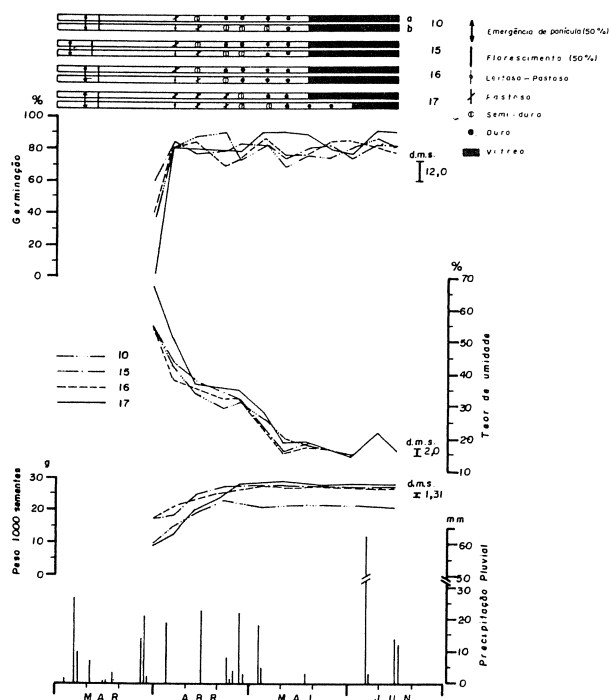


Fig. 1. Modificações nos estádios de desenvolvimento das sementes da panícula (a = ápice; b = base), na germinação, no teor de umidade e no peso de 1000 sementes durante a maturação de sementes de sorgo sacarino. Dados diários de precipitação pluvial. (Cultivares: 10 = CMS x S733; 15 = CMS x S734; 16 = CMS x S735; 17 = Ample HOK).

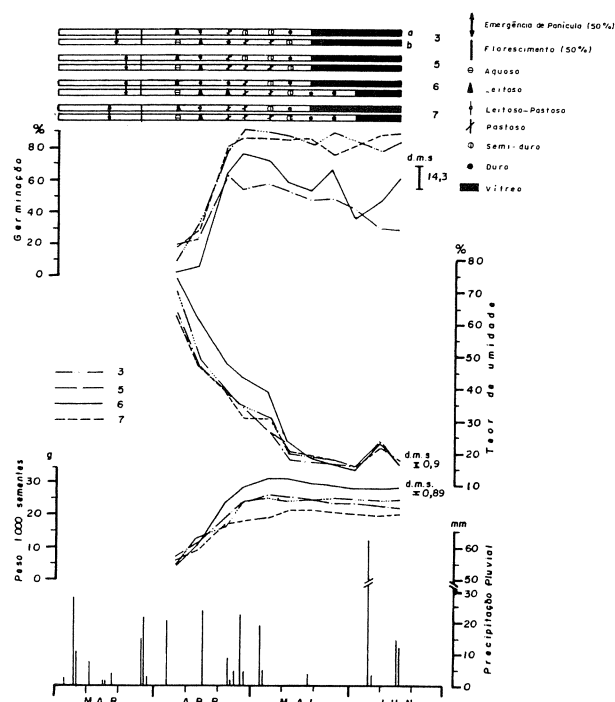


Fig. 2. Modificações nos estádios de desenvolvimento das sementes da panícula (a = ápice; b = base), na germinação, no teor de umidade e no peso de 1000 sementes durante a maturação de sementes de sorgo sacarino. Dados diários de precipitação pluvial. (Cultivares: 3 = BR 502; 5 = CMS x S603; 6 = Sart; 7 = CMS x S616).

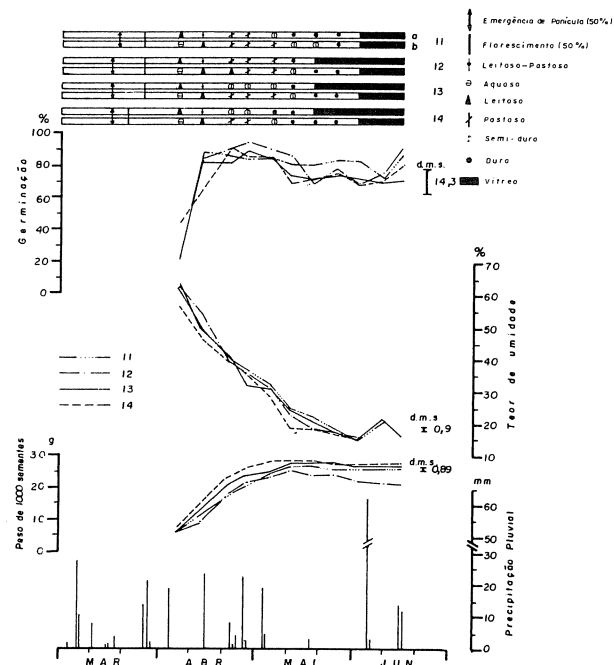


Fig. 3. Modificações nos estádios de desenvolvimento das sementes da panícula (a = ápice; b = base), na germinação, no teor de umidade e no peso de 1000 sementes durante a maturação de sementes de sorgo sacarino. Dados diários de precipitação pluvial. (Cultivares: 11 = BR 602; 12 = CMS x S717; 13 = CMS x S719; 14 = CMS x S732).

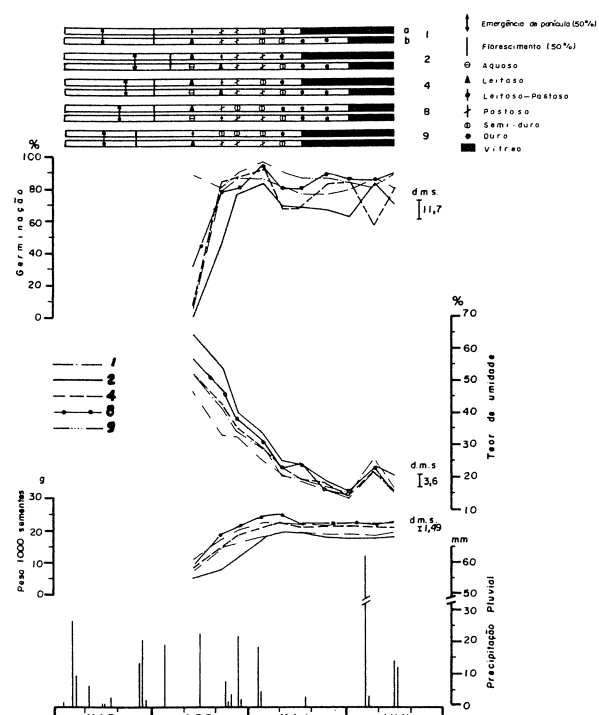


Fig. 4. Modificações nos estádios de desenvolvimento das sementes da panícula (a = ápice; b = base), na germinação, no teor de umidade e no peso de 1000 sementes durante a maturação de sementes de sorgo sacarina. Dados diários de precipitação pluvial (Cultivares: 1 = BR 500; 2 = BR 501; 4 = BR 503; 8 = CMS x S623; 9 = BR 601).

Foram realizados controles de ervas daninhas através de capinas manuais, e de insetos pela aplicação de inseticidas fosforados e carbamatos.

Após a emergência das plântulas procurou-se acompanhar os principais estádios de desenvolvimento da planta como emborrachamento, emergência de panículas, florescimento e formação das sementes.

Três semanas após os cultivares mais precoces terem atingido 50% de emergência de panícula, iniciaram-se as coletas das panículas, em número de 10 por parcela, ao acaso, em intervalos semanais aproximadamente, em todos os tratamentos. Este procedimento, que se iniciou no dia 31/03 e finalizou em 15/06, resultou em 12 coletas para o grupo dos cultivares aqui considerados precoces; 11 coletas para os intermediários e 10 coletas para os tardios (Figuras 1, 2, 3, 4).

Na ocasião das coletas as panículas foram examinadas, e tiveram as sementes do ápice e da base classificadas, separadamente, em diferentes estádios de maturação: aquoso, leitoso, leitoso-pastoso, pastoso, semi-duro, duro e vítreo, em função do aspecto do conteúdo e da dureza apresentada pelas sementes à manipulação manual.

Quadro 1. Dados médios do número de dias após a semeadura para a ocorrência de emborrachamento (50%), emergência de panícula (50%), florescimento (50%) e máximo de peso de 1 000 sementes, em 17 cultivares de sorgo sacarina, sob condições de Botucatu-SP.

Tratamento	Identificação (cultivar)	Emborrachamento (50%)	Emergência da panícula (50%)	Florescimento (50%)	Máximo peso de 1 000 sementes
		Dias	Dias	Dias	Dias
1	BR 500 (V)	71	76	92	132
2	BR 501 (V)	76	86	97	132
3	BR 502 (V)	71	78	86	126
4	BR 503 (V)	76	83	92	132
5	CMS x S603 (V)	71	81	86	126
6	Sart (V)	76	81	86	126
7	CMS x S616 (V)	69	76	86	132
8	CMS x S623 (V)	71	81	92	132
9	BR 601 (H)	69	76	86	126
10	CMS x S733 (H)	59	69	73	113
11	BR 602 (H)	71	78	86	132
12	CMS x S717 (H)	69	76	86	132
13	CMS x S719 (H)	69	76	86	132
14	CMS x S732 (H)	69	76	81	127
15	CMS x S734 (H)	59	64	71	113
16	CMS x S735 (H)	59	69	73	126
17	Ample HOK (H)	59	69	73	126

V = variedade

H = híbrido

Logo após cada coleta, foram tomadas amostras de sementes para a determinação do teor de umidade de acordo com as prescrições das Regras para Análise de Sementes (1). As sementes remanescentes foram deixadas secar em meio ambiente (laboratório) e a seguir colocadas em câmara seca para completar e homogeneizar o teor de umidade, para em seguida realizar-se as demais determinações. Uma vez secas, mensurou-se novamente o teor de umidade, para em seguida proceder-se a determinação do peso de 1000 sementes e o teste de germinação (1).

O teste de germinação foi realizado empregando-se 4 repetições de 50 sementes, tendo como substrato papel toalha marca Xuga, previamente lavado em água corrente por 24 hs. As demais prescrições e recomendações constantes nas Regras para Análise de Sementes (1) foram seguidas para o teste.

Os dados de teor de umidade à colheita, peso de 1000 sementes e porcentagem de germinação foram analisados estatisticamente, em modelo fatorial cultivares x épocas de coletas, agrupando-se em cultivares precoces, intermediários e tardios, como foi referido anteriormente, em função do número diferente de coletas para estes grupos. Os valores em porcentagem foram previamente transformados em $y = \arcsin \sqrt{x\%}$ ou $y = \sqrt{x\% + 0.5}$, e as médias comparadas pelo teste Tukey, seguindo-se recomendações de Gomes (9).

Resultados e discussão

Acompanhando-se o desenvolvimento dos cultivares e baseando-se nas ocorrências da emergência das panículas (50%) e florescimento (50%) houve possibilidade de se considerar três grupos denominados precoces, tratamentos 10, 15, 16, 17 (CMS x S733; CMS x S734; CMS x S735 e Ample HOK), intermediários, tratamentos 3, 5, 6, 7, 11, 12, 13, 14 (BR 502, CMS x S603, Sart, CMS x S616, BR 602, CMS x S717, CMS S719, CMS S732) e tardios, tratamentos 1, 2, 4, 8, 9 (BR 500, BR 501, BR 503, CMS x S623, BR 601) (Quadro 1). Verificou-se, entretanto que, entre os considerados intermediários e tardios, as diferenças de ocorrência destas fases foram bem próximas, enquanto nos precoces foram mais nítidas. É interessante observar que os considerados precoces foram todos híbridos e nos tardios os melhores caracterizados como tais foram as variedades (BR 500, BR 501, BR 503, CMS x S623).

Pelas Figuras 1, 2, 3 e 4 verifica-se todavia que após o florescimento, os cultivares dentro de uma mesmo grupo apresentaram desenvolvimento diferenciado de suas sementes, principalmente com relação

ao aspecto do estágio de maturação na panícula, considerando-se as sementes localizadas no ápice e base da mesma.

Tal situação foi também caracterizada no peso de 1000 sementes, no teor de umidade por ocasião das coletas e na porcentagem de germinação, pois a análise da variância revelou efeitos de interação entre épocas de coletas x cultivares, em todos os grupos e parâmetros analisados. Para o caso destes parâmetros, outro fator que deve ter contribuído para que houvessem estas interações decorreu de não ter-se fixado o número de dias após emergência da panícula ou florescimento separadamente para cada cultivar, como tem sido realizado em outros trabalhos semelhantes (4, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 15, 16, 18).

A avaliação do desenvolvimento da semente quanto ao seu aspecto mostrou variação de estádios dentro da panícula (Figuras 1, 2, 3 e 4), em função do diferenciado desenvolvimento da mesma (11), ocorrendo um estágio mais avançado no ápice em relação à base. Isto leva a diferenças de maturação na própria panícula, considerando-se as partes basal, mediana e apical (17). Este fato dificulta a caracterização da maturidade mesmo a nível de panícula como um todo.

O ponto de maturidade fisiológica tem sido definido como o instante em que a semente atingiu o seu máximo de conteúdo de matéria seca (2), tendo sido este o critério adotado pelos pesquisadores também em sorgo (4, 6, 7, 10, 12, 14, 15, 16, 18). No presente caso, nas condições de coletas semanais, os máximos dos pesos de 1 000 sementes, determinados após homogeneização do teor de umidade em torno de 90% em câmara seca, foram atingidos variando de 35 a 53 dias após o florescimento (50%) em função dos cultivares (Quadro 2, Figuras 1, 2, 3 e 4). A partir deste momento nas coletas seguintes, observou-se uma pequena queda daqueles valores, porém muitas vezes não significativa estatisticamente. A diminuição do peso da matéria seca acumulada com o decorrer das coletas foi também observada por outros autores (4, 6, 7, 10), podendo ser atribuída à respiração, a causa ou parte dela (6, 7, 10).

É interessante observar que o período de tempo entre o florescimento (50%) e o máximo do peso de 1000 sementes, dentro dos grupos aqui considerados (Quadro 2), variou em função dos cultivares, sendo que nos tardios houve uma diminuição deste período, possibilitando que estes se iguallassem aos outros, em números de dias da semeadura ao máximo do peso de 1000 sementes (Quadro 1).

Ao atingir os máximos de peso de 1000 sementes a maioria dos cultivares (12 cv) apresentava as sementes do ápice da panícula no estágio duro e as da base

semi-duro; quatro outros cultivares apresentavam-se respectivamente com estádios semi-duro e pastoso, e um, duro e duro (Quadro 2, Figuras 1, 2, 3 e 4). Considerando-se que as coletas foram semanais, e como para alguns cultivares (tratamentos 2, 4, 8, 16, 17) os máximos de peso de 1000 sementes não diferiram significativamente dos pesos da coleta anterior, é de se supor que neste intervalo (07 dias) aquele valor pudesse ser atingido. Em assim sendo alguma diferença nos estádios de maturação das sementes na panícula poderia ter ocorrido em relação ao observado (Quadro 2).

O teor de umidade das sementes para todos os cultivares apresentou uma queda acentuada a partir das primeiras coletas (Figuras 1, 2, 3, 4), sucedendo-se para alguns uma fase de menor perda próxima ao do máximo de peso de 1000 sementes, seguindo-se de nova queda, para finalmente entrarem em equilíbrio com o meio. Para todos os cultivares os menores teores de umidade foram atingidos na coleta de 01/06, entretanto na coleta anterior (25/5), já mostravam-se em equilíbrio com o meio, pois não houveram diferenças estatísticas entre os teores de umidade dos cultivares. Pelo Quadro 2 verifica-se que a umidade das sementes, por ocasião do máximo peso de 1000 sementes variou de 20,2 a 37,9% entre os cultivares. Comparando estes teores de umidade e os encontrados na literatura para sorgo granífero, quando por ocasião do máximo peso de matéria seca, verifica-se

que são concordantes, pois os últimos variaram desde 20,7% (12) a 40% (3), sendo que na maioria dos casos situou-se entre estes intervalos (4, 6, 10, 15, 17). Constatou-se ainda que, através da avaliação visual, um mesmo estádio de maturação (sementes da ápice e base) da panícula de cultivares diferentes proporcionou teores de umidade distintos (Quadro 2). Este fato pode estar relacionado às diferenças de contribuições que estas partes (ápice e base) devem ter dado ao teor médio de umidade da amostra das panículas, bem como a dificuldade de melhor caracterizar os estádios semi-duro, duro e vítreo após um certo período de maturação (Figuras 1, 2, 3, 4).

O efeito da precipitação pluvial na umidade das sementes fez-se sentir de forma bem acentuada somente após as mesmas terem entrado em equilíbrio com o meio (Figuras 1, 2, 3 e 4).

A capacidade de germinação das sementes dos cultivares, exceção feita a BR-501 (Tratamento 2), manifestou-se logo nas primeiras coletas, que representou para alguns cultivares em torno de 11 dias após 50% de florescimento (Figuras 1, 2, 3, 4). Vianna *et al.* (16) observaram tal fenômeno 7 dias após a fecundação. Tal situação é compreensível, pois Paulson (13) verificou que entre o sexto e o sétimo dias após a polinização iniciava-se o desenvolvimento visível do eixo embrionário tanto em sua região radicular como apical, e que no 12.^o dia, a radícula, com a coifa, esta-

Quadro 2. Dados médios de número de dias após a emergência da panícula (50%) e do florescimento da panícula (50%), do peso de 1 000 sementes, do teor de umidade e da germinação (%) das sementes por ocasião do máximo peso de 1 000 sementes de 17 cultivares de sorgo sacarino, sob condições de Botucatu-SP.

Tratamento	Identificação (cultivar)	Dias após		Estádio da semente		Peso de 1 000 sementes (g)	Teor de umidade (%)	Germinação (%)
		Emergência panícula (50%)	Florescimento (50%)	ápice	base			
10	CMS x S733 (H)	44	40	D	SD	21,86	28,9	89,0
15	CMS x S734 (H)	49	42	D	SD	27,19	33,6	78,5
16	CMS x S735 (H)	57	53	D	D	26,90	21,4	86,5
17	Ample HOK (H)	57	53	D	SD	28,60	27,6	89,5
3	BR 502 (V)	48	40	SD	P	24,68	30,0	88,0
5	CMS x S603 (V)	45	40	SD	P	25,56	26,0	56,5
6	Sart (V)	45	40	SD	P	30,48	37,9	70,0
7	CMS x S616 (V)	56	46	D	SD	20,64	20,2	83,0
11	BR 602 (H)	54	46	D	SD	26,06	23,7	79,0
12	CMS x S717 (H)	56	46	D	SD	24,91	22,0	84,0
13	CMS x S719 (H)	56	46	D	SD	27,55	23,1	72,5
14	CMS x S732 (H)	51	46	D	SD	27,86	27,0	84,0
1	BR 500 (V)	56	40	D	SD	19,32	20,8	81,0
2	BR 501 (V)	46	35	D	SD	19,17	25,2	68,5
4	BR 503 (V)	49	40	D	SD	22,14	22,9	67,5
8	CMS x S623 (V)	51	40	D	SD	25,18	22,6	80,0
9	BR 601 (H)	50	40	D	SD	22,48	25,3	95,5

V = variedades

H = híbrido

D = duro

SD = semiduro

P = pastoso

va desenvolvida e a 2ª folha encontrava-se formada. O referido autor comentou ainda a possibilidade de modificações neste desenvolvimento em função do genótipo e do meio. Clark *et al.* (5) havia verificado que sementes colhidas 15 dias após a polinização, postas a germinar úmidas apresentavam baixa porcentagem de germinação quando comparada à germinação das sementes secas até 12%. Estes autores atribuíram este fato a dormência. Os resultados obtidos para germinação neste trabalho podem ser justificados, em parte pelo fato dos testes terem sido feitos após a secagem das sementes, e também em função da diferença de maturação das cariopses na panícula, o que leva a ter-se uma certa proporção de sementes em estádios mais adiantados, e considerando-se ainda que o controle do florescimento não foi feito individualmente por panícula.

A porcentagem de germinação das sementes (plântulas normais) foi aumentando com o decorrer das coletas, obtendo-se para a maioria dos cultivares (Figuras 1, 2, 3 e 4) o maior valor por ocasião do máximo peso de 1000 sementes ou pouco antes, para a seguir manter-se ou apresentar pequeno declínio em função dos cultivares. Estes resultados são concordantes com os obtidos por outros autores (4, 10). Pelos dados de germinação constatou-se diferenças entre os cultivares (Quadro 2, Figuras 1, 2, 3 e 4), onde alguns apresentaram baixos valores, destacando-se o CMS x S603 (Tratamento 5).

Resumo

Com o intuito de estudar a maturação das sementes de 17 cultivares de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), foi conduzido um experimento em condições de campo, em um solo Terra Roxa Estruturada distrófica textura argilosa, nas condições de Botucatu-SP. A semeadura foi realizada em final de dezembro e a maturação das sementes foi acompanhada através de coletas semanais. A primeira coleta após o florescimento (50%) teve início diferenciado em função do cultivar. Foram avaliados: estádios de maturação das sementes do ápice e da base da panícula através do aspecto de seu conteúdo e da dureza apresentada pelas sementes; o teor de umidade das sementes por ocasião da coleta; o peso de 1000 sementes e a germinação após homogeneização da umidade em câmara seca. Através da análise destas características houve condições para se avaliar a maturidade fisiológica das sementes dos cultivares, sendo que esta foi atingida para a maioria destes em torno do 40º ou 46º dia após o florescimento (50%).

Literatura citada

1. BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Produção Vegetal. Divisão de Sementes e Mudanças. Regras para análise de sementes, S.L.P., 1976. 188 p.
2. CARVALHO, N. M. e NAKAGAWA, J. Maturação de sementes. In Sementes: ciência, tecnologia e produção. 2ª ed. rev. Campinas, Fundação Cargill, 1983. pp. 83-106.
3. CARVALHO, W. A., ESPINDOLA, C. R. e PACCOLA, A. A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado. Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu - UNESP, 1983. 95 p. (Bol. Científico no. 1).
4. CASTRO, J. R. Maturação de sementes de sorgo, *Sorghum bicolor* (L.) Moench. In: Reunião Brasileira de Milho e Sorgo, 11, Piracicaba, 1976. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, ESALQ, 1978. pp. 833-849.
5. CLARK, L. E., COLLIER, J. W. e LANGSTON, R. Dormancy in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. I. Relationship to seed development. Crop Science 7:497-501. 1967.
6. COLLIER, J. W. Caryopsis development in several grain sorghum varieties and hybrids. Crop Science 3:419-422. 1963.
7. EASTIN, J. D., HULTQUIST, J. H. e SULLIVAN, C. Y. Physiologic maturity in grain sorghum. Crop Science 13:175-178. 1983.
8. GILES, K. L., BASSETT, H. C. M. e EASTIN, J. D. The structure and ontogeny of the hilum region in *Sorghum bicolor*. Australian Journal of Botany 23:795-802. 1975.
9. GOMES, F. P. Curso de estatística experimental, Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 1966. 404 p.
10. KERSTING, J. F., STICKLER, F. C. e PAULI, A. W. Grain sorghum caryopsis development. I. Changes in dry weight, moisture percentage, and viability. Agronomy Journal 53:36-38. 1961.
11. LEE, K., LOMMASSON, R. C. e EASTIN, J. D. Developmental studies on the panicle initiation in sorghum. Crop Science 14:80-84. 1974.

12. PAULI, A. W., STICKLER, F. C. e LAWLESS, J. R. Developmental phases of grain sorghum (*Sorghum vulgare*, Pers.) as influenced by variety, location, and planting date. *Crop Science* 4:10-13. 1964.
13. PAULSON, I. W. Embryogeny and caryopsis development of *Sorghum bicolor*. *Crop Science* 9:97-102. 1969.
14. QUINBY, J. R. Grain filling period of sorghum parents and hybrids. *Crop Science* 5:690-691. 1972.
15. SALES, I. C. e SILVA, FILHO, A. E. F. Maturação de sementes de sorgo. In: Reunião Brasileira de Milho e Sorgo, 12, Goiânia, 1978. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", EMBRAPA/DID, 1979. p. 118.
16. VIANNA, I. C., BARROS, A. C. S. A., RAUPP, A. A. A., ASSIS, F. N. Maturação e efeitos de retardamento da colheita na qualidade fisiológica de sementes de sorgo sacarino. In: Congresso Brasileiro de Sementes, 3, Campinas, 1983. Resumo dos trabalhos técnicos, Brasília, ABRATES, 1983. 71 p.
17. WEIBEL, D. E. Relationship of black layer to sorghum kernel moisture content and maximum kernel weight in the tropics. *Crop Science* 22:219-223. 1982.
18. ZANINI, J. R. e ORSI, E. W. L. Influência da maturação fisiológica na produção de sementes e no rendimento industrial da planta de sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*). In: Reunião Brasileira de Milho e Sorgo, 14, Florianópolis 1982. Resumos, Florianópolis, EMPASC, 1982. p. 73.

Reseña de libros

ROSENGARTEN, Jr., FREDERICK. *The Book of Edible Nuts*. New York (USA), Walker and Company, 1984. 384 p.

The book, well illustrated with photographs and drawings, written in English, will be of interest to those persons growing nuts, either commercially or as a hobby; and to professional horticulturists. It will appeal to the public in general because of its attractive presentation and tempting recipes.

As the author states, he uses the word "nut" in this book in the broad sense to cover a wide range of fruits or seeds, which are not really nuts botanically, although in every day usage are called nuts.

The first part of the book is divided into twelve chapters, one dedicated to each of the following: Almond, Brazil Nut, Cashew Nut, Chestnut, Coconut, Filbert (Hazelnut), Macadamia Nut, Peanut, Pecan, Pistachio Nut, Sunflower Seed, and Persian Walnut. In this part the author gives the scientific name of each nut and then the common name in seven languages. These are the more widely used nuts in preparing exotic gourmet dishes and eaten during the end-of-year holiday season.

Since the nut is nature's way to nourish the newly established seedling plant, the food value of nuts and seeds is of great importance. This is shown in a table in the first part of the book.

The author gives the geographic origin of each nut, early historical references, its culture, including some of the diseases and pests and ways to control them, the harvesting procedures and commercial processing.

The chapter on the Macadamia Nut provides interesting reading, covering its introduction into Hawaii from Australia. This nut has been quite recently introduced into the tropical areas of the Americas. The author refers to the great potential demand for the Macadamia Nut in the untapped markets of the USA, Latin America, Europe, the Far East and Africa.

The second part deals briefly with thirty other nuts: Acorns, Almondettes (Buchanan's Seeds), Beechnuts, Betel Nuts, Breadnuts and Breadfruit, Butternuts, Chilean Wild Nuts, Cola Nuts, Ginkgo Nuts, Heartnuts, Hickory Nuts, Jack Nuts, Jojoba Nuts, Litchi "Nuts", Lotus Seeds, Oyster Nuts, Paradise Nuts, Pili Nuts, Pine Nuts, Pumpkin Seeds, Quandong Nuts, Sesame Seeds, Souari Nuts, Soybeans, Tahiti Chestnuts, Tallow Nuts, Tiger Nuts, Tropical Almonds, Water Chestnuts and Chinese Water Chestnuts and Watermelon Seeds.

This section deals with a variety of the lesser known nuts, which in some cases are not nuts, like the Litchi "Nut", which is a fruit; and the Water Chestnut, which is a corm or tuber. Here the author describes the Betel Nut, which dulls the appetite and is a mild stimulant; the Cola Nut, also a mild stimulant; the Jojoba Nut for its oil, the only natural substitute for sperm whale oil. The briefer writeups include the area of origin, a description of the plant, uses of the nut and its food content.

The last part of the book includes a glossary of the more technical words used in the text. Finally there is an eleven-page bibliography with 334 references.

For the person interested in nuts, he will find a great deal of pleasure in having this book in his personal library.

ARNOLD L. ERICKSON
CATIE, TURRIALBA
COSTA RICA

L. T. S. GERALD*
O. O. S. BACCHI**
S. MATSUOKA*

Resumen

Fue demostrada la capacidad de resistencia a la sequía de dos variedades y un clon. Tres métodos fueron empleados: adición de sal, extracción de agua y análisis de prolina. Los tres métodos indicaron el siguiente orden de capacidad de resistencia a la sequía: RB745464 > NA5679 > CB41-76.

Estos resultados corresponden con las observaciones de campo que indican la misma tendencia. También ha sido observado que plantas de la misma variedad de caña de azúcar, pero de diferentes edades, presentan reacciones diferente a la sequía.

Se discute en este trabajo el potencial de estos métodos, así como otros problemas asociados con ellos.

Introduction

Brazil is the largest sugarcane growing country in the world. With the world's energy crisis and with Brazil producing less than 30% of its petroleum needs, sugarcane growing in this country is not just for the purpose of producing sugar, but also for manufacturing alcohol as substitute for petroleum. With the expansion of sugarcane growing into new areas of Central Brazil, the drought problem as related to the cultivation of this crop gains added importance.

Irrigation systems are costly and practically in-existent in the new areas; therefore, it is essential that sugarcane varieties which are high yielding and drought resistant be planted. Results of work carried out in Hawaii indicate that sugarcane varieties differ widely in their sensitivity to drought conditions (6).

This method has been used to characterize most of the available commercial varieties in Hawaii; tests were also run to corroborate the field-experiment relationships. The same test has been used to look at new selections. The drought resistance capacity of sugarcane varieties has also been tested by suspending the plant's water supply and recording the time lag between wilting and death under this drought condition (5).

Rao and Asokan (4) have recently indicated the potential of using the proline test to screen for drought resistance.

The three methods mentioned above were tested in this study. Two cane varieties and one clone representing, according to field records, a drought susceptible, a resistant and a very resistant type of cane, were used.

Materials and methods

Two sugarcane varieties (CB41-76 and NA56-79) and one clone (RB745464) were used. Single-eye cuttings were planted individually in a paper cup and after about two weeks they were transplanted to a 4-liter pot, containing a mixture of filter cake, soil, and sand (2:2:1). When the plants reached 1 month,

¹ Received for publication in August 24, 1984

* Head of Plant Physiology section and of Plant Breeding section of IAA/PLANALSUCAR, Southern Regional Coordination Service, Araras, SP, Brasil.

** Supervisor, Plant Physiology section, IAA/PLANALSUCAR Piracicaba, SP, Brasil.

1.5 months, 2 months, 2.5 months, 3 months, and 4 months of age, they were tested by adding 0, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, and 33 g of NaCl per pot to the soil medium, according to the method developed in Hawaii (6).

All plants were watered immediately after adding the salt, and daily thereafter until the test was completed. The salt level at which the young plants of each variety of clone was killed was recorded.

The test of sugarcane drought resistance by withdrawing the plant's water supply was made when the plants were 4 months of age. The drying percentage of the +1 leaf during the drying period and the percent of surviving plants after 14 days of drought were recorded. Cane survival was identified by re-watering the plant.

For proline analysis, 4-month old plants were separated into 3 groups. The first group was watered normally twice a day. The second group was watered only once (on the third day) during a 7 day drying period. The third group was kept without water for the whole seven day drying period. Leaf samples (+1 leaf middle 20 cm portion without midribs) were collected at 0, 3, 4 and 7 days. The samples were dried at 80°C for 3 days, powdered, and analyzed for free proline content, following the method of Bates (1). The whole experiment was conducted in the greenhouse with a mean temperature of 30°C and mean relative humidity of 70%.

Results

Figure 1 shows that at 4 months of age clone RB745464 is the most tolerant cane to the salt treatment, followed by varieties NA56-79 and CB41-76. The response was different when a plant younger than 2.5 months was used. Generally as plants became older they became more tolerant to the salt treatment.

Figure 2 shows that leaf (+1) of CB41-76 dries much faster than those of NA56-79 and RB745464. Once again, clone RB745464 was found to be the last one to dry completely. After 14 days drying, all three types of cane were rewatered. The surviving percentage of CB41-76, NA56-79, and RB745464 was found to be 0%, 25%, and 75%, respectively.

Figures 3, 4 and 5 show the results of proline analysis under different conditions. Figure 3 shows that the proline content was consistently low for the three varieties tested under normal watering conditions during the whole 7 day period. RB745464 was found to have a higher proline content than

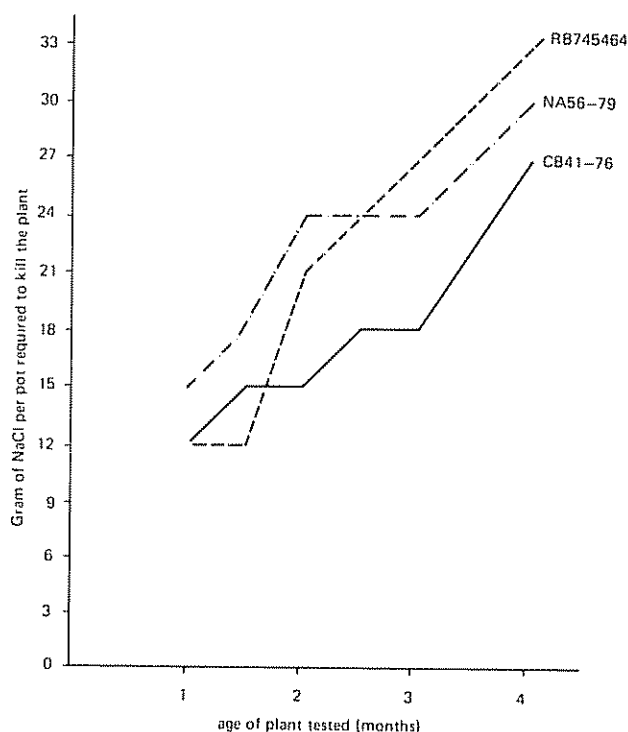


Fig. 1. Response of sugarcane plants of different ages to the addition of NaCl to soil. (Data were average of 3 replications)

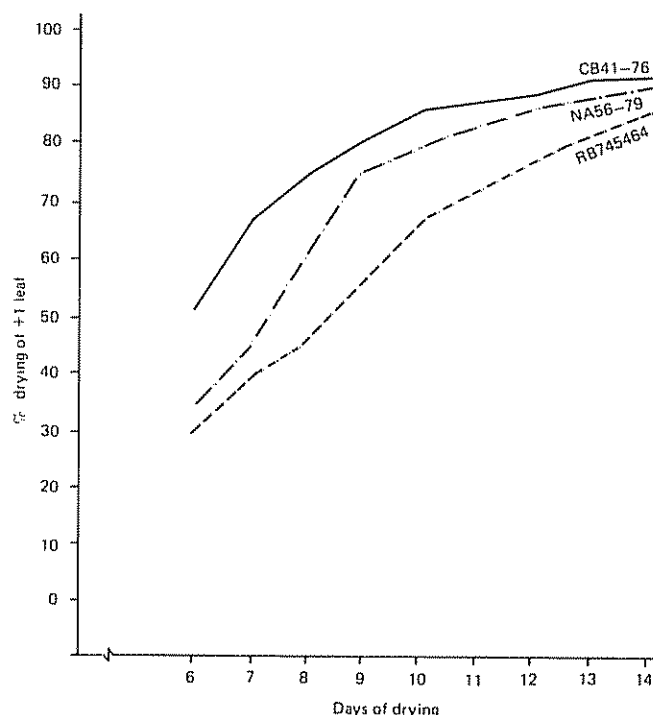


Fig. 2. Percent drying of +1 leaf of sugarcane plant submitted to a drought condition. (Pots were covered with plastic film. Data were average of 4 replications).

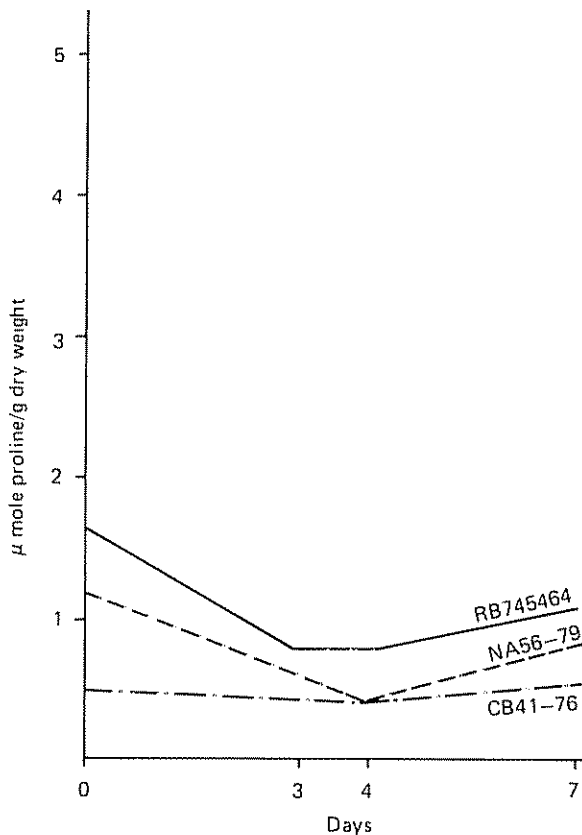


Fig 3 Proline concentration in -1 leaves from sugarcane grown in greenhouse with normal irrigation. (Pots were not covered with plastic film) Data were average of 3 replications

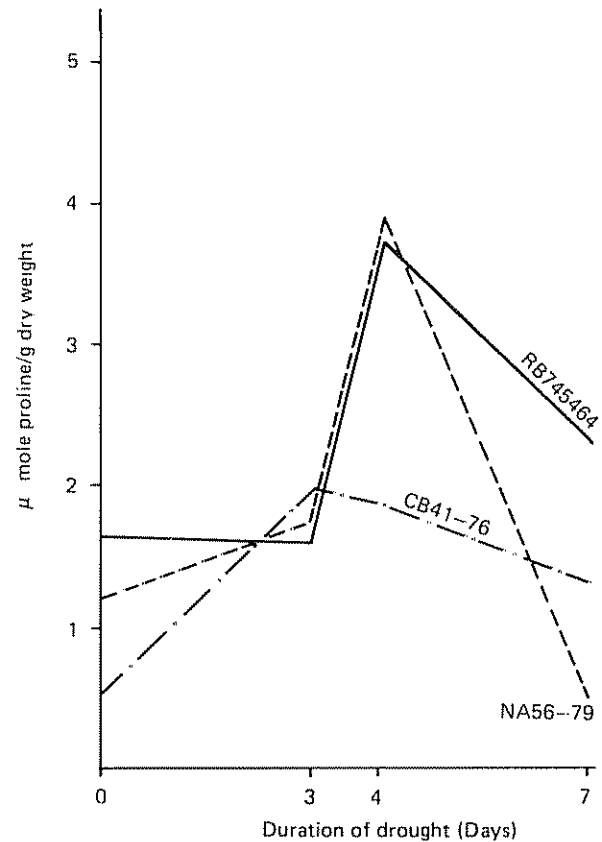


Fig. 4 Proline concentration in -1 leaves from sugarcane submitted to drought condition. (Pots were not covered with plastic film. Data were average of 3 replications)

both NA56-79 and CB41-76 under normal conditions. Accumulation of free proline occurred when the plant was under water stress conditions (Figure 4). Once again, the two drought resistant varieties, RB745464 and NA56-79, accumulated much more proline than the drought susceptible CB41-76. However, the proline content decreased when the plants were almost completely dry which occurred after seven days without watering under greenhouse conditions. Figure 5 shows that the proline content decreased immediately after the water stressed plants were irrigated. However, the accumulation of proline occurred when stress conditions started again. The drought resistant varieties RB745464 and NA56-79, once submitted to a water stress condition, (which in our case might be called a "hardening" process), showed a tendency to accumulate a greater amount of proline in the case of a second stress; this was not true for susceptible variety CB41-76.

Discussion

Drought resistance of plants is based on water stress avoidance and/or water stress tolerance. Water stress avoidance is achieved by reduction of transpiration, higher root suction potential, or a deeper root system, etc. On the other hand, water stress tolerance is related to cell protoplasm, and indicates the ability of the cell to survive under suboptimal water supply conditions. RB745464 is a clone that aroused great attention because of its special drought resistance capacity, as observed in the field. It was the only cane that remained green during a severe 4-month drought which occurred in 1979 at the Experiment Station of Cristalina, State of Goiás, near Brasília (Central Brazil), in a field where 224 varieties and 392 RB clones were planted in 1 m x 5 m plots for local selection. The clone was found to have a very deep root system which reached more than three meters of depth (Tokeshi, H.; Matsuoka, S.; and

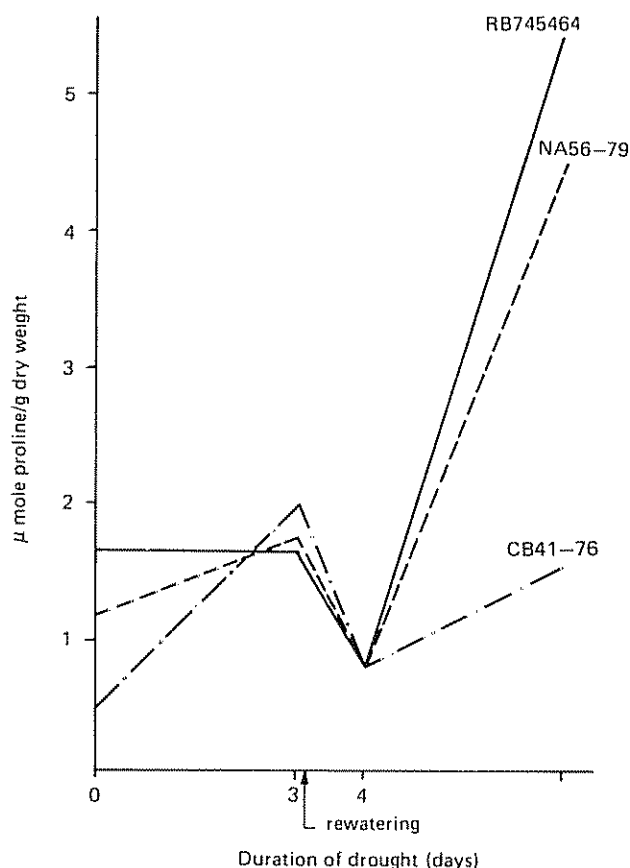


Fig. 5. Proline concentration in +1 leaves from sugarcane submitted to drought condition. (Pots were not covered with plastic film. Data were average of 3 replications).

Velho, P., unpublished data). Varieties NA56-79 and CB41-76 are the most planted in Brazil. NA56-79 has generally been recognized as a more drought resistant variety than CB41-76. It also has a better root system than CB41-76. The three methods used in this study to test drought resistance indicate the following order of resistance: RB745464 > NA56-79 > CB41-76, which was in general accord with Brinholi's *et al.* (2, 3) findings. The shoot/root ratios of these three varieties determined at 4 months of age were 2.43 for RB745464, 2.60 for NA56-79, and 3.71 for CB41-76, which also indicates a better chance for RB745464 and NA56-79 to overcome a drought condition. The proline analysis showed that the better root system was not the only factor contributing to the drought resistance capacity of RB745464 and NA56-79; higher water retention ability were also important factors. The higher proline content of the more resistant sugarcane varieties found after a "hardening" process probably indicates an even greater drought resistance capacity

of these varieties under fields conditions since in non-irrigated fields plants are constantly submitted to a slight water stress during their life cycle

Since drought resistance is a reflection of special anatomical, morphological, physiological, and biochemical features of the plant, the selection for this capacity on the basis of only one or two characteristics may be misleading, although in this study the two resistant varieties exhibited consistently favorable results in the characteristics analyzed, whereas the non-resistant variety did not. Plant age is an important factor which deserves more attention in a drought resistance selection program. As observed in our NaCl studies, plants of the same variety but different ages reacted differently to the drought test. Unpublished data of Lee T. S. Gerald indicate the same results when a drought condition was induced by withdrawing water. The best way to choose the suitable age for this type of selection program is to correlate the results of laboratory test at different plant ages with field data for varieties whose drought resistance characteristics are well known. From this study it seems that sugarcane plants older than 3 months are safe for a drought resistance testing program. Each of the three methods tested in this study has some shortcomings. For example, in the salt adding method there is the danger of NaCl leaching out through the pot, especially when the plants become older and the roots have filled the pot. The toxic effect of NaCl on plants may also influence the results.

Although the method of withdrawing the water supply is simple and cheap compared to the methods used, it is questionable whether the leaf drying percentage can completely represent the plant drought resistance capacity. The proline content seems to be a useful index in the selection of drought resistant varieties; however, this method requires a chemical analysis and, furthermore, the correct drying period in which the leaf sample is to be collected for analysis should be determined more precisely. Further studies involving more varieties will be carried out to observe the potential of these 3 methods in more detail.

Abstract

The drought resistance capacity of two varieties and one clone was tested. Three methods were used: addition of salt, withdrawal of water, and proline analysis. The three methods used indicated the following order of drought resistance capacity: RB745464 > NA56-79 > CB41-76.

These results are well in accord with field data, which indicate the same tendency. It was also observed that plants of the same sugarcane variety, of different ages, present different reactions to drought.

The potential of these methods as well as the problems associated with them are discussed.

Literature cited

1. BATES, L. S. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil* 29:205-207 1973
2. BRINHOLI, O. e GODOY, O. P. Resistência à seca de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) *Brasil Açucareiro* 86(4):65-71 1975
3. BRINHOLI, O.; BRASIL, O. G. E DALBEN, L. C. Estudo entre os teores de prolina das folhas e a resistência à seca de algumas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) *Brasil Açucareiro* 96(6):48-51 1980
4. RAO, K. C. and ASOKAN, S. Studies on free proline association to drought resistance in sugarcane. *The Sugar Journal* 40(8):23-24 1978
5. SINGH, S. Studies in the drought endurance capacity of cane varieties the time lag between wilting and death under drought condition. *Indian Sugar*, 13:717-720 1964
6. TANIMOTO, T. and NICKELL, L. G. Estimation of drought resistant of sugarcane varieties. In Congress of the ISSCT, 12, Puerto Rico, 1965 pp 893-896

Reseña de libros

ASHBURNER, J., SIMS, B. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. Serie de Libros y Materiales Educativos No. 56. IICA 1984. 473 p

Este libro es uno de los pocos que recopila una valiosa información aplicable a la labranza de tierras en el trópico. De gran utilidad para el estudiante y profesional en Ingeniería Agronómica y Agrícola, le permite realizar una serie de cálculos teóricos que podrá ajustar en la práctica a las diferentes condiciones agronómicas presentes en la agricultura tropical.

Consta de diez capítulos, describiendo los tres primeros la resistencia, propiedades físicas y dinámicas y la mecánica de suelo aplicada a las herramientas o implementos agrícolas. Enfoca ampliamente características técnicas a tomar en cuenta en la labranza de suelos al seleccionar las herramientas agrícolas o implementos apropiados.

El capítulo cuatro analiza, de acuerdo a las características físicas de los suelos, las operaciones realizadas por diferentes implementos lo que permite formar un criterio valioso para selección de las herramientas agrícolas.

La relación de las propiedades físicas del suelo con los sistemas de labranza es evaluada en el capítulo cinco. Permite un análisis agronómico de las condiciones óptimas para el desarrollo de cosechas con el sistema de preparación de suelos más eficiente.

El tractor como fuente de fuerza es descrito en el capítulo seis en el cual se definen aquellas fuerzas aplicadas al suelo, usadas en el diseño de tractores agrícolas.

El capítulo siete describe los sistemas de enganche o acople de implementos al tractor, incluyendo fórmulas parte el cálculo de las fuerzas actuantes en los implementos agrícolas en diferentes condiciones de suelo, dando énfasis a los arados de discos y vertedera y en equipos de subsuelado. Menciona los sistemas modernos de fuerza controlada y su relación con el torque, punto básico en la tracción de implementos acoplados a los tractores.

El acople de carretas de uno y dos ejes, de gran importancia en el transporte agrícola, es evaluado en el capítulo ocho, analizando las fuerzas actuantes en esos remolques, así como aquellos implementos de tiro excéntrico de gran uso en labores de labranza.

El capítulo nueve explica ampliamente de acuerdo a la mecánica de suelos, la teoría de tracción y sistemas de rodaje, llantas y orugas, lo que permite seleccionar el tipo de rodaje apropiado para la agricultura; este capítulo incluye siete cuadros que describen: presión en llantas, requerimientos de fuerza, energía y potencia, así como valores de eficiencia de campo, estimación de repuestos, y aún cuando son figuras aplicables en los Estados Unidos y Gran Bretaña, se pueden usar como una guía para establecer los propios de cada explotación agrícola.

El rendimiento de tractores agrícolas en el campo es tratado en el capítulo diez, incluyendo mención de las pruebas internacionales, tal como la Prueba de Nebraska. Explica los costos de posesión y operación, básicos para la selección apropiada del equipo agrícola aplicable a las características propias de cada explotación agrícola.

El libro recopila fórmulas, gráficos, cuadros, fotografías, que complementan en una forma muy positiva y clara la solución a un gran número de problemas que se presentan en la labranza mecánica del suelo.

MAURO MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

SELECCION DE ESPECIES FORRAJERAS PARA CORTE ADAPTADAS A SUELOS ACIDOS DE BAJA FERTILIDAD EN UN ULTISOL DE COLOMBIA¹ /

L. E. TERGAS*
G. A. URREA*

Summary

In a field experiment conducted at CIAT-Quilichao, Cauca, Colombia, the adaptation of tropical forage species to acid low fertility soils by means of growth rates with three levels of soil fertilization was studied during the first year of establishment including dry and wet seasons

Elephant grass (Pennisetum purpureum), sugar cane (Saccharum officinarum) and imperial grass (Axonopus scoparius) were selected as the best forage species adapted to soil acidity and low soil fertility. Leucaena (Leucaena leucocephala) was not adapted to soil conditions and pigeon pea (Cajanus cajan) and cassava (Manihot esculenta), even though they are adapted to soil conditions, they were not persistent under the cutting regime imposed.

The effects of levels of fertilization and species and the interaction between both variables were highly significant ($P < 0.001$) for each season of the year.

Introducción

La ganadería en América tropical se desarrolla casi exclusivamente en praderas compuestas principalmente por gramíneas y en menor grado por asociaciones de gramíneas con leguminosas nativas, naturalizadas o cultivadas. Sin embargo, en condiciones de explotaciones más intensivas, tales como lecherías de doble propósito y especializadas y sistemas de engorde, la producción de forrajes con base en pastos de corte cobra cada día mayor importancia como complemento al pastoreo.

Sánchez y Cochrane (25) estimaron que los Oxisoles y Ultisoles comprenden el 56% de los suelos tropicales de América; ambos suelos son semejantes y se caracterizan por tener altos niveles de acidez y baja fertilidad natural. Los Ultisoles comprenden una extensión de 371 millones de hectáreas, son muy comunes en Centroamérica en áreas de alta precipitación (26), en territorios donde la ganadería juega un papel importante en la producción de alimentos. De ahí la

importancia de una buena selección de especies forrajeras, adaptadas a estas condiciones de suelo, capaces de mantener tasas de crecimiento aceptables, a través de las estaciones del año, con bajos insumos de fertilizantes.

El objetivo de este trabajo fue la selección de especies forrajeras por su adaptación a suelos ácidos de baja fertilidad natural, con base en su producción de materia seca, considerando además el valor nutritivo *in vitro* del forraje.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la Estación Experimental CIAT-Quilichao, Cauca, latitud 3°06'N y longitud 76°31'W, 45 km al sur de Cali, a una altura de 990 msnm en un suelo Ultisol (Palehumult ortóxico) alto en materia orgánica (7-8%), pH 4.1-4.6 (agua), 2-4 mg/kg fósforo (P) soluble (Bray II), aluminio (Al) intercambiable 3.7-4.0 me/100 g suelo. El promedio de precipitación anual ha sido de 1690 mm en los últimos 7 años, incluyendo los experimentales, y comprende dos estaciones lluviosas bien definidas de marzo a mayo y de setiembre a diciembre, seguidas por períodos relativamente secos de alrededor de 60-90 días el resto del año (Cuadro 1).

¹ Recibido para publicación el 21 de diciembre de 1984.

* CIAT, Programa de Pastos Tropicales, Apartado Aéreo 67-13, Cali, Colombia.

Cuadro 1. Distribución de las lluvias en la Estación Experimental CIAT-Quilichao¹, 1974-1983.

Año	MESES												Total
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1974	128 ²	152	141	187	134	71	51	73	243	252	226	81	1 739
1975	78	240	228	206	164	108	93	175	86	233	236	265	2 112
1976	71	215	166	146	168	69	0	0	61	187	209	163	1 455
1977	79	99	116	182	121	65	32	76	199	256	193	91	1 509
1978	49	15	179	291	241	112	72	16	69	143	155	320	1 662
1979	95	30	153	140	169	28	82	139	205	156	297	58	1 552
1980	105	196	92	159	91	105	2	24	117	240	179	238	1 548
1981	59	152	152	302	188	60	74	66	37	207	356	112	1 765
1982	112	145	109	292	214	82	57	0	150	251	296	203	1 911
1983	60	28	176	298	251	97	35	28	20	173	175	308	1 649
PROML-DIO	84	127	151	220	174	80	50	59	119	210	232	184	1 690

1 Latitud 3°06'N; longitud 76°31'W; 990 msnm

2 Milímetros

Se establecieron tres niveles de fertilización: un testigo; un nivel medio con aplicaciones anuales por dos años de 150 kg de cal dolomítica, 100 kg nitrógeno (N) y 44 kg de fósforo (P) por hectárea; y un nivel alto con 2000 kg cal dolomítica, 200 kg N, 88 kg P, 42 kg de potasio (K) más 20 kg de azufre (S), 5 kg de boro (B) y 1 kg de cobre (Cu) por hectárea, con la misma frecuencia de aplicación. Las aplicaciones de N se dividieron en dos fracciones anuales y se utilizó urea, sulfato de amonio, superfosfato triple, cloruro de potasio, azufre elemental, bórax y sulfato de cobre como fuentes de cada nutriente.

Al inicio de la estación lluviosa se establecieron 6 especies de plantas forrajeras tropicales: elefante (*Pennisetum purpureum* cv. H504), caña (*Saccharum officinarum* cv. P.O.J. 2878), imperial (*Axonopus scoparius* cv. común), leucaena (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham), guandul (*Cajanus cajan* cv. común) y yuca (*Manihot esculenta* MCol 22), las cuales se sembraron utilizando semillas o material vegetativo, según las características de las especies. El tamaño de la subparcela para cada especie fue de 15 x 20 m.

Después de 120 días de establecimiento se determinó la cantidad de materia seca producida tomando al azar una muestra de un metro cuadrado de forraje verde cortado a 15 cm del suelo, de la cual se tomaron dos submuestras de 500 g y se secaron en un hor-

no con aire forzado a una temperatura de 60°C por 24 horas para determinación del porcentaje de humedad.

A partir de entonces la frecuencia de corte fue, aproximadamente, de 8 semanas para la estación seca y de 6 semanas para la estación lluviosa. La tasa de crecimiento se calculó con base en la cantidad de materia seca producida por el tiempo de duración del periodo en días.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño de bloques al azar con parcelas divididas en los cuales la parcela principal fue niveles de fertilización y la subparcela se consideró las especies establecidas, con dos repeticiones. El análisis de varianza de los resultados, en términos de tasas de crecimiento diario, se realizó independientemente para cada época del año, considerando el periodo de establecimiento y las siguientes estaciones seca y lluviosa, respectivamente. Las medias se compararon mediante la Prueba de Rango Múltiple de Duncan, en aquellos casos en que hubo significación con una probabilidad de error < 0.05.

Resultados y discusión

Los tratamientos de fertilización aumentaron significativamente los niveles de fertilidad natural del sue-

lo en términos de P soluble y cationes intercambiables Ca, Mg y K, sin afectar mayormente el pH y Al intercambiable, aunque se presentó una disminución en saturación de Al por aumento en la suma de los demás cationes (Cuadro 2). Esta es una característica de este tipo de suelos Ultisoles, altos en materia orgánica, en los cuales es posible mejorar la fertilidad natural a base de fertilización pero es muy difícil o muy costoso modificar las características de acidez, a menos que se utilicen grandes cantidades de productos de enmiendas a base de cal. Así por ejemplo, de acuerdo con la fórmula propuesta por Kamprath (13), se requieren aproximadamente 8 toneladas/ha equivalentes de carbonato de calcio para aumentar el pH a 5.5-6.0. De ahí la estrategia aceptable de seleccionar y utilizar especies de plantas forrajeras tolerantes a este tipo de estrés en el suelo (27, 29, 32).

Las tasas de crecimiento de materia seca promedio de las especies seleccionadas aumentaron significativamente ($P < 0.001$) con los niveles de fertilización (Cuadro 3) y variaron con la especie (Cuadro 4) durante las tres épocas de evaluación. Al mismo tiempo se presentó una interacción altamente significativa ($P < 0.001$) entre estos dos factores en cada una de las épocas estudiadas.

Los aumentos promedios de tasas de crecimiento por efecto de los niveles de fertilización estuvieron en el orden de 41-54% del testigo al nivel medio y de 67-77% del testigo al nivel alto, dependiendo de la época del año, disminuyendo luego a través del tiempo a medida que el efecto de la fertilización desaparecía (Cuadro 3). En términos absolutos la mayor tasa de crecimiento, 95.2 kg/ha/día, se presentó al

nivel alto durante la estación lluviosa, pero las mejores respuestas en términos de aumentos en tasa de crecimiento por efecto de los tratamientos se presentan durante el establecimiento, 54 y 77% al nivel medio y alto, respectivamente, sobre el testigo.

Las tasas de crecimiento de materia seca en promedio para los tres niveles de fertilización del pasto elefante fueron significativamente mayores ($P < 0.05$) que las demás especies forrajeras estudiadas, resultando ser más del doble que el promedio de las otras especies durante las tres épocas en el primer año de evaluación (Cuadro 4). Por otro lado, con las gramíneas el comportamiento de la caña fue generalmente muy pobre con tasas de crecimiento muy bajas a través del año y el imperial solamente presentó tasas de crecimiento aceptables durante la estación lluviosa al final del año. En general el comportamiento de las leguminosas, leucaena y guandul, fue también relativamente pobre, llegando inclusive a disminuir la tasa de crecimiento hacia el final del año durante la estación lluviosa. Algo similar ocurrió con la yuca, mostrando que régimen de corte a que fueron sometidas estas tres especies no es apropiado para sostener la producción de forrajes a través del año.

La interacción significativa ($P < 0.001$) entre niveles de fertilización y especie forrajeras, con relación a las tasas de crecimiento de la materia seca durante las tres épocas en el primer año de evaluación, se presentan en la Figura 1. Esta interacción ha sido usada como criterio para la selección de especies adaptadas a niveles bajos de fertilidad natural. De acuerdo con este concepto, una planta con producción de materia seca, con niveles bajos en fertilización, que excede al

Cuadro 2. Cambios en las propiedades químicas del suelo¹ debido a los tratamientos² durante el establecimiento y primer año de evaluación de forrajes³ bajo corte en CIAT-Quilichao, 1978.

Niveles de fertilización	M.O.	P	pH	Cationes intercambiables					Sat. Al
		Bray II		Ca	Mg	K	Al	C.I.	
	%	ppm		meq/100 g					
I	7.6	4.2	3.9	0.30	0.14	0.13	4.7	5.3	89
II	7.5	11.8	3.8	0.42	0.18	0.15	4.5	5.3	86
III	7.8	10.7	3.9	0.80	0.18	0.16	4.4	5.6	80

1 Promedio de dos muestras a 20 cm por repetición dos veces en el año.

2 I = Testigo

II = 150, 100, 44 kg/ha de cal, N, P, respectivamente.

III = 2000, 200, 88, 42 kg de cal, N, P, K, respectivamente + S, B, Cu.

3 *P. purpureum*, *S. officinarum*, *A. scoparius*, *L. leucocephala*, *C. cajan* y *M. esculenta*.

Cuadro 3. Efectos de la fertilización sobre la tasa de crecimiento de materia seca¹, promedios de varios forrajes² durante el establecimiento y primer año de evaluación bajo corte en CIAT-Quilichao, 1978.

Nivel de fertilización ³	Establecimiento	Estación seca	Estación lluviosa
	120 días	115 días	130 días
	kg/ha/día		
I	5.9 c ⁴	18.1 c	30.6 c
II	12.9 b	36.4 b	51.7 b
III	26.0 a	65.9 a	95.2 a

1 60°C por 24 horas

2 *P. purpureum*, *S. officinarum*, *A. scoparius*, *I. leucocephala*, *C. cajan* y *M. esculenta*.

3 I = Testigo

II = 150, 100, 44 kg/ha de Cal, N y P, respectivamente

III = 2000, 200, 88, 41 kg/ha de Cal, N, P y K, respectivamente más S, B, Cu

4 Valores en cada columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$)Cuadro 4. Tasas de crecimiento de materia seca¹ de especies de forrajes durante el establecimiento y primer año de evaluación bajo corte promedios de tres niveles de fertilización² en CIAT-Quilichao, 1978.

Especie	Establecimiento	Estación seca	Estación lluviosa
	120 días	115 días	130 días
	kg/ha/día		
<i>P. purpureum</i>	33.7 a ³	103.5 a	182.1 a
<i>S. officinarum</i>	8.2 d	20.0 d	30.7 d
<i>A. scoparius</i>	2.8 e	9.6 e	66.3 b
<i>I. leucocephala</i>	6.8 d	16.4 de	18.1 e
<i>C. cajan</i>	14.0 c	28.8 c	7.1 f
<i>M. esculenta</i>	24.1 b	62.6 b	51.1 c

1 60°C por 24 horas

2 I = Testigo

II = 150, 100, 44 kg/ha de Cal, N y P, respectivamente

III = 2000, 200, 88, 42 kg/ha de Cal, N, P y K, respectivamente más S, B, Cu

3 Valores en cada columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$)

50% de su rendimiento máximo al nivel más alto de fertilización, se le considera de "producción relativa media" y por encima del 80% del posible rendimiento máximo, se le considera de "producción relativa alta".

Este concepto fue desarrollado por Salinas y Delgadillo (23) en un Oxisol en los Llanos Orientales de Colombia y más adelante comprobado en un Ultisol

con diferentes especies de pastos gramíneas y leguminosas (30). En el presente trabajo las mejores especies seleccionadas de acuerdo con este concepto fueron elefante, caña e imperial. Sin embargo, tomando en consideración la producción anual de forraje, se puede calcular que la producción promedio de materia seca del elefante en los tres niveles de fertilización, fue de 39.6 t/ha/año (Cuadro 4), lo cual es sobresaliente comparado con las demás especies y para el tipo de suelo donde se realizó este trabajo.

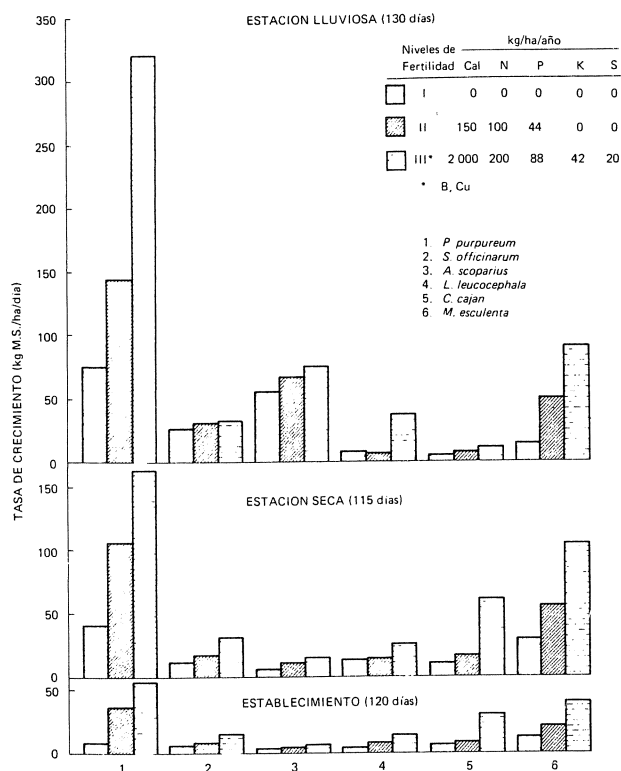


Fig. 1. Tasas de crecimiento de materia seca de varios forrajes durante el establecimiento y primer año de evaluación bajo corte con tres niveles de fertilización en CIAT-Quilichao, 1978.

El Cuadro 5 muestra los promedios de proteína cruda, digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y fósforo, principales factores de valor nutritivo del forraje de las especies estudiadas. El valor nutritivo de las leguminosas leucaena y guandul y de la yuca forrajera fueron superiores que el de las gramíneas; sin embargo, solamente en la caña, éste se considera marginal para su utilización en alimentación bovina.

El pasto elefante ha sido señalado como una de las especies forrajeras tropicales con las tasas de crecimiento y conversión de energía solar más altas, comparado con especies de regiones templadas (7). Su adaptación a suelos ácidos de baja fertilidad natural también es notable cuando se usan cantidades relativamente pequeñas de insumos, en condiciones de suelos tropicales Oxisoles y Ultisoles, similares a los presentes en este trabajo en Brasil (18), Colombia (23) y Malasia (6). Por lo tanto, esta especie de gramínea se recomienda como las más promisorias de todas las estudiadas en condiciones donde la acidez y la baja fertilidad natural de suelos son los principales factores ecológicos limitantes de la producción de forrajes.

De las otras dos gramíneas seleccionadas, la caña de azúcar ha sido reconocida como un cultivo tropical con un gran potencial de producción de forraje (22), alcanzando en Hawai tasas de crecimiento hasta de 380 kg de materia seca/ha (3); pero no es un cultivo muy tolerante a suelos ácidos con niveles altos de saturación de Al (1) y que, además de cal, tiene altos requerimientos de fósforo (5). El pasto imperial es bastante tolerante a suelos ácidos de baja fertilidad y su producción puede aumentar por medio de la fertilización (15); en climas fríos y medios, en suelos derivados de cenizas volcánicas, ha presentado respuesta a la aplicación de K (14); sin embargo, no se adapta bien a regiones tropicales bajas de menos de 600 m de altura y con temperaturas promedio superiores a 25°C (2).

De las dos leguminosas estudiadas ninguna resultó seleccionada de acuerdo con el concepto de rendimientos relativos. Leucaena crece muy pobre en suelos Oxisoles ácidos con altos contenidos de Al intercambiable (2), aunque en estas condiciones se ha encontrado que la fertilización con cal y fosfatos estimula significativamente su crecimiento (9); sin embargo, se han reportado requerimientos en suelos ácidos hasta de 11 t cal/ha para alcanzar el 90% del rendimiento máximo, lo cual fue mayor en condiciones similares que los requerimientos de la alfalfa (*Medicago sativa*), (19).

En cuanto al guandul, las hojas y vainas producen un forraje excelente y se considera con potencial como planta forrajera en Brasil (31), aunque su uso no es muy común en Colombia (8). Aunque por lo general se considera que el guandul es una leguminosa adaptada a condiciones de suelos ácidos (24), existen variedades seleccionadas en suelos más fértiles. La producción de forraje ha alcanzado 12.4 t de materia seca/ha en 5 cortes (11); para obtener una regeneración satisfactoria de las plantas éstas deben ser cortadas a una altura de 50-75 cm del suelo y permitir un rebrote de hasta 150 cm o más antes de volverlas a cortar (4), lo cual no sucedió en el presente trabajo por el régimen de corte a que fue sometido. A pesar de no haber sido seleccionado como especie promisoría por su crecimiento a través del año, la tasa promedio de crecimiento durante la estación seca, 28.8 kg/ha/día, podría contribuir a la suplementación de forraje con altos contenidos de proteína cruda durante esta época crítica del año.

La yuca se considera una especie bien adaptada a condiciones de suelos ácidos aunque se ha indicado diferencias varietales en cuanto a requerimientos de cal (29). El uso de las hojas, pecíolos y tallos de yuca como forraje en la suplementación de la alimentación de rumiantes ha sido estudiado tanto para producción

Cuadro 5. Valor nutritivo *in vitro* de especies de forrajes, promedios de tres niveles de fertilización¹, durante las diferentes épocas del año bajo corte en CIAT-Quilichao, 1978.

Especie	Proteína cruda	DIVMS ²	Fósforo
		%	
<i>P. purpureum</i>	12.5	49.3	0.14
<i>S. officinarum</i>	8.1	41.5	0.12
<i>A. scoparius</i>	12.9	55.2	0.15
<i>L. leucocephala</i>	22.1	68.3	0.17
<i>C. cajan</i>	20.1	58.3	0.20
<i>M. esculenta</i>	26.0	56.2	0.21

1 I = Testigo.

II = 150, 100, 44 kg/ha de Cal, N y P, respectivamente

III = 2000, 200, 88, 42 kg/ha de Cal, N, P y K, respectivamente más S, B. Cu.

2 Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

de leche (10) como para la producción de carne (17), aprovechando los altos contenidos de proteína cruda y bajos niveles de fibra (12) y la variación en los contenidos de ácido cianhídrico de diferentes clones o ecotipos (21). En las condiciones en que se realizó este trabajo la yuca no fue seleccionada como especie forrajera promisorio debido a que su comportamiento no fue perenne, posiblemente por el régimen de corte a que fue sometida; sin embargo, se reconoce su contribución al mantener tasas de crecimiento muy altas, 62.6 kg/ha/día, durante la estación seca. Quizás con un manejo agronómico más adecuado, que incluya fertilización e irrigación tal como sugiere Montaldo (16), o el cese del corte durante la estación lluviosa para permitir una recuperación de la planta, se podría aprovechar las cualidades de producción de forraje de esta especie para su uso como suplemento durante la estación seca. Esto, sin embargo, implicaría costos adicionales del cultivo que podrían limitar su utilización comparado con las otras especies estudiadas.

Conclusiones

Los resultados de este trabajo muestran que mediante la aplicación de cantidades moderadas de cal y fertilizantes N P K, es posible aumentar significativamente las tasas de crecimiento de forrajes tropicales en suelos ácidos de baja fertilidad natural.

Las gramíneas elefante (*P. purpureum*), caña (*S. officinarum*) e imperial (*A. scoparius*) fueron seleccionadas por su comportamiento perenne y por el criterio de rendimientos relativos que establece niveles de respuestas adecuadas entre 50 y 80% comparado con los posibles rendimientos máximos. Sin embargo,

la producción promedio de materia seca del elefante fue más del doble comparado con las demás especies, lo cual se considera sobresaliente para el tipo de suelos donde se realizó este trabajo.

Entre las leguminosas, las tasas de crecimiento de leucaena (*L. leucocephala*) fueron bajas, excepto al nivel alto de fertilización, debido a la pobre adaptación de esta especie a suelos ácidos. Por otra parte, a pesar de la adaptación del guandul (*C. cajan*) a suelos ácidos, el manejo del cultivo no fue adecuado para favorecer la persistencia de esta especie bajo el régimen de corte impuesto.

El comportamiento de la yuca (*M. esculenta*) fue muy similar al del guandul, aunque las tasas de crecimiento fueron significativamente mayores.

Resumen

En una investigación de campo, conducida en el CIAT-Quilichao, Cauca, Colombia, se estudió la adaptación de especies forrajeras a suelos ácidos de baja fertilidad mediante las tasas de crecimiento con tres niveles de fertilización. El estudio se llevó a cabo durante el primer año de establecimiento, incluyendo las estaciones seca y lluviosa.

El pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y el pasto imperial (*Axonopus scoparius*) fueron seleccionados como las mejores especies que se adaptaron a suelos ácidos y de baja fertilidad.

Leucaena (*Leucaena leucocephala*) no se adaptó a las condiciones del suelo y el guandul (*Cajanus cajan*)

y la yuca (*Manihot esculenta*), a pesar de su adaptación a las condiciones del suelo, no fueron persistentes bajo el régimen de corte impuesto.

Los efectos de los niveles de fertilización, de especies y la interacción entre suelos variables, fueron altamente significativos ($P < 0.001$) para cada estación en el año.

Literatura citada

1. ABRUÑA, F. y VICENTE-CHANDLER, J. Sugar cane yields as related to the acidity of a humid tropic Ultisol. *Agronomy Journal* 59(4):330-332. 1967.
2. ARGUELLES, M., G. y ALARCON, E. Principales pastos de corte en Colombia: Su manejo y capacidad de sostenimiento. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, Boletín Técnico No. 49 Bogotá, Colombia, 1977. 31 p.
3. BLACKMAN, G. E. y BLACK, J. N. Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. 12. The role of the light factor in limiting growth. *Annals of Botany* 23:131-145. 1959.
4. BOGDAN, A. V. Tropical Pasture and Fodder Plants. Tropical Agriculture Series, Longman Inc., New York. 1977. 327 p.
5. BONNET, J. A., LUGO-LOPEZ, M. A., ROLDAN, J. y PEREZ-ESCOLAR, R. Effect of lime and phosphate-bearing materials on sugar cane yields. *Journal Agricultural, University of Puerto Rico* 42:1-6. 1958.
6. CHENG, T. K. Nitrogen responses of napier grass (*Pennisetum purpureum*) on an Ultisol formed from sandstone in peninsular Malaysia. *MARDI Research Bulletin* 8(1):49-60. 1980.
7. COOPER, J. P. Potential production and energy conversion in temperate and tropical grasses. *Herbage Abstracts* 40(1):1-15. 1970.
8. CROWDER, L. V. Gramíneas y leguminosas forrajeras de Colombia. Min. Agric., Colombia, Bogotá, 1960. Boletín Técnico No. 8.
9. DIJKMAN, M. J. Leucaena —a promising soil-erosion-control plant. *Economic Botany* 4(3):337-349. 1950.
10. ECHANDI, O. Valor de la harina de hojas y tallos deshidratados de yuca en la producción de leche. *Turrialba* 2(4):166-169. 1952.
11. FEBLES, G. y PADILLA, C. Efecto de la inoculación y la aplicación de urea foliar en el rendimiento en forraje del Kudzu (*Pueraria phaseoloides*) y el guandul (*Cajanus cajan*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 4(2):157-159. 1970.
12. GRAMACHO, D. D. Contribuição ao estudo químico-tecnológico do feno de mandioca. Cruz das Almas, Brazil, Universidade Federal da Bahia, Escola de Agronomia. Brascan Nordeste. *Serie Pesquisa* 1(1):143-152. 1973.
13. KAMPRATH, E. J. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci Soc Amer. Proc.* 34:252-254. 1970.
14. LOTERO, C., J. y BERNAL, E., J. Fertilización potásica en pastos. *Suelos Ecuatoriales* 9(2):76-79. 1978.
15. LOTERO C., J.; HERRERA P., G. y RAMIREZ P., A. Distancias de siembra y dosis de nitrógeno en pasto imperial. *Revista ICA* 4(3):147-157. 1969.
16. MONTALDO, A. Whole plant utilization of cassava for animal feed. In B. Nestel and M. Graham, eds. *Cassava as Animal Feed. Proceedings Workshop at the University of Guelph IDRC, Ottawa, 1977*. pp. 95-106.
17. MOORE, C. P. Uso del forraje de yuca en la alimentación de rumiantes en producción de carne. Seminario Internacional de Ganadería Tropical. Acapulco, México. Secretaría de Agricultura y Ganadería y Banco de México, S. A. FIRA. 1976. pp. 47-62.
18. MOZZER, O. L., CARVALHO, M. M. de y EMRICH, E. S. Competição de variedades e híbridos de Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum*) para formação de capineiras em solo de Cerrado. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 5:395-403. 1970.
19. MUNNS, D. L. y FOX, R. L. Comparative lime requirements of tropical and temperate legumes. *Plant and Soil* 46(3):533-548. 1977.

20. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Leucaena-Promising forage and tree crop for the tropic. Washington, D.C. 1977. 115 p.
21. OBREGON, B., R. Variación del ácido cianhídrico en 118 clones de yuca (*Manihot esculenta* Phol.), Agricultura Tropical (Colombia) 24(6):330-334. 1968.
22. PRESTON, I. R. Sistema de engorde intensivo de ganado en el trópico. Seminario sobre el potencial para la producción de ganado de carne en América Tropical. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT, Cali, Colombia. 1975. pp. 143-175.
23. SALINAS, J. G. y DELGADILLO, G. Respuesta diferencial de ocho gramíneas forrajeras a estrés de Al y P en un Oxisol de Carimagua, Colombia. Trabajo presentado VII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Heredia, Costa Rica. 1980. 28 p.
24. SANCHEZ, P. A. Properties and management of soils in the tropics. John Wiley and Sons, New York. 1976.
25. SANCHEZ, P. A. y COCHRANE, T. T. Soil constraints in relation to major farming systems of tropical America. In Priorities for alleviating soil-related constraints to food production in the tropics. IRRI, Los Baños, Philippines. 1979. pp. 107-140.
26. SANCHEZ, P. A. e ISBELL, R. F. Comparación entre los suelos de los trópicos de América Latina y Australia. In (L. E. Tergas y P. A. Sánchez, eds). Producción de Pastos en Suelos Acidos de los Trópicos, CIAT, Cali, Colombia. 1979. pp. 29-58.
27. SANCHEZ, P. A. y SALINAS, J. G. Suelos Acidos-Estrategias para su manejo con bajos insumos en América Tropical. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, Colombia, 1983. 93 p.
28. SANCHEZ, S., L. F., VIVAS P., N. y PEREZ B., R. Resultados preliminares sobre fertilización del pasto elefante en un Oxisol del piedemonte llanero. Revista ICA 16(2):63-72. 1979.
29. SPAIN, J. M., FRANCIS, C. A., HOWELER, R. H. y CALVO, F. Diferencias entre especies y variedades de cultivos y pastos tropicales en su tolerancia a la acidez del suelo. In E. Bornemisza y A. Alvarado, eds. Manejo de Suelos en la América Tropical. University Consortium on Soils of the Tropics, Soil Science Dept., N. Carolina St. University, Raleigh, N. C. 1975. pp. 313-335.
30. TERGAS, L. E. y URREA, G. A. Efecto de tres niveles de fertilidad sobre la producción de pastos tropicales en un Ultisol de Colombia. Trabajo presentado VII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Heredia, Costa Rica, 1980. 15 p.
31. WERNER, J. C. O potencial do guandul (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.) como planta forrageira. Zootechnia. Nova Odessa, SP (Brasil) 17(2): 73-100. 1979.
32. WILLIAMS, C. H. y ANDREW, C. S. Mineral nutrition of pastures. In R. M. Moore, ed. Australian Grasslands. Australian National University Press, Canberra. 1970.

EFFECTO DE NIVELES DE CARBOHIDRATOS NO-ESTRUCTURALES TOTALES EN EL REBROTE DE *Stylosanthes capitata* VOG¹ /

R. TREJOS*
R. BOREL**

Summary

An experiment was established at the Tropical Research and Training Center (CATIE, Turrialba, Costa Rica), to determine the effects of cutting heights (5 and 10 cm) and cutting intervals (27, 36 and 54 days) on total non-structural carbohydrates (TNC) and their utilization for biomass production during the regrowth period (0, 2, 4, 8, 16 and 32 days). The experimental design used was strips plot; the height and intervals were randomized in complete blocks and the regrowth periods were arranged in strips within the blocks.

*Content of TNC was not affected by treatments but was higher in roots and leaves, and lower in base stems. Roots and base stems accounted for the major part of TNC accumulation and also registered the greatest changes during regrowth, thus indicating roots and base stems as preferential reserves storage organs. TNC extraction stopped after 2-4 days regrowth, and initial level restitution was achieved by day 18, thus indicating that *Stylosanthes capitata* has the ability to withstand frequent defoliation.*

Total biomass, on day 32 of regrowth, was higher in the 10 cm height. Eighty percent of such biomass was in the roots, lower stems and leaves while material taken above cutting height accounted only for 6% of total biomass.

Introducción

En extensas zonas de suelos ácidos e infértiles de América Tropical predominan las gramíneas nativas pero el aporte de éstas, tanto en producción de forrajes como en valor nutritivo, es generalmente bajo. Una alternativa de mejoramiento de los niveles actuales de productividad animal es la introducción de leguminosas al ecosistema pastizal-animal. Las leguminosas, aun cuando su establecimiento sea generalmente satisfactorio, al cabo de pocos años disminuyen en densidad y productividad, terminando por desaparecer del pastizal. Varios autores (7, 15, 19, 22) concuerdan en que la sobrevivencia de las leguminosas y el crecimiento posterior dependen tanto del área foliar remanente como de los niveles de reservas y en que ambos factores están íntimamente relacionados.

Al aplicar prácticas de manejo que permitan un índice de área foliar (IAF) de 4 a 5 en leguminosas de zonas templadas (5, 13) y de 2 a 3 en leguminosas

¹ Recibido para publicación el 14 de enero de 1985

Un compendio de este mismo trabajo ha sido aceptado para ser presentado en la IX Reunión de ALPA, Santiago de Chile.

Se agradece al Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) por la donación de la semilla e inóculos; al Proyecto Conjunto Universidad de Florida - CATIE por las facilidades dadas para la determinación de área foliar; a GB Fermentation Industries, Inc., Charlotte, Carolina del Norte, por la donación de la enzima utilizada y a la Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora de Venezuela, por la beca que permitió la realización de este trabajo por uno de los autores. Además se agradece a Víctor López, Alexis Pérez Bertha de la Fuente y Gustavo López, por su valiosa cooperación en el campo, el laboratorio y el procesamiento de datos. V. Mares, K. Vohnout y M. Gutiérrez revisaron este trabajo; que encuentren aquí la expresión de nuestra gratitud.

* Estudiante graduado, CATIE, Turrialba. Dirección actual: Universidad Ezequiel Zamora, Programa de Producción Animal, Guanare, Edo. Portuguesa, Venezuela.

** Agrostólogo. Actualmente Jefe, Programa de Sistemas Agroforestales, CATIE, Turrialba.

tropicales (23) se promueve un máximo rendimiento. Cuando el IAF está por debajo del nivel óptimo no se utiliza toda la luz disponible y el crecimiento es relativamente lento (13). Una defoliación intensa afecta adversamente el IAF, la intercepción de la luz y por ende, la tasa fotosintética (5, 7, 12).

Los principales carbohidratos no estructurales totales (CNET) en tejidos de forrajeras tropicales son monosacáridos como glucosa y fructosa, disacáridos como sucrosa y maltosa y polisacáridos como almidones y fructosanas (17, 20), que se almacenan preferentemente en raíces y partes inferiores de la planta (1, 3, 16). Sin embargo, para la determinación de reservas es más relevante analizar los CNET en conjunto puesto que las fracciones individuales cumplen funciones similares (20).

Smith (19) encontró que el contenido de CNET en leguminosas disminuye rápidamente después del corte; luego, se estabiliza y finalmente se incrementa hasta volver a alcanzar el valor inicial (17, 22). May y Davidson (15) y Davidson y Milthorpe (6) encontraron que después de una severa defoliación, la fotosíntesis realizada por las hojas remanentes y nuevas es insuficiente para balancear los gastos de una continua respiración de la planta y ésta utiliza sus reservas hasta el cuarto día, después del corte. Estos investigadores encontraron que la disminución tuvo poco o ningún efecto en la movilización de reservas para nuevos tejidos.

La acumulación de reservas es afectada por el manejo, encontrándose mayores cantidades de reservas cuando la defoliación se realiza con intervalos largos y con baja intensidad (3, 10). En cambio, la combinación de corte bajo con intervalo corto disminuye las reservas y esto repercute negativamente en la capacidad de rebrote y en el rendimiento (9, 14).

Si bien el efecto de defoliaciones severas e inoportunas sobre los niveles de reservas ha sido adecuadamente descrito en la literatura, los efectos del nivel de reservas y los mecanismos de su utilización en el rebrote son poco conocidos en leguminosas tropicales. De ahí que los objetivos del presente trabajo son: determinar los lugares de almacenamiento de reservas en la planta y el efecto de alturas e intervalos de defoliaciones sobre los niveles de CNET y su posterior utilización en la producción de biomasa, durante el período de rebrote.

Materiales y métodos

Esta investigación fue realizada en la Estación Experimental Ganadera del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica,

de enero a setiembre de 1982. La semilla de *Stylosanthes capitata* Vog. cv. (CIAT 1019) se inoculó con cepas de *Rhizobium* spp. CIAT 71 + 1238. El sistema de establecimiento fue de almácigo y transplante, con una densidad de 20 plantas/m² y una fertilización en bandas equivalentes a 20, 100, 20 y 40 kg/ha de N, P₂O₅, K₂O y S, respectivamente.

Los factores estudiados fueron: altura de corte a 5 y 10 cm, intervalo de corte de 27, 36 y 54 días y edad del rebrote (a partir del último corte), a los 0, 2, 4, 8, 16 y 32 días.

Las combinaciones de altura e intervalo de corte dieron lugar a 6 tratamientos, ubicados en 3 bloques al azar. Después de 120 días de establecimiento las parcelas fueron cortadas a las alturas señaladas para cada tratamiento en 5, 4 y 3 oportunidades para los intervalos de 27, 36 y 54 días, respectivamente. Cada parcela (18 m x 5.25 m) fue a su vez dividida en subparcelas, correspondientes a las edades de rebrote. Las subparcelas quedaron ubicadas en fajas randomizadas dentro de cada bloque, de tal manera que el muestreo, en una edad determinada de rebrote, se hizo en una faja transversal cruzando las 6 parcelas grandes de un bloque.

En las edades de rebrote señaladas se tomaron 2 muestras de 0.25 m² dentro de la subparcela y por cada muestra se sacaron 2 cilindros de suelo de 15 cm de diámetro y 20 cm de profundidad para hacer la medición de raíces.

En cada subparcela se separó la biomasa en tres estratos: inferior (5 cm), medio (5-10 cm) y superior (10 cm). En cada estrato se evaluaron los siguientes parámetros: número de rebrotes, área foliar, masa total, proporción de la masa total situada arriba del nivel de corte, masa de hojas y tallos y concentración de CNET en hojas y tallos. Además se determinó la masa de raíces y su contenido de CNET. El material separado fue secado en un horno de circulación forzada de aire a 70°C por 48 horas.

La masa total y el área foliar total se usaron para estimar las tasas de asimilación neta y de crecimiento absoluto (7). Para el análisis de CNET se utilizó el método propuesto por Weinnann y modificado por Smith (18, 20). La enzima utilizada fue Mycolase Liquid (*), a una concentración de 0.5%. La porción alicuota de la muestra para titulación fue de 15 ml; no se utilizó el acetato de Pb.

* GB Fermentation Industries Inc., Charlotte, North Carolina, USA.

Resultados y discusión

El intervalo entre cortes no tuvo efectos significativos sobre los parámetros estudiados, de tal manera que se presentan a continuación solamente los efectos de altura de corte y edad del rebrote.

Número de rebrotes

El número total de rebrotes no fue afectado significativamente por la altura de corte, aunque se apreciaron tendencias a alcanzar un mayor número de rebrotes en el corte bajo durante los primeros 8 días después del rebrote (Figura 1). La posible explicación de este hecho es que el corte bajo redujo en mayor grado los puntos de dominancia apical y así se favoreció el desarrollo de las yemas basales (8). Durante los dos primeros días no se observaron yemas nuevas y la mayor tasa de aparición de rebrotes ocurrió entre los días 2 y 4. Luego esta tasa disminuyó con la edad.

Aunque el número total de rebrotes fue similar con ambas alturas de corte, la localización de éstos fue diferente. En el estrato inferior del corte alto aparecieron menos rebrotes nuevos ($P < 0.01$) que en el mismo estrato del corte bajo y en otros estratos. Esta observación puede tener varias causas, entre ellas una mayor lignificación de los tallos inferiores en plantas que se han dejado crecer con más vigor, como ocurrió en el corte alto. También puede haber tenido efecto la cantidad de luz que penetra al nivel inferior. Esta cantidad es supuestamente mayor en el corte bajo y podría activar la formación de yemas nuevas.

Por otra parte, si en los cortes anteriores ha sucedido un fenómeno similar, resulta que en el corte bajo el estrato inferior es mucho más ramificado, lo que proporciona a la vez una mayor cantidad de sitios para la formación de yemas.

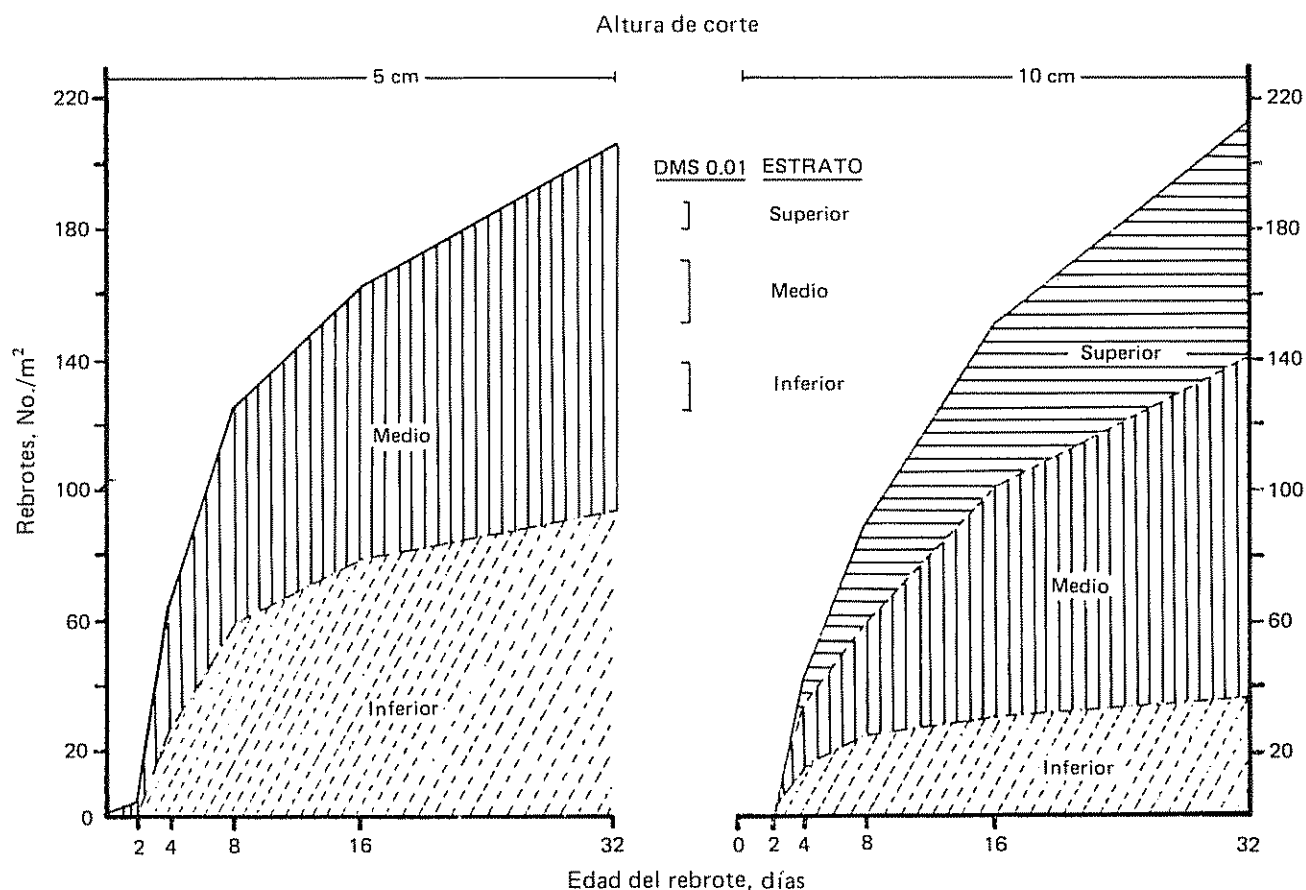


Fig 1. Efecto de la altura de corte y edad sobre el número de rebrotes en estratos inferior (---), interior más medio (—) y planta entera (—) en *S. capitata*

Índice de área foliar

El índice de área foliar (IAF) de las plantas de corte alto tendió a ser menor que en las plantas de corte bajo, aunque no significativamente (Figura 2). En éstas, el IAF disminuyó en los primeros días ($P < 0.05$) y luego ascendió con la edad. El descenso producido en los dos días iniciales del rebrote puede deberse a que algunas de las hojas maduras, que antes del corte recibían indirectamente la luz solar y después del corte la recibieron directamente, se desprendieron. Esto lo confirmó la disminución de la masa de hojas inferiores cuando la leguminosa fue cortada a 5 cm y de hojas medias cuando se cortó a 10 cm.

A partir del día 2, la tasa de aparición de rebrotes fue mayor (Figura 1) que en los días iniciales y esto trajo como consecuencia un incremento en IAF conforme aumentó la edad. Este resultado concuerda con experiencias de Borel (3), Davidson y Donald (5) y Noguera (16).

El IAF del estrato de 0 – 5 cm resultó mayor ($P < 0.05$) en tratamientos cortados a 5 cm que en aquellos cortados a 10 cm y ello se debe, como se acaba de demostrar, a que el corte a baja altura estimuló más la aparición de nuevos rebrotes, resultado que coincide con los hallazgos de Humphreys y Robinson (8). En cambio, el IAF del estrato medio fue mayor en el corte alto ($P < 0.05$).

Entre los 4 y 16 días del rebrote, el mayor aporte de IAF lo hicieron el estrato inferior en el caso del corte bajo y los estratos inferior y medio, en el caso de alturas de corte alto, pero, a partir del día 16 el mayor aporte lo hicieron los estratos expuestos directamente a la luz solar.

Como paréntesis, es interesante observar que el incremento de IAF por estrato en relación a la aparición de nuevos rebrotes en los mismos estratos tendió a ser menor en los estratos superiores de ambas alturas de corte (Figuras 1 y 2). En otras palabras, se

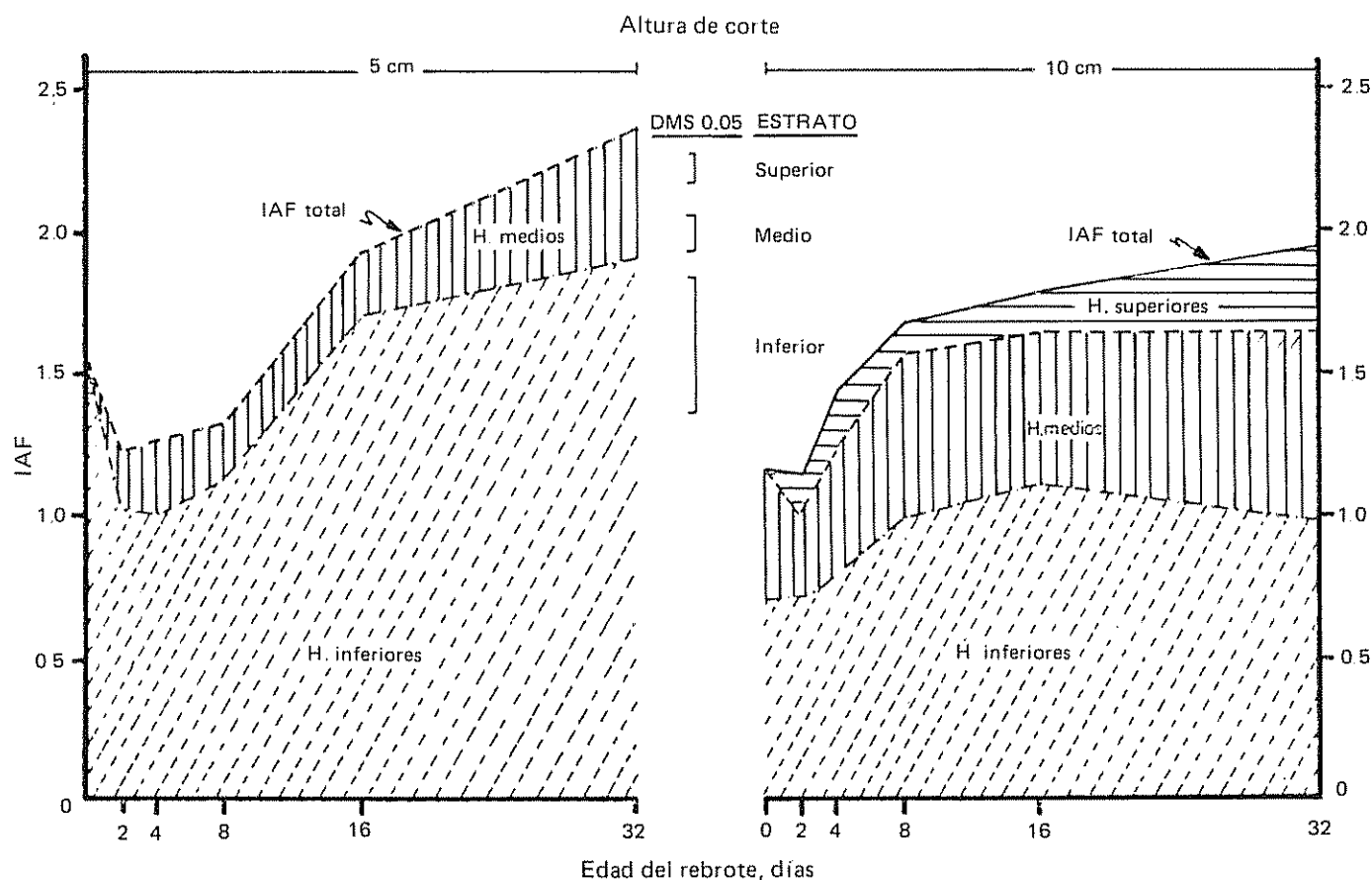


Fig. 2. Efecto de la altura de corte y edad del rebrote sobre el índice de área foliar (IAF) en *S. capitata*.

puede deducir que los rebrotes de los estratos superiores fueron más pequeños que aquéllos de los estratos inferiores.

Tasa de asimilación neta

La tasa de asimilación neta (TAN) fue afectada ($P < 0.05$) tanto por la altura de corte como por la edad del rebrote, apreciándose claramente tres situaciones: valores negativos iniciales, valores máximos a mediados del período y valores descendentes a finales de la etapa experimental (Cuadro 1).

Los valores iniciales se explican en parte por la disminución del IAF total, causada por la caída de hojas viejas, pero reflejan en mayor medida el desbalance entre respiración y fotosíntesis (6, 22). Este desequilibrio puede llevar como consecuencia la disminución de niveles de CNET y de la masa de raíces y tallos. Los valores máximos de la TAN se observaron entre los días 4 y 8 en el corte bajo y después del día 8 en el corte alto. Después la TAN disminuyó siguiendo una tendencia similar a la encontrada en tres leguminosas tropicales (16). A finales del período experimental los valores de TAN para ambas alturas de corte fueron positivos y no difirieron significativamente entre sí.

Tasa de crecimiento absoluto

La tasa de crecimiento absoluto (TCA) fue afectada por la altura de corte y por la edad del rebrote ($P < 0.05$). En el Cuadro 1 se observa que TCA siguió una tendencia muy similar a la de la TAN con la cual estuvo estrechamente correlacionada ($r = 0.99$).

Los valores negativos iniciales se explican por pérdidas de raíces, hojas y tallos del estrato inferior, las cuales se deben al uso de las reservas de CNET en esas partes de la planta (10, 12, 22). La disminución del IAF al inicio del período de rebrote puede también ser parcialmente responsable de la tasa negativa de crecimiento en ese período. La TCA promedio, entre los días 4 y 32, fue de 4.1 g MS/m²/día.

Contenido de CNET

La altura de corte no afectó significativamente el contenido de carbohidratos no estructurales totales (CNET) en ninguna parte de la planta. En cambio, después del corte, se produjo un descenso significativo ($P < 0.05$) en todos los componentes de la planta y posteriormente, el contenido de CNET volvió a aumentar y sobrepasó ($P < 0.05$) el valor inicial (Cuadro 2).

En general el descenso ocurrió hasta el día 2 y mantuvo el nivel bajo hasta el día 4 del rebrote, lapso que resulta menor al señalado por Vickery (22) para otras especies, donde el descenso se prolongó por lo menos durante 10 días. El descenso fluctuó de 29 a 47% del valor inicial después del corte, o sea, fue menor al encontrado por Smith (19) en alfalfa y resultó mayor en tallos y raíces que en otras partes de la planta.

A partir del día 4 el contenido de CNET comenzó a incrementar e igualó su valor inicial aproximadamente al día 8 en las hojas, 15 en las raíces y 20 en los tallos. La recuperación más rápida en las hojas se explica porque en ellas ocurre la fotosíntesis.

Cuadro 1. Efecto de la altura de corte y de la edad de rebrote sobre las tasas de asimilación neta (TAN) y crecimiento absoluto (ITCA) en *Stylosanthes capitata*

Días después del corte	TAN g MS/m ² sup. fol./día		TCA g MS/m ² /día		
	Altura de corte (cm)	5	10	5	10
0-2		-3.9c	-7.8d	-5.4c	-9.1d
2-4		2.6b	-3.4c	3.3b	-4.3c
4-8		6.0a	0.8b	7.6a	1.2b
8-16		2.2b	3.1a	3.5b	5.5a
16-32		1.7b	2.2a	3.6b	4.0

Los promedios con igual letra en la misma columna no presentan diferencias significativas ($P < 0.05$) según prueba de Duncan

Cuadro 2. Efecto de la edad de rebrote sobre el contenido de CNET (%) en raíces, tallos y hojas de *S. capitata*

Partes de la planta	Edad de rebrote (días)						
	$\bar{X}$	O	2	4	8	16	32
Raíces	3.2	3.4b	2.2c	2.2c	2.6c	3.5b	5.3a
Tallos inferiores	1.8	2.0b	1.1c	1.1c	1.4c	1.8b	3.2z
Tallos medianos	2.5	2.9b	1.8d	1.7d	2.4c	2.8b	3.4a
Tallos superiores	2.5	3.0b	1.8d	1.6d	2.4c	2.9b	3.5a
Hojas inferiores	2.6	2.6b	1.5d	2.1c	2.5cb	3.4a	3.7a
Hojas medianas	3.1	3.2b	2.1c	2.1c	3.2b	3.5b	4.5a
Hojas superiores	3.2	2.8c	2.0d	2.7c	3.1c	3.8b	4.8a

Los promedios con igual letra en la misma línea no presentan diferencia significativa al 5%, según Duncan

Los valores subrayados señalan el día en el cual el contenido de CNET, en cada parte, no difiere significativamente del valor inicial (Día 0)

El mayor contenido de CNET se encontró en las raíces, confirmando resultados de Alferez (1) en *S. humilis* y también fue mayor en hojas que en tallos. Tanto en hojas como en tallos el contenido de CNET tendió a disminuir del estrato superior al inferior. El mayor contenido de CNET en raíces y su rápido descenso después del corte señalan a este órgano como un lugar preferente de almacenamiento de reservas de *S. capitata*.

Cantidad del CNET

La cantidad de CNET en planta entera no fue afectada por la altura de corte pero sí por la edad del rebrote ($P < 0.01$), apreciándose un rápido descenso después del corte y una posterior recuperación (Figura 3).

Aproximadamente el 50% de los CNET presentes en las plantas se ubicaron en los tallos inferiores. Es interesante notar además que el 85% de la pérdida de CNET, en ambas alturas de corte, ocurrió en tallos del estrato inferior y en las raíces y que luego en los mismos se depositó aproximadamente el 75% de la cantidad total de CNET acumulados. El flujo observado en estos órganos es otro indicio de su importancia como lugar de almacenamiento.

Este comportamiento tiene implicaciones sobre la persistencia de *S. capitata* bajo pastoreo. En efecto, el hecho de que, en ambas alturas de corte, la mayor proporción de las reservas se encuentran en el estrato inferior y en las raíces indica que la densidad de defoliación no afectó sustancialmente el patrón de distribución de las reservas. Por otra parte, la ubicación de las reservas en los tallos más lignificados cerca del

suelo podría contribuir a impedir que los animales remueven las reservas necesarias para el rebrote.

Después del corte quedaron, en promedio, 11.5 g CNET/m² de los que un 43% se utilizó durante los primeros dos a cuatro días hasta la tasa de utilización neta se hiciera positiva, a la vez que se detuviera el flujo de utilización de reservas. Posteriormente, éstas volvieron a alcanzar su nivel inicial alrededor de los 15 a 18 días después del corte, siendo este período algo más corto en el corte bajo. Esta última observación puede relacionarse con el nivel generalmente más alto de la tasa de asimilación neta (TAN) en el corte bajo. El lógico pensar, en efecto, que un nivel más alto de TAN haya hecho disponible una mayor cantidad de carbohidratos no estructurales para ser acumulados como reserva. La cantidad de reservas utilizadas fue algo menor a la observada en otras especies (19); por otro lado, el período de descenso y de recuperación del nivel inicial también resultó menor (22). Quizás estas características se deban al mayor IAF residual en esta especie, incluso con defoliaciones severas. Estos hechos tienen significancia para apreciar la importancia de las reservas como factor limitante del rebrote. Al respecto se puede suponer que las reservas en esta leguminosa no se convertirán en factor limitante si se defoliaron con intervalos iguales o mayores de 18 días. En cambio si el intervalo fuese menor éstas tenderían a disminuir con el tiempo y afectarían la persistencia de esta leguminosa.

Estas observaciones son fundamentales para la interpretación de las respuestas observadas en este experimento. En efecto, los tratamientos de intervalo y de altura corte fueron determinados de tal

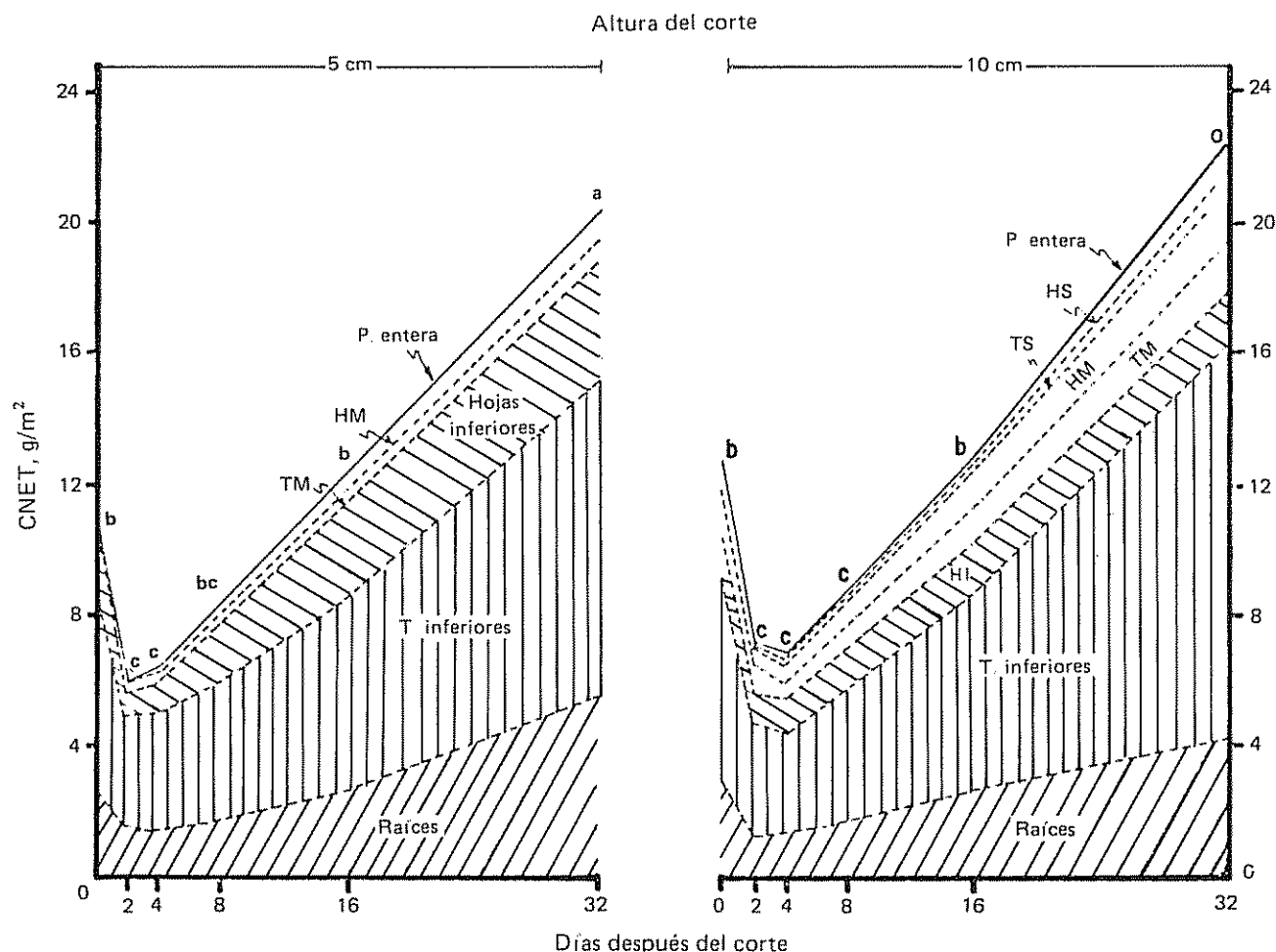


Fig. 3. Efecto de la altura del rebrote sobre la cantidad de CNET en partes y planta entera de *S. capitata*. TM, TS: Tallos medios y superiores. HM, HS: Hojas medias y superiores. FM y FS: Flores medias y superiores. Las cantidades de CNET en planta entera con igual letra, dentro de cada altura de corte, no presentan diferencias significativas al 5% según prueba de Duncan.

manera que en un momento dado éstos se traducirían en diferentes niveles y ubicaciones de los CNET en las plantas, con el objetivo de relacionar estas variables con la velocidad de rebrote. Los niveles fueron definidos con base en los conocimientos adquiridos en *Desmodium intortum*, en el cual se consideró necesario un período de 40 días para lograr una completa recuperación de las reservas (3). Los resultados del presente trabajo muestran que *S. capitata* utilizó un tiempo muy inferior al intervalo más corto experimentado (27 días) para volver a alcanzar su nivel original de reservas. Esto explica, por una parte, la falta de respuesta a los diferentes intervalos de defoliación, pero por otra parte trae como consecuencia la imposibilidad de verificar los objetivos de este trabajo, al no tener la variación expresada en los niveles de CNET antes del rebrote.

Masa total y rendimiento

En todas las edades del rebrote la biomasa total fue menor en el corte bajo ($P < 0.05$) (Cuadro 3) y se concentró en las raíces y estrato inferior de la planta (91 y 77% de la biomasa total en los cortes bajo y alto, respectivamente).

En ambas alturas de corte se registró un descenso durante los 2 ó 4 días iniciales del rebrote; posteriormente, el peso seco de la planta aumentó con la edad. La disminución en los días iniciales tendió a ser mayor en el corte alto que, como se demostró antes, se caracterizó por un IAF residual menor, aunque su nivel de reservas fue mayor. La disminución más marcada del corte alto podría haberse debido al menor IAF residual, sin que la mayor cantidad de CNET haya podido contrarrestar este descenso. El compo-

nente de la planta que más descendió en peso seco, después del corte, fue la raíz lo cual causó aproximadamente el 90% de la disminución total de la biomasa.

La biomasa total se incrementó, durante los 32 días del rebrote, en 106 y 55 g MS/m² para el corte bajo y alto, respectivamente (Cuadro 4). Pero al comparar la biomasa total entre el punto mínimo después del corte y el valor alcanzado a los 32 días se encontraron incrementos significativos de 119 y 103 g MS/m².

En otras palabras, se alcanzó una tasa de crecimiento de la biomasa total de 4.0 y 3.7 g MS/m²/día para el corte bajo y alto, respectivamente. Estos valores, equivalentes a 35-40 kg MS/ha/día, son comparables con datos de otros experimentos con leguminosas forrajeras en áreas similares (2, 23).

A los 32 días del rebrote el rendimiento (o sea la fracción de la masa total situada arriba de la línea de corte) fue algo superior en el corte bajo y en promedio sólo constituyó el 6% de la masa total (Cuadro 3). Cabe notar, sin embargo, que el rendimiento representó aproximadamente entre 40 y 64% del incremento de la masa total durante el periodo de rebrote (Cuadro 4). La baja proporción del rendimiento en relación con la biomasa total permite subrayar la habilidad de *S. capitata* para resistir defoliaciones intensas debido a la misma arquitectura de la planta. Esta, en efecto, permanece casi intacta a través de los ciclos de defoliación y crecimiento y constituye un factor de persistencia bajo pastoreo.

Si se compara la masa total con la cantidad de CNET se aprecia un incremento neto en ambas. Entre el día 0 y el día 32 la masa total se incrementó en un 15% y los CNET en un 86%. Pero si se analizan ambas tendencias (Figura 3 y Cuadro 3) se aprecian inicialmente descensos relativos de un 5% para biomasa y de un 43% para CNET. El mayor descenso relativo de los CNET podría explicarse, como lo señalan Smith y Marten (21), por la movilización de CNET para la formación de nuevos tejidos. Sin embargo, la ausencia de nuevos rebrotes (Figura 1) durante el periodo de descenso de CNET hace pensar más bien que no ocurrió tal reorganización de los tejidos de la planta sino que la respiración, evidenciada por la tasa negativa de asimilación neta durante este periodo (Cuadro 1) fue el proceso de mayor importancia particularmente en el corte alto. A partir del día 2 del rebrote en tratamientos de corte bajo, y a los 4 días, con cortes altos, se lograron incrementos positivos tanto en masa total como en CNET. Estos incrementos, en términos relativos, fueron de un 22% para masa total y de 228% para CNET. Estos resultados interpretados conjuntamente con la variación en contenido de CNET entre órganos de la planta y en el tiempo, apoyan la evidencia de que los CNET realmente tuvieron una función de reserva durante el rebrote de *S. capitata*. En otras palabras, quedó demostrado que los CNET no siguieron en forma "pasiva" las variaciones de biomasa de la planta sino que fueron inicialmente utilizados para la respiración y luego almacenados preferentemente en la base y la raíz de la planta.

Cuadro 3. Efecto de la altura de corte y de la edad del rebrote sobre la masa total, en g MS/m², en *Stylosanthes capitata*.

Edad de rebrote (días)	Altura del corte (cm)			
	5	10	5	10
	Masa total (g MS/m ²)		Proporción de la masa total, arriba de la línea de corte (%)	
0	497b ¹	620ab	0	0
2	484b	—	3	—
4		572b	—	2
32	603a	675a	7	5
$\bar{x}^2$	537A ³	608B	—	—

1 Valores con letras minúsculas iguales para cada altura de corte no son estadísticamente ($P < 0.05$) diferentes, según prueba de Duncan

2 Promedio de los 0, 2, 4, 8, 16 y 32 días.

3 Valores con letras mayúsculas iguales entre alturas de corte no son estadísticamente ($P < 0.05$) diferentes, según prueba de Duncan.

Cuadro 4. Incrementos de masa total y proporción de los incrementos, a partir del día de corte y 2 ó 4 días después del corte, expresados en porcentajes, en *Sylosanthes capitata*.

Intervalo del corte (días)	Altura del Corte (cm)			
	5	10	5	10
	Incremento de masa total (g MS/m ²)		Proporción del incremento de masa total situado arriba de la línea de corte (%)	
0-32	106	55	40	64
2 ó 4 - 32	119	103	22	23

Con base en lo anterior se pueden obtener las siguientes conclusiones:

1. Los CNET, cuya función de reserva quedó demostrada, variaron significativamente a través del período de rebrote sin que los tratamientos de corte previo alteraran el patrón de estas variaciones.
2. Debido a que el tiempo de recuperación del nivel de reservas de *S. capitata* fue más corto que el esperado, las reservas no constituyen un factor limitante del rebrote, dentro de la gama de intervalos estudiados. Con intervalos menores de 15 días las reservas posiblemente se conviertan en un factor de la persistencia de esta especie.
3. Por estar las reservas almacenadas preferentemente en raíces y en tallos inferiores y por otras razones relacionadas con la arquitectura de la planta, esta especie debería estar adaptada para resistir defoliaciones intensas.

Resumen

El presente estudio se realizó en el Centro Agrónomico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica, con el objetivo de determinar en *Stylosanthes capitata* Vog. el efecto de combinaciones de altura (5 ó 10 cm) e intervalo de corte (27, 36 ó 54 días) sobre los niveles de carbohidratos no estructurales totales (CNET) y la posterior utilización de éstos en la producción de biomasa, durante el período de rebrote (0, 2, 4, 8, 16 y 32 días). El diseño utilizado fue fajas divididas con arreglo factorial.

El contenido de CNET fue mayor en raíces y hojas y menor en tallos inferiores y raíces, y también en estos órganos ocurrieron los mayores cambios de reservas; esto los señala como lugares preferenciales de almacenamiento.

La extracción de CNET se detuvo entre 2 a 4 días después del corte y recuperó su nivel inicial a los 18 días indicando la capacidad de esta leguminosa para resistir defoliaciones frecuentes.

La biomasa total, a los 32 días del rebrote, fue mayor ($P < 0.05$) en tratamientos cortados a 10 cm. Las raíces, tallos inferiores y hojas inferiores aportaron el 80% de la biomasa total y la fracción de la biomasa situada arriba de la línea de corte contribuyó sólo con el 6% de la biomasa total.

Literatura citada

1. ALFEREZ, A. C. Effects of temperature and cutting treatments on dry matter yields and carbohydrate accumulation in stylo (*Stylosanthes gracilis* H. B. K.). Ph. D. Thesis. Lincoln, University of Nebraska, 1973. 85 p.
2. BISHOP, H. G., McIVOR, J. G. and RUTHERFORD, M. T. Yield and persistence of perennial *Stylosanthes* species on the Mackay wet coast. Tropical Grasslands 14(2):57-62. 1980.
3. BOREL, R. Intervalo y altura de corte en producción de biomasa, acumulación de reservas y algunas características fisiológicas de *Desmodium intortum* (Mill.) Urb. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1974. 91 p.
4. COCHRAN, W. C. y COX, G. M. Diseños experimentales. México, D.F., Trillas, 1980, pp. 328-352.
5. DAVIDSON, J. L. and DONALD, C. M. The growth of swards of subterranean clover

- with particular reference to leaf area. *Australian Journal of Agricultural Research* 9(1):53-72. 1958.
6. DAVIDSON, J. L. and MILTHORPE, F. L. The effect of defoliation on the carbon balance in *Dactylis glomerata*. *Annals of Botany* 30(118):185-198. 1966.
7. GOOD, N. E. and BELL, D. H. Photosynthesis, plant productivity and crop yield. In Carlson, P. S., ed. *The biology of crop productivity*. New York, Academic Press, 1980. pp. 3-51.
8. HUMPHREYS, L. R. and ROBINSON, A. R. Sub-tropical grass growth. I. Relationship between carbohydrate accumulation and leaf area growth. *Queensland Journal of Agricultural and Animal Science* 23:211-259. 1966.
9. JONES, R. J. Effect of previous cutting interval and of leaf area remaining after cutting on regrowth of *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 14(68):343-348. 1974.
10. LAWN, R. J. and BRUN, W. A. Symbiotic nitrogen fixation in soybean. I. Effect of photosynthetic source-sink manipulation. *Crop Science* 14(1):11-16. 1974.
11. LENNE, J. M. and SONODA, R. M. The occurrence of *Collectotrichum* spp. on *Stylosanthes* spp. in Florida and the pathogenicity of Florida and Australian isolated to *Stylosanthes* spp. *Tropical Grassland* 13(2):98-105. 1979.
12. LUDLOW, M. M. and CHARLES-EDWARDS, D. A. Analysis of the regrowth of a tropical grass/legume sward subjected to different frequencies and intensities of defoliation. *Australian Journal of Agricultural Research* 31:673-692. 1980.
13. McCLOUD, D. E. and BULA, R. J. Climatic factors in forage production. In Heath, M., Metcalfe, D. S. and Barnes, R., eds. *Forages*. Iowa State University, 1980. pp. 372-382.
14. McIVOR, J. G. The Effect of cutting interval and associate grass species on the growth of *Stylosanthes* species near Ingham, North Queensland, Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry 18(93):546-553. 1978.
15. MAY, L. H. and DAVIDSON, J. L. The role of carbohydrate reserves in regeneration of plants. I. Carbohydrate changes in subterranean clover following defoliation. *Australian Journal of Agricultural Research* 9(6):767-777. 1958.
16. NOGUEDA, O., R. Efecto de la edad en la acumulación de carbohidratos no estructurales y calidad nutritiva de tres leguminosas tropicales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1981. 63 p.
17. SMITH, D. and SILVA, J. P. Use of carbohydrate and nitrogen root reserve in the regrowth of alfalfa from greenhouse experiments under light and dark condition. *Crop Science* 9(4):464-467. 1960.
18. SMITH, D. and SILVA, J. P. Influence of drying and storage conditions on non-estructural carbohydrates of herbage tissue; a review. *Journal of the British Grassland Society* 28(3):129-134. 1973.
19. SMITH, D. and SILVA, J. P. Physiological considerations in forage management. In Heath, M., Metcalfe, D. S. and Barnes, R., eds. *Forages*. Iowa, Iowa State University, 1980. pp. 425-436.
20. SMITH, D. Removing and analyzing total non-structural carbohydrates from plant tissue. University of Wisconsin. Research Report R-2107. 1981. 14 p.
21. SMITH, L. H. and MARTEN, G. C. Foliar regrowth of alfalfa utilizing C labeled carbohydrate stored in roots. *Crop Science* 19(2):146-149. 1970.
22. VICKERY, P. J. Pasture growth under grazing. In Morley, F. H. W., ed. *Grazing Animals*. Amsterdam, Elsevier, 1981. pp. 55-77.
23. WONG, C. C. and WILSON, J. R. Effects of shading on the growth and nitrogen content of green panic and Siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. *Australian Journal of Agricultural Research* 31(2):269-285. 1980.

COMUNICACIONES

Aplicación foliar de fertilizantes en Caraota (*Phaseolus vulgaris* L.).

Summary. The objective of this study was to evaluate the effect of foliar application of fertilizer as compared to soil fertilization of beans. Two field experiments were conducted with the "Criolla and San Juan" variety comparing soil, foliar, soil and foliar applications and a control. A completely randomized design was used. No yield differences were found between treatments; foliar fertilization yielded over 600 kg/ha of grain than the control.

Los elementos nutritivos pueden ser aplicados y absorbidos a través de las hojas, en forma rápida y efectiva, corrigiendo deficiencias nutricionales a menudo en forma temporal. Constituye el medio más efectivo de fertilización cuando existen problemas de nutrimentos en el suelo.

Actualmente la aplicación foliar de N, P, K, está más generalizada en cultivos permanentes y quizás el uso más intensivo se hace sobre el cultivo de la piña en Hawai, donde alrededor de las 3/4 partes de N y 1/2 de P y de K son muchas veces aplicados en esa forma (5, 8, 13).

Con aplicaciones foliares de 80+8+24+4 kg/ha de N, P, K y S respectivamente, durante el período de llenado de los granos, se logra aumentar el rendimiento en soya en 1 570 kg/ha, debiéndose el incremento al número de semillas cosechables y no al tamaño de los granos (6, 7, 10, 12).

Boote *et al.* (2), encontraron que la fertilización foliar no incrementó los rendimientos de la soya, debido principalmente a que dichas aspersiones no aumentaron el contenido de N en las hojas, la fotosíntesis global, ni la duración del proceso fotosintetizador. Consideran que eso se debió parcialmente

a la substitución del N aplicado foliarmente por el fijado en forma de N_2 , con el resultado de que el contenido promedio de N en la masa foliar sólo aumentó de 3.27% a 3.48% con la aplicación foliar de 140 kg/ha de N. Los resultados indicaron una relación altamente significativa entre la fotosíntesis global y el contenido de N de las hojas durante el período del llenado de los granos y apoyan la hipótesis de que la transferencia de N hacia las semillas agota las hojas de las enzimas fotosintetizadoras y es responsable por la disminución fotosintética.

Las aplicaciones foliares de nutrimentos en cultivos de granos coinciden con el tiempo de las aspersiones fungicidas, por lo que no representan un costo adicional. Sin embargo, los rendimientos no mostraron aumento en trigo (11) al aplicar N, P, K y S con maneb.

La aplicación foliar de N, P, K en caraota no afectó el contenido foliar de estos elementos pero aumentó en un 26% el rendimiento en un Latosol rojo del Brasil (3). En otro estudio el aumento fue de un 23% cuando no se aplicó fertilizante al suelo y sólo del 18% cuando sí se aplicó al suelo (4).

En los Andes son muy comunes las aspersiones foliares de sulfato de magnesio al 2% para corregir deficiencias de Mg. La deficiencia de Calcio, provocada por antagonismo iónico Ca^{++} vs K^+ , han corregido con aspersiones foliares de cloruro o sulfato de calcio. También se usa abono foliar para corregir carencias de microelementos como B, Mo y Zn de los cuales los suelos andinos son deficientes.

Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) conocer el efecto sobre el rendimiento de las aplicaciones foliares de N, P, K, S, Fe, Mn, Cu, Ni, Co

y Mo, durante el llenado de los granos en caraota; 2) medir la diferencia en rendimiento resultante de aplicar los fertilizantes al suelo y las aspersiones foliares y 3) averiguar si los aumentos en rendimiento son suficientes para recomendar las aspersiones foliares en plantaciones previamente fertilizadas al suelo.

Materiales y métodos

Se realizaron dos ensayos de campo durante los años 1978 y 1980, en la Estación Experimental del IIAP -ULA- en San Juan de Lagunillas Edo Mérida ($08^{\circ} 31' N$, $71^{\circ} 21' W$), altitud 1 104 msnm, precipitación promedio de 528 mm anuales y una temperatura media anual de $22^{\circ}C$. La zona fue descrita por Ochoa y Malagon (9) con clima: Bosque seco premontano subtropical BSwh, vegetación hortícola, bajo riego y selva estacional montana; pendiente del terreno 67-12%; drenaje moderadamente bien drenado; erosión laminar; profundidad efectiva del suelo de 21 cm; taxonomía del suelo: Cambortid típico, franco fino, micáceo, isohipertérmico. Se tomaron muestras compuestas de suelo (0-20 cm), una para cada sitio de siembra o ensayo, cuyo análisis se presenta en el Cuadro 1.

Para los dos ensayos se usó una población de 250 000 plantas/ha (0.4×0.2 m de distancias de siembra con 2 granos por hueco), de la variedad "Criolla de San Juan". La preparación del suelo se hizo con tractor, dándole dos pases de rastra; las parcelas se emparejaron y terminaron de arreglar con escardilla. Las fuentes de fertilizantes fueron: Bayfolan, abono foliar de Bayer con 11% de N, 8% de P_2O_5 , 6% de K_2O y trazas de los microelementos Fe, Mn, B, Cu, Zn, Ni, Co y Mo. Urea, con 46% de N. Fosfato diamónico, con 18% de azufre. Fórmula completa 15-15-15. Las aspersiones foliares se hicieron con una moto-asperjadora Platz-Solo. La siembra y la fertilización al suelo fueron realizadas a mano.

Cuadro 1. Análisis de suelo de la zona estudiada.

Variable	1978	1980
Clase textural	FAa	FAa
pH (1:2)	7.45	7.25
C.O. (%)	1.25	1.37
N (%)	0.13	0.14
C/N	9.6	10.1
P Olsen (ppm)	10	9
K aprov. me/100 g	0.41	1.69
Mg aprov. me/100 g	0.25	1.56

El diseño experimental usado en ambos ensayos fue el de bloques al azar con 4 repeticiones cada uno.

Ensayo 1

Sembrado el 8-11-1978, en parcelas individuales de $14 m^2$ (7 hileras de 5 m de largo). Los tratamientos fueron:

1. Aplicaciones semanales del abono foliar Bayfolan al 1% en agua + 2.8 g de sulfato de potasio desde el inicio de la floración, hasta completar 4 aspersiones. Cada parcela de $14 m^2$ fue asperjada con 10 litros de solución fertilizante, lográndose una aplicación total de 31.43 kg de N/ha y una relación 11:8:7.4:0.5 de N, P_2O_5 , K_2O y S respectivamente.
2. Aplicación al suelo de 270 kg/ha de la fórmula 15-15-15, al momento de la siembra, según recomendaciones de Añez (1).
3. Aplicaciones foliares semanales de 28 g de urea + 5.6 g de fosfato diamónico + 9.08 g de sulfato de potasio en 5 litros de agua para $14 m^2$ desde el inicio de la floración hasta completar 4 aspersiones, con una aplicación total de 39.69 kg de N/ha, y una relación 13.89:2.58:0.54:1.63 de N, P_2O_5 , K_2O y S respectivamente.
4. Aplicación al suelo como en el tratamiento 2 + aspersiones foliares como en el tratamiento 1.
5. Aplicación al suelo como en el tratamiento 2 + aspersiones foliares como en el tratamiento 3.
6. Testigo sin fertilización.

Las aspersiones foliares se efectuaron los días: 16-23-30 de enero y 6 de febrero de 1979.

La cosecha se realizó el 13 de febrero de 1979, sobre un área de $6 m^2$ por tratamiento.

Ensayo 2

Se sembró el 7 de marzo de 1980. Los tratamientos fueron similares a los del ensayo 1, excepto en que las aspersiones foliares se iniciaron un mes después de la siembra, aplicándose los días 8, 15 y 21 de mayo y el 29 de abril de 1980. La cosecha fue realizada el 28 de mayo de 1980, sobre un área de $8.4 m^2$ por tratamiento.

Durante el estudio las malezas fueron controladas con escardilla, se usó riego por aspersión para llenar los requerimientos hídricos de la caraota, se hicieron

aspersiones de fungicidas contra la roya y de insecticidas cuando se detectó la presencia de algún insecto plaga.

Se tomaron las observaciones y datos siguientes:

1. Daños causados por las aspersiones fertilizantes
2. Número de vainas/planta, promedio de 20 plantas/tratamiento.
3. Número de granos/vaina, promedio de 20 vainas por tratamiento.
4. Peso de 100 granos por tratamiento
5. Rendimiento en grano por parcela cosechada por tratamiento.

Se hicieron análisis estadísticos de los rendimientos. Los datos correspondientes a número de vainas/planta y número de granos/vaina fueron transformados en valores; $VX + \frac{1}{2}$, antes de ser analizados.

Resultados y discusión

El ensayo No. 1 permitió observar los efectos que la aplicación foliar, en las dosis empleadas de los productos fertilizantes, tuvieron sobre las hojas de las plantas y el momento más adecuado para empezar las aspersiones. Las observaciones realizadas demostraron que la floración no puede tomarse como punto de partida para hacer 4 aspersiones una cada semana, porque la variedad de caraota usada tarda apenas 28 días entre floración y cosecha, bajo las condi-

ciones del estudio. No se apreciaron daños por quemaduras en las hojas como consecuencia de las aspersiones foliares.

Los datos de rendimiento en grano no revelaron diferencias significativas entre los tratamientos, con valores en kg/ha de 1 470, 1 450, 1 030, 1 220, 1 000 y 1 200 para los tratamientos 1 a 6 respectivamente.

En el ensayo No. 2, las aspersiones se comenzaron un mes después de la siembra, con tiempo suficiente para hacer las 4 aspersiones a suficiente distancia de la cosecha.

El análisis estadístico no reveló diferencias significativas entre el número de vainas por planta (V/P), número de granos por vaina (G/V), ni entre el peso de los granos.

El rendimiento en grano al 11.07% de humedad estuvo influido por los tratamientos. Las aplicaciones de fertilizante al suelo, al momento de la siembra, mostraron diferencias altamente significativas en relación al testigo sin fertilizar, concordando con resultados obtenidos por Añez (1) en trabajos previos en la zona; no obstante, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos al suelo y las aplicaciones foliares (Cuadro 2). Además el estudio mostró diferencias significativas entre los rendimientos obtenidos con ciertas aspersiones foliares al compararlos con el testigo. Estos resultados asoman la posibilidad de fertilizar la caraota en forma foliar. Más aún, si se considera que el cultivo en la zona del estudio ha sido sistemáticamente atacado en las etapas intermedia y tardía de su ciclo por el hongo *Uromyces phaseoli* causante de la roya, se podría combinar las aplicaciones fungicidas con las de fertilizantes, reduciendo

Cuadro 2. Valores medios de rendimientos en grano y de sus componentes para caraota bajo diferentes formas de fertilización.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Vainas/planta		Granos/vaina		Peso de 100 granos (g)
		X	$\sqrt{X + \frac{1}{2}}$	X	$\sqrt{X + \frac{1}{2}}$	
1	2 157.75 ab*	8.28	2.96	6.30	2.61	22.50
2	2 467.80 a	10.83	3.34	6.73	2.69	22.70
3	2 380.98 a	9.80	3.20	6.53	2.64	22.83
4	2 520.83 a	9.10	3.09	6.63	2.67	23.65
5	2 410.73 a	7.15	2.77	6.63	2.67	23.58
6	1 763.40 b	8.53	3.00	6.20	2.59	23.03
$\bar{Y}$	2 283.58	8.95	3.06	6.50	2.64	23.05
C.V.	12.38%	—	9.8 %	—	4.79%	9.16%

* Las medias de la misma columna seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes al 1%, de acuerdo con la prueba de rangos múltiples de Duncan.

los costos de producción del cultivo, tal como lo señalan Simkins *et al.* (11) para trigo, avena y cebada.

Resumen

El objetivo de este estudio consistió en evaluar el efecto de la aplicación foliar de fertilizantes al frijol, comparado con fertilización en el suelo. Dos experimentos de campo fueron llevados a cabo utilizando la variedad Criolla de San Juan, comparando aplicación al suelo, foliar y ambas conjuntamente, en un testigo. Se utilizó un diseño totalmente al azar. No se observaron diferencias en el rendimiento entre los tratamientos; sin embargo la fertilización foliar aumentó los rendimientos en grano hasta 600 kg/ha sobre el testigo.

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento a la Srta. Maria Marlene Aranguren Q., por el esmero demostrado en la preparación del manuscrito.

B. AÑEZ*

E. TAVIRA*

* Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP), Facultad de Ciencias Forestales, ULA. Apdo. 220, Mérida, C. Postal 5101, Venezuela.

Literatura citada

1. AÑEZ, B. Fertilización completa N, P, K en caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) en San Juan de Lagunillas Edo., Mérida. Mérida, Venezuela. Trabajo de ascenso IIAP. 1976. 24 p.
2. BOOTE, K. J., *et al.* Effect of foliar fertilization on photosynthesis, leaf nutrition, and yield of soybeans. *Agronomy Journal* 70:787-791. 1978.
3. BULISANI, E. A., DE ALMEIDA, L. D., y DEMATTE, J. D. Observaciones preliminares sobre aplicación foliar de fertilizantes en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). I. *Bragantia* 32:XIII-XVII. 1973. Resúmenes analíticos sobre frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali, Colombia, Centro de Información sobre Frijol, CIAT. 1977. V. 1, p. 134.
4. BULISANI, E. A., DE ALMEIDA, L. D. Observaciones sobre la aplicación foliar de fertilizantes en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). II. *Bragantia* 32:XXXVII-XXXI. 1973. Resúmenes analíticos sobre frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali, Colombia, Centro de Información sobre Frijol, CIAT. 1977. V. 1, p. 135.
5. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Foliar application of fertilizers. In *Efficient use of fertilizers*. Rome. 1958. pp. 132-133.
6. GARCIA, R. y HANWAY, J. J. Foliar fertilization of soybeans during the seed-filling period. *Agronomy Journal* 68:653-657. 1976.
7. HANWAY, J. J. Foliar fertilizing of soybeans. *Crops and Soil* 29:(7):9-10. 1977.
8. MILLAR, C. E., TURK, L. M. y FOTH, H. D. *Fundamentals of soil science*. 4ed. New York, John Wiley, 1965. pp. 349-350.
9. OCHOA, G. y MALAGON, D. Atlas de microscopía electrónica en suelos de Venezuela. (Región de la Cordillera de Mérida). Mérida, Venezuela, UCA-CIDIAT. 1979. 40 p.
10. RYDER, G. J. y BEVERLEIN, J. E. Soybean production. A system approach. *Crops and Soil* 31(7):7-9. 1978.
11. SIMKINS, C. A. *et al.* Influence of foliar applications of fertilizer nutrients and fungicide on the yield and protein content of small grains. Minnesota Agricultural Extension Service Special Report No. 12. 1978. pp. 32-34.
12. SINCLAIR, T. R., y DE WIT, C. T. Analysis of the carbon and nitrogen limitations to soybean yield. *Agronomy Journal* 68:319-324. 1976.
13. TYSDALE, S., y NELSON, W. *Soil fertility and fertilizers*. 3rd. ed. New York. Mac Millan. 1975. pp. 541-542.

Stomatal characteristics, endogenous cytokinins, and abscisic acid-like inhibitors in pigeon pea and gingelly leaves under NaCl salinity.

Resumen. Se estudiaron los cambios en características estomatales, citocininas e inhibidores del tipo ABA, transpiración y cationes en gandul y ajonjolí, durante el desarrollo foliar, bajo la influencia de salinidad. La salinidad ocasiona una reducción en la frecuencia estomatal, en su abertura y en las fases de transpiración. Las hojas de las plántulas cultivadas en alta salinidad de NaCl presentan su máxima abertura estomatal durante las primeras horas del día.

El tratamiento salino provoca una disminución de citocininas y niveles superiores de inhibidores tipo ABA, tanto en gandul como en ajonjolí. Las hojas de las plántulas salinizadas presentan altas concentraciones de sodio, pero baja de potasio y calcio. Se discute la importancia de estos cambios en relación a la adaptabilidad de estas plantas a condiciones de salinidad.

Soil salinity is one of the frequent constraints in crop productivity. Salts in the root medium generally stunt plant growth, often without any other symptoms of damage. It was suggested that the stunted plant growth and other modifications of growth habit such as increased leafiness, indicated that growth hormones may be involved in response of plants to the salinity of the root medium (2). It has been reported that the hormone changes brought by salinity arise essentially due to water deficits (11, 12). Work on different physiological aspects of the same plant species under the influence of salinity seems to be meagre. A comprehensive study on the effect of salinity on different physiological aspects of the same species would provide a better picture of the physiological alterations induced by salinity. An attempt is made in the present study to elucidate the effects of salinity on changes in endogenous cytokinins, ABA-like inhibitors, stomatal characteristics, transpiration and cation content and their role in adaptation to salinity in pigeon pea and gingelly during leaf maturation.

Materials and methods

Pigeon pea (*Cajanus indicus* Spreng Var. LRG 30) and gingelly (*Sesamum indicum* L. Var. TMV 1) were screened for tolerance to varying levels of salinity ranging from 0.1 to 0.6% NaCl in the soil. A salinity level of 0.4% has been selected in the present study at which pigeon was tolerant and gingelly was susceptible. The growth of plants, salt treatment and sampling of leaves for various experiments were carried out as reported earlier by Gururaja Rao (3, 4).

Stomatal frequency and diurnal rhythms of stomatal opening were determined by the imprint

method described by Sampson (15). Stomatal aperture width was measured using a pre-calibrated ocular micrometer. Transpiration rates were determined by the pot-weight method as described by Sarada Devi (16).

Endogenous cytokinins (17) and ABA-like inhibitors (10) were extracted and separated by unidirectional paper chromatography using iso-propanol: ammonia:water (10:1:1, by volume). The chromatograms were dried after development and cut transversely into 10 equal strips and each strip was eluted in methanol. The eluates were evaporated to dryness and the residues were dissolved in 5 mM phosphate buffer, pH 5.8 and 0.5% sucrose for the bioassays of cytokinins and ABA-like inhibitors, respectively. The biological activity of cytokinins and ABA-like inhibitors was determined by the cucumber cotyledon greening bioassay (1) and wheat coleoptile bioassay (13), respectively. Cations, sodium, potassium and calcium were determined using a flame photometer.

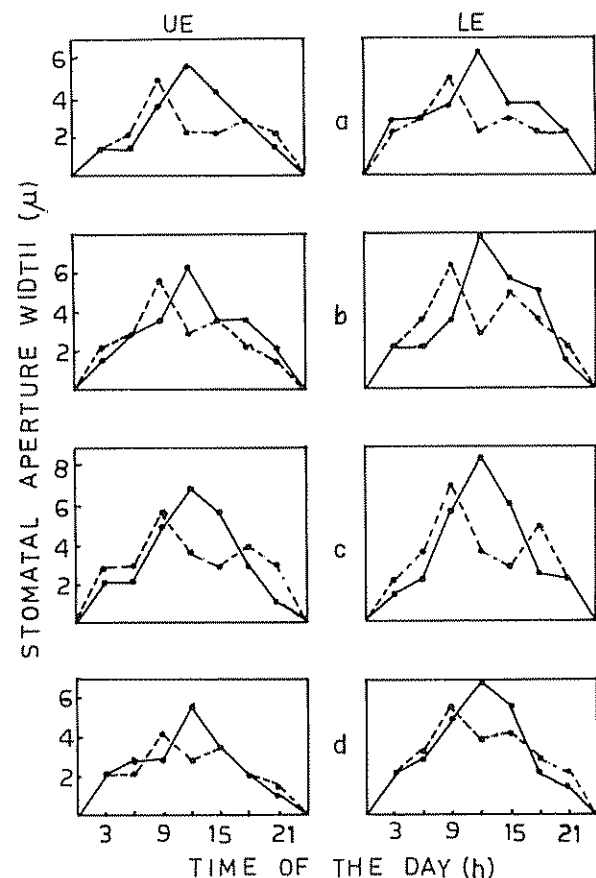


Fig. 1 Diurnal rhythms of stomatal opening in pigeon pea leaves under NaCl salinity.

● — ● Control ● - - - ● Salinized

Results and discussion

Stomatal frequency (Table 1) showed a decrease both in pigeon pea and gingelley under salinity; the decrease being more in gingelley. Stomatal opening (aperture width in microns) was found to be affected in the salt treated plants (Figures 1, 2). The stomates were found to be completely closed at mid-night in both the species under control and salinized conditions. Maximum stomatal opening was observed at 12:00 h and 9:00 h under control and salinized conditions respectively, in both the species on both abaxial and adaxial surfaces of the leaves.

Stomata control diffusion of water vapour and of CO_2 . The stomata in pigeon pea and gingelley under salinity showed maximum opening in the morning (Figures 1, 2). The stomata of mangroves also remained open during the early hours of the day and closed in the after-noon suggesting the possibility of maximum CO_2 assimilation in the morning (9). From the results of the present study it is inferred that these alterations were considered to be a measure of physiological adaptability to the saline environment because the changes would reduce transpiration. Reduction in transpiration is evident under salinity in both pigeon pea and gingelley (Figure 3) and these observations are in conformity with those of Sarada Devi (16).

Cytokinin activity was substantially higher in the control plants than the salinized ones in pigeon pea (Figure 4) and was found to be almost absent in gingelley under salinity (Figure 5). But control gingelley plants showed high cytokinin activity at all stages of growth.

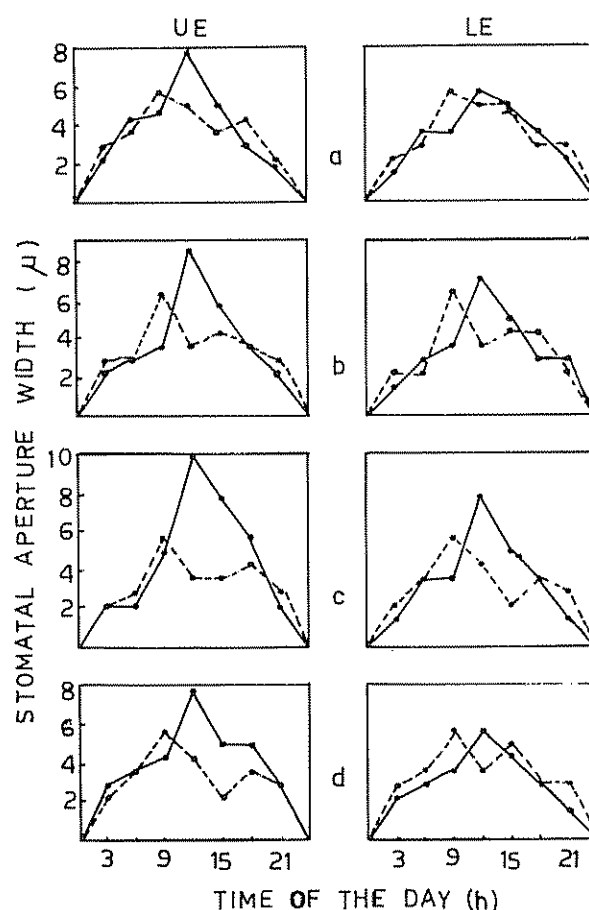


Fig. 2. Diurnal rhythms of stomatal opening in gingelley leaves under NaCl salinity.

● — ● Control ● - - - ● Salinized

Table 1. Effect of NaCl salinity on stomatal frequency in pigeon pea and gingelley leaves. (Number of stomata/cm² leaf area).

Stage Treatment		Pigeon pea				Gingelley			
		Upper Epidermis	S.E. ±	Lower Epidermis	S.E. ±	Upper Epidermis	S.E. ±	Lower Epidermis	S.E. ±
1	Control	85	2	537	5	495	3	693	2
	Salinized	57	2	382	6	283	3	311	3
2	Control	85	2	523	5	509	3	594	3
	Salinized	71	2	354	4	269	5	297	3
3	Control	113	3	417	4	453	3	679	2
	Salinized	71	2	410	3	240	2	255	3
4	Control	113	2	537	3	281	2	580	3
	Salinized	57	2	438	3	170	3	339	2

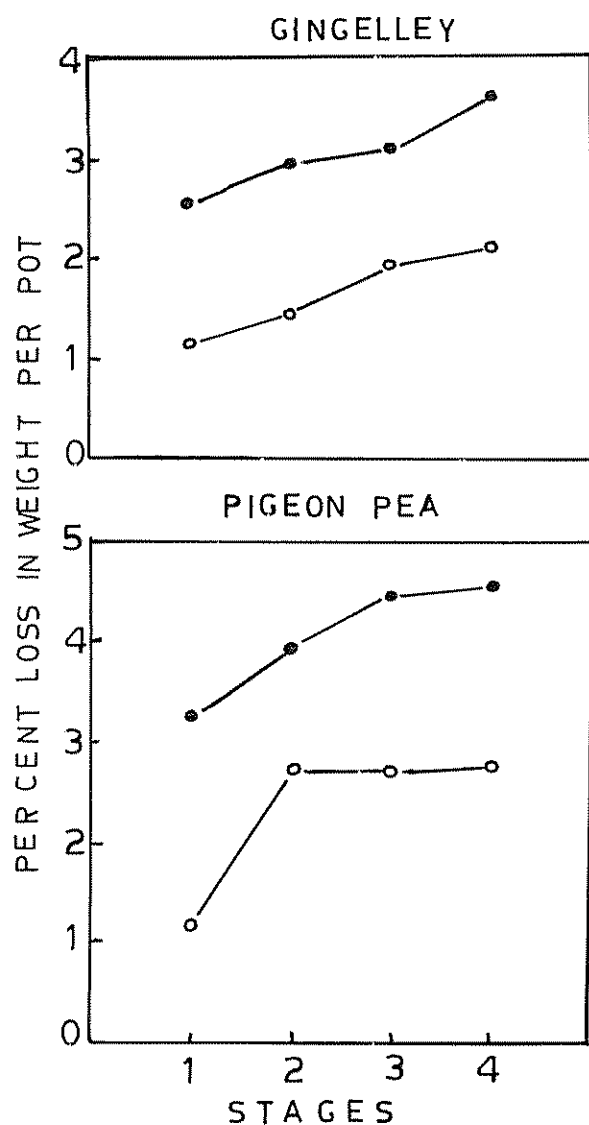


Fig. 3. Rates of transpiration in pigeon pea and gingelley under control and NaCl salinity.

● — Control ○ — Salinized

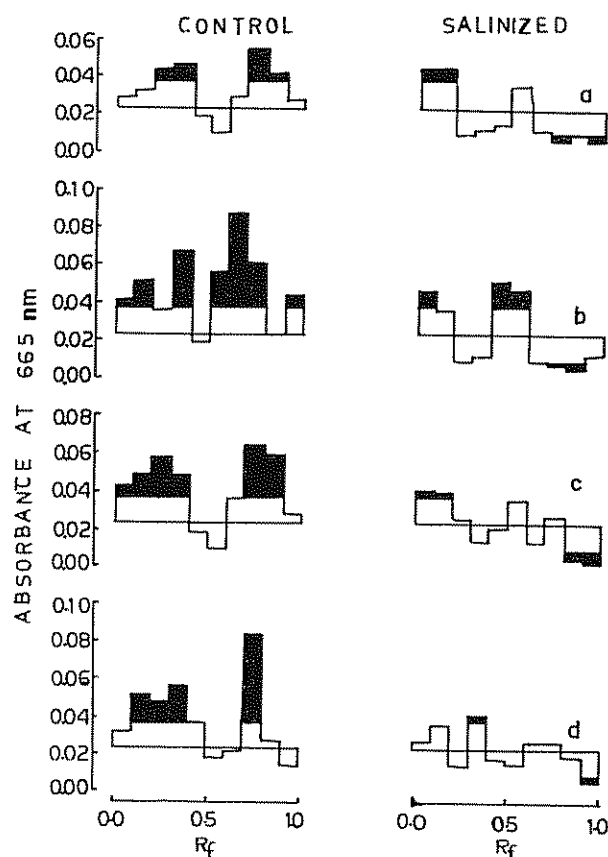


Fig. 4. Effect of NaCl salinity on changes in cytokinins in pigeon pea leaves as shown by cucumber cotyledon greening bioassay. Darkened areas represent regions significantly different from standard at 5% probability level a, b, c and d indicate stages 1, 2, 3, and 4 respectively.

ABA-like inhibitors were found to be high in the salinized plants of pigeon pea and gingelley (Figures 6, 7) and almost absent in both pigeon pea and gingelley under control conditions.

Table 2. Effect of NaCl salinity on changes in sodium, potassium and calcium in pigeon pea and gingelley leaves (mg/g dry weight).

Stage	Treatment	Pigeon pea						Gingelley					
		Sodium	S.E.	Potassium	S.E.	Calcium	S.E.	Sodium	S.E.	Potassium	S.E.	Calcium	S.E.
1	Control	0.92	0.2	0.62	0.1	0.38	0.1	0.84	0.4	0.64	0.2	0.42	0.8
	Salinized	1.21	0.2	0.53	0.1	0.27	0.2	1.31	0.1	0.44	0.1	0.21	0.1
2	Control	0.95	0.3	0.64	0.1	0.38	0.1	0.86	0.1	0.66	0.2	0.42	0.1
	Salinized	1.29	0.3	0.48	0.1	0.30	0.1	1.37	0.1	0.38	0.1	0.23	0.02
3	Control	0.97	0.4	0.69	0.1	0.4	0.1	0.88	0.1	0.69	0.1	0.46	0.1
	Salinized	1.43	0.5	0.47	0.1	0.37	0.1	1.48	0.1	0.37	0.1	0.25	0.1
4	Control	0.94	0.1	0.69	0.2	0.43	0.1	0.92	0.1	0.71	0.04	0.44	0.1
	Salinized	1.35	0.1	0.47	0.2	0.35	0.1	1.39	0.1	0.37	0.1	0.21	0.1

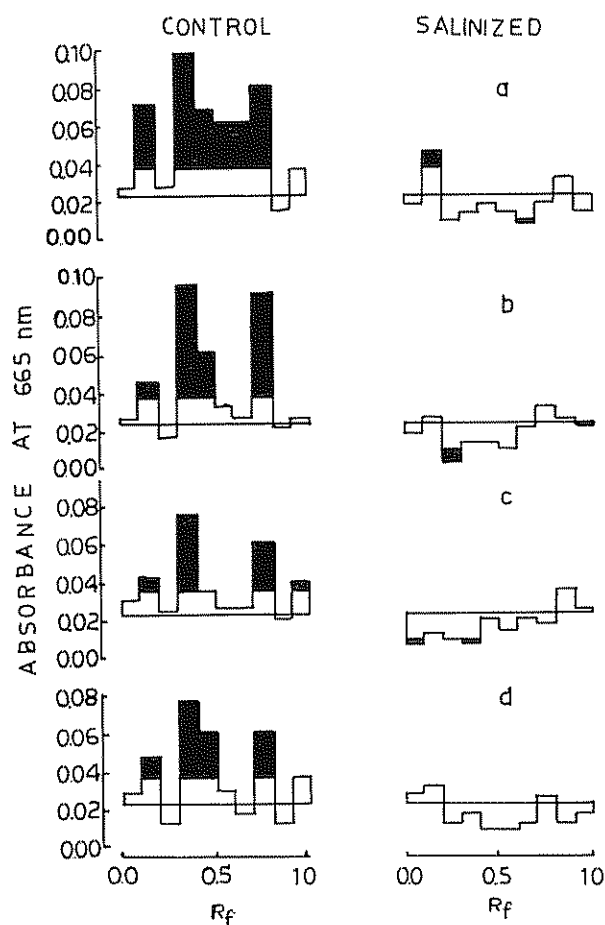


Fig. 5. Effect of NaCl salinity on changes in cytokinins in ginglelly leaves as shown by cucumber cotyledon greening bioassay. Darkened areas represent regions significantly different from standards at 5% probability level. a, b, c and d indicate stages 1, 2, 3 and 4 respectively

Increase in sodium and decrease in potassium and calcium were noticed in both the species under salinity (Table 2); the changes being more in ginglelly

The partial closure of stomata in pigeon pea and ginglelly is associated with low amounts of endogenous cytokinins and high amounts of ABA-like inhibitors. Closure of stomata may even be traced to hormone changes, which in turn will be influenced by reduced CO_2 fixation under salinity. Both pigeon pea and ginglelly showed reduced $^{14}\text{CO}_2$ uptake (5), thereby decreasing the rate of photosynthesis (3)

Plant hormones, especially cytokinins and ABA have been suggested to play an important role in plant water relations through their effects of stomata. Earlier studies (7, 8) showed that water deficit caused by drought or osmotic shock (short exposure of roots

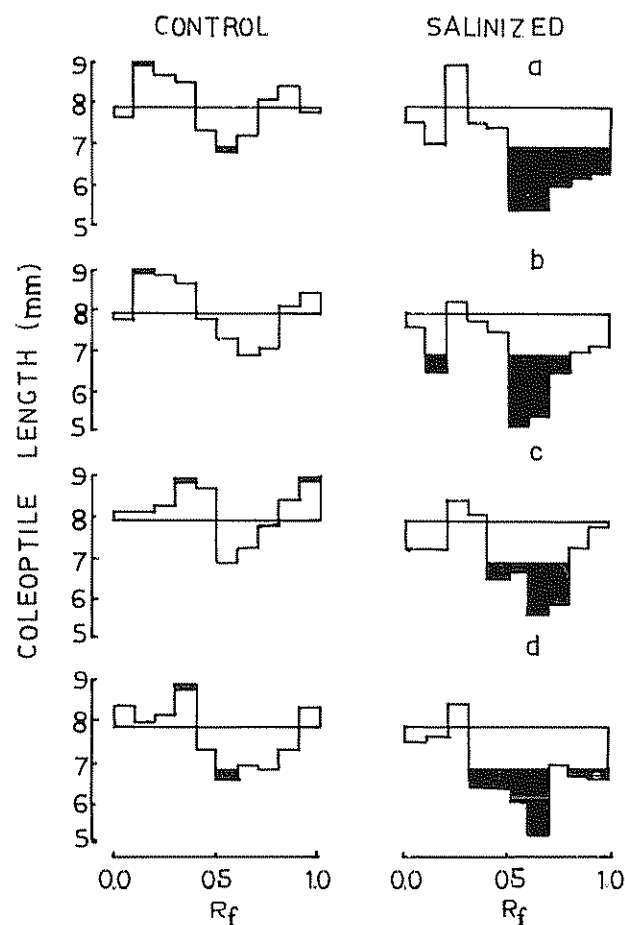


Fig. 6. Effect of NaCl Salinity on changes in ABA-like inhibitors in pigeon pea leaves as shown by wheat coleoptile growth bioassay. Darkened areas represent areas significantly different from standards at 5% probability level. a, b, c and d indicate stages 1, 2, 3 and 4 respectively.

to NaCl or mannitol) decreased cytokinin levels in leaves and xylem exudates. It has been reported that salinity is also characterised by hormone changes and their influence on other symptoms are similar to those of water deficits. These hormonal responses may contribute to the adjustment of plants to salinity by reducing stomatal opening and water loss, hence retaining water potential and hence turgor at higher levels than when the stomates should be open.

Changes in hormonal levels may also influence ion uptake. Both pigeon pea and ginglelly showed high levels of Na^+ and low levels of K^+ and Ca^{++} under salinity. These changes could perhaps be attributed to high ABA-like inhibitors and low cytokinins. The effect of cytokinins on Na^+/K^+ selectivity in leaves and cotyledons were already reported (6, 14, 18). All the above studies indicated that cytokinins cause changes in selectivity towards K^+ and Na^+ so that the

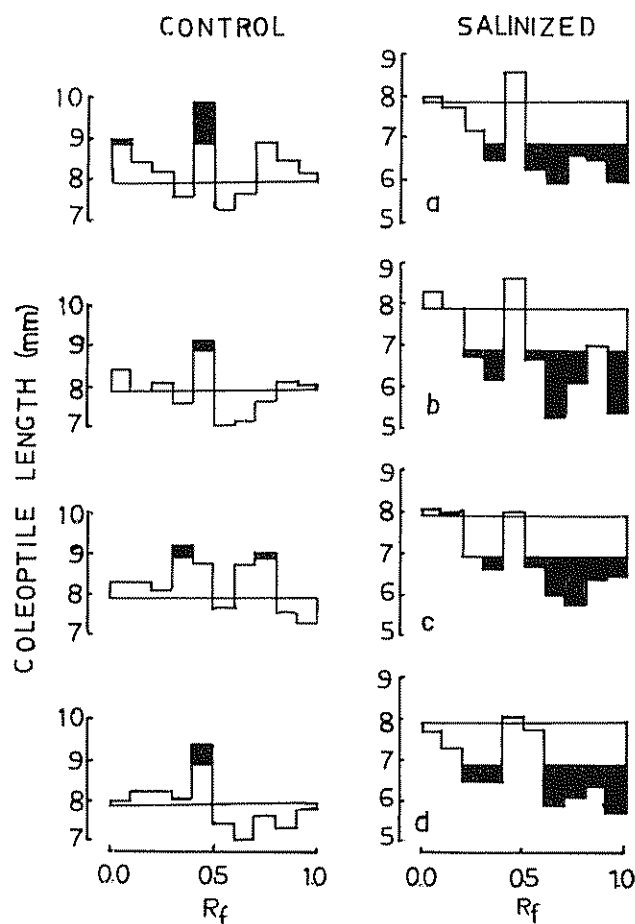


Fig 7 Effect of NaCl salinity on changes in ABA-like inhibitors in ginglelly leaves as shown by wheat coleoptile growth bioassay. Darkened areas significantly different from standards at 5% probability level. ab, b, c and d indicate states 1, 2, 3 and 4 respectively

affinity of cells of K^+ is increased while that for Na^+ is decreased. ABA on the other hand causes preference to Na^+ uptake and lowers K^+ uptake. Low amounts of potassium may even cause stomatal closure, and thus reducing water loss and CO_2 uptake

It is concluded that high levels of ABA-like inhibitors and low cytokinins play a pivotal role in adaptation to salinity in pigeon pea and ginglelly by minimising water loss, thus adjusting to the adverse water relations which are inevitably associated with salinity

Summary

Changes in stomatal characteristics, endogenous cytokinins and ABA-like inhibitors, transpiration and

cations were studied in pigeon pea and ginglelly during leaf development as influenced by salinity. Salinity resulted in reduced stomatal frequency, stomatal opening and transpiration rates. The leaves of plants grown at high NaCl salinity had their widest stomatal opening during the early hours of the day. Salt treatment resulted in lower cytokinins and higher levels of ABA-like inhibitors in both pigeon pea and ginglelly. The leaves of salinized plants showed high sodium and low potassium and calcium. The relevance of these changes in relation to adaptability of plants to salinity is discussed.

March 7, 1984

G. GURURAJA RAO*

G. RAJESWARA RAO**

* Plant Physiology Division, Rubber Research Institute of India, Rubber Board, Kottayam 686 009, Kerala, India.

** Department of Botany, Sri Venkateswara University, Tirupati 517 502, India.

Literature cited

1. FLETCHER, R. A. and McCULLAGH, D. Cytokinin induced chlorophyll formation in cucumber cotyledons. *Planta (Berlin)* 101: 88-90. 1971.
2. GALE, J. and POLJAKOFF-MAYBER, A. Interrelations between growth and photosynthesis of salt bush (*Atriplex halimus* L.) grown in saline media. *Australian Journal of Biological Sciences* 23:937-945. 1970.
3. GURURAJA RAO, G. Physiological studies on the influence of sodium chloride salinity on leaf metabolism in pigeon pea (*Cajanus indicus* Spreng) and ginglelly (*Sesamum indicum* L.). Ph. D. Thesis. Tirupati, India Sri Venkateswara University. 1980.
4. GURURAJA RAO, G. Role of epicuticular wax in adaptation to salinity stress in pigeon pea and ginglelly. *Turrialba* 33(3):287-290. 1983.
5. GURURAJA RAO, G. and RAJESWARA RAO, G. $^{14}CO_2$ incorporation into leaves of pigeon pea and sesame under salt-stress. *Journal of Nuclear Agriculture and Biology* 10:123-126. 1981.
6. ILAN, I. Evidence for hormonal regulation of the selectivity on ion uptake by plant cells. *Physiologia Plantarum* 25:230-233. 1970.

7. ITAI, C. *et al.* The role of root cytokinins during water and salinity stress. *Israel Journal of Botany* 17:187-195. 1968.
8. ITAI, C. and VAADIA, Y. Cytokinin activity in water stressed shoots. *Plant Physiology* 47:87-90. 1971.
9. JOSHI, G. V. Photosynthesis under saline conditions. PL-480 Project Final Report, Shivaji University, Kolhapur, India. 1976.
10. LENTON, J. R. *et al.* The identification and quantitative analysis of abscisic acid in plant extracts of gas liquid chromatography. *Planta (Berlin)* 96:271-280. 1971.
11. MIZRAHI, Y. Absciscic acid and cytokinin contents of leaves in relation to salinity and relative humidity. *Plant Physiology* 48:752-755. 1971.
12. MIZRAHI, Y. *et al.* Absciscic acid and transpiration in leaves in relation to osmotic root stress. *Plant Physiology* 46:169-171. 1970.
13. NITSCH, J. P. The chemistry and mode of action of plant growth substances. Wain, R. L. and Wightman, F. eds.) Butterworths, London 1956.
14. REED, M. M. and BONNER, B. A. The effect of abscisic acid on the uptake of potassium and chloride in *Avena* coleoptile sections. *Planta (Berlin)* 104:89-92. 1974.
15. SAMPSON, J. A. A method of replacing dry or moist surfaces for examination by light microscopy. *Nature (London)* 191:932. 1961.
16. SARADA DEVI, C. Stomatal characteristics and physiological changes in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under salt stress. M. Phil., Dissertation. Tirupati, Sri Venkateswara University. 1978.
17. VAN STADEN, J. The levels of endogenous cytokinins in daffodil bulbs stored under different environmental conditions. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie* 86:323-330. 1978.
18. VAN STEVENINK, R. F. M. Absciscic acid stimulation of ion transport and alteration in K^+/Na^+ selectivity. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie* 67:282-286. 1972.