

VIGOR DE ESTABLECIMIENTO DE BOLAINA (*Guazuma crinita*) EN RELACIÓN A LA FERTILIDAD DEL SUELO EN PUCALLPA¹

Miguel Ara G.²

Abstract

Bolaina is a promising tree for the establishment of silvopastoral systems in Pucallpa, however, it has shown a low initial growth rate and highly variable establishment vigor when planted in open fields. Local experience suggests that the establishment vigor of bolaina is affected by soil fertility. This study was conducted to identify which soil fertility component could best predict the variability in plant height and diameter one year after transplant. Three bolaina plantations provided 76 plants with a wide and uniform range in plant height and diameter. A composite soil sample was collected at 30 cm from the base of each plant at a depth of between 0-10 cm. Soil samples were analyzed for pH, OM, available P, and exchangeable Ca, Mg, K, and Al. By using the MAXR and STEPWISE model-selection methods it was found that Ca, and possibly Al and P were the best predictors of variability in plant height but had a low coefficient of multiple determination ($R^2=33\%$). Individually, Ca showed a linear and quadratic effect on plant height. It is apparent that bolaina requires an adequately managed soil cation exchange complex for satisfactory establishment a year after transplant.

Key words: Silvopastoral systems, bolaina

Resumen

Bolaina es una especie promisoriosa para el ensamblaje de sistemas silvopastoriles en suelos de Pucallpa. Sin embargo esta arbórea ha mostrado en campo abierto un lento crecimiento inicial y alta variabilidad en el vigor de establecimiento. Experiencias locales sugieren que el establecimiento de bolaina es afectado por la fertilidad del suelo. Este estudio fue conducido para identificar cuál de los componentes de esta fertilidad explica mejor la variabilidad en diámetro y altura de planta de bolaina a un año del trasplante. En tres plantaciones de bolaina se seleccionaron 76 individuos con un amplio y uniforme rango en altura y diámetro de tallo. A 30 cm del pie de cada planta se tomó una muestra compuesta de suelo de una sección de 0 a 10 cm de profundidad. Las muestras fueron analizadas para pH, MO, P disponible y Ca, Mg, K y Al cambiables. El uso de los métodos de selección de modelos MAXR y STEPWISE sugirió a Ca, y posiblemente Al y P, como los componentes de la fertilidad del suelo que mejor explicaban la variabilidad en altura de planta, aunque con un bajo coeficiente de determinación ($R^2=33\%$). Individualmente Ca mostró un efecto lineal y cuadrático. Al parecer bolaina requiere de un adecuado manejo del complejo de cambio de cationes para un establecimiento satisfactorio al año de trasplante.

Palabras clave: Sistemas silvopastoriles, bolaina

¹ Investigación realizada con el soporte financiero del CSI-UNMSM. Proyecto 7080101

² Estación Experimental IVITA - Pucallpa. E.mail: ivitapuc@electrodata.com.pe

Introducción

El rápido crecimiento, valor comercial de la madera, poca cobertura de dosel y profuso enraizamiento caracterizan a bolaina como una de las especies forestales promisorias para el ensamblaje de sistemas silvopastoriles en suelos ácidos de la amazonía peruana. Desafortunadamente, la mayoría de las experiencias en el manejo de esta especie tienen un sesgo forestal, dirigidas al enriquecimiento de bosques (Dirección Regional de Forestal, Fauna, y Medio Ambiente, 1991). Las experiencias iniciales de IVITA en el ensamblaje de sistemas agrosilvopastoriles en campo abierto con bolaina como especie forestal han mostrado un lento crecimiento inicial, y sobre todo, una alta variabilidad en el vigor de establecimiento (Sistema Amazónicos Sostenibles, 1994, 1995). Aun cuando esta variabilidad pueda ser genética, experiencias en Pucallpa (ICRAF, 1996) sugieren que el crecimiento inicial de bolaina es afectado por la fertilidad del suelo.

Una relación consistente entre el vigor de establecimiento de bolaina y uno o varios componentes de la fertilidad del suelo (pH, materia orgánica[MO], P disponible, K, Ca, y Mg cambiables, Al cambiante y humedad del suelo) debe permitirnos identificar cuáles de estos componentes tienen una mayor contribución a la variabilidad encontrada en el vigor de establecimiento en campo abierto y debe ayudarnos a definir opciones de manejo para su establecimiento en sistemas silvopastoriles.

El objetivo de este estudio es aproximar recomendaciones de manejo durante el establecimiento de bolaina como componente de sistemas silvopastoriles, explorando el posible efecto de la microvariabilidad de los componentes de la fertilidad del suelo sobre el desarrollo inicial

de este árbol en el ecosistema de Pucallpa.

Materiales y Métodos

Ubicación de plantaciones

Con la colaboración del Comité de Reforestación de Ucayali se identificaron tres plantaciones recientes (un año después del trasplante) de bolaina en suelos no inundables en el caserío Sarita Colonia (km 11 de la carretera Campo Verde-Nueva Requena), distrito de Campo Verde, Departamento de Ucayali. La zona está comprendida en el ecosistema Bosque Tropical Semisiempreverde Estacional (Cochrane, 1982). Los registros meteorológicos de la estación más cercana indican una temperatura media de 26.5°C y una precipitación anual de 2000 mm.

Las tres plantaciones fueron establecidas con la asistencia técnica del Comité de Reforestación de Ucayali entre agosto y octubre de 1996, después de una purma de 10 años proveniente de una pastura natural. Todas las plantaciones tuvieron un distanciamiento de 5 x 5 m y fueron fertilizadas al trasplante con 1 kg de humus de lombriz por planta. La primera plantación (Pérez) se estableció asociada con yuca, la cual había sido en gran parte cosechada al momento de muestreo. El nivel relativo de manejo se consideró como medio. La segunda plantación (Abad) estuvo limpia al momento de la evaluación y el nivel relativo de manejo se consideró como alto. La tercera plantación (Armas) tuvo un enmalezamiento considerable a pesar de los esfuerzos de despeje manual. Se consideró a esta plantación con nivel bajo de manejo.

Medición de variables

En agosto de 1997, se seleccionaron 89 plantas de bolaina en la plantación Pérez,

150 en la plantación Abad y 60 en la plantación Armas de manera que conformaran el más amplio rango posible de altura de plantas. Se midió el diámetro del tallo a 30 cm del suelo y la altura de las plantas seleccionadas, como expresión del vigor de establecimiento. En agosto de 1997, sobre la muestra anterior se seleccionaron 23 plantas en la plantación Pérez, 38 en la plantación Abad y 15 en la plantación Armas. Esta nueva selección se hizo para tener, en lo posible, un conjunto de plantas con incrementos en altura de aproximadamente 10 cm. Estas plantas fueron marcadas con cintas de polietileno. En el mismo mes se colectaron muestras compuestas de suelo en una sección de 0 a 10 cm de profundidad y en un radio de 30 cm de las plantas marcadas. Una porción de las muestras se separó para la determinación de humedad por secado a la estufa. La otra porción, después de secada al aire y tamizada por una malla de 2 mm, fue enviada al Laboratorio de Suelos para análisis de contenido de arcilla, pH, MO, P disponible, y K, Ca, Mg, y Al cambiables por métodos convencionales.

Análisis estadístico

Los resultados fueron arreglados en una matriz de datos de 76 entradas. En cada entrada figuraron las variables de respuesta: alturas y diámetros de las plantas seleccionadas y las variables independientes: características física y químicas del suelo, provenientes del análisis, incluyendo la determinación de humedad. Para introducir las variabilidad correspondiente a las diferentes plantaciones se introdujeron las variables "dummy" z y z (Draper y Smith, 1981) con valores 1 y 0 para la plantación Pérez, 0 y 1 para la plantación Abad, y 0 y 0 para la plantación Armas, respectivamente. Se elaboraron diagramas de dispersión para cada una de las variables independientes,

incluyendo las diferentes plantaciones.

El ajuste de los modelos de predicción de la variabilidad en la respuesta se realizó usando los métodos secuenciales MAXR y STEPWISE del procedimiento REG en el paquete estadístico SAS/STAT[®] 6.02 (SAS, 1985). El método MAXR selecciona inicialmente la variable independiente que produce el máximo coeficiente de determinación (R^2). Después incluye la siguiente variable que produce el máximo incremento en R^2 . Una vez que obtiene un modelo de dos variables independientes, el método realiza comparaciones con las variables independientes que aún no están en el modelo. Para cada comparación, MAXR evalúa si al quitar una variable ya en el modelo y cambiándola por otra fuera del modelo se produce un incremento en R^2 . Una vez que todas las comparaciones posibles han sido hechas, MAXR incluye la variable independiente con el máximo incremento en R^2 y empieza las comparaciones nuevamente. El método se detiene cuando ningún incremento en R^2 es obtenido.

El método STEPWISE incluye una por una todas las variables independientes que producen una significación de F igual o superior al nivel de entrada (0.15) al modelo. Sin embargo, cada vez que una variable es incluida, STEPWISE examina las variables que ya están en el modelo y elimina aquellas que no contribuyen con un nivel significativo de F al entrar la siguiente variable (Draper y Smith, 1981).

Debido a que no se tuvo una adecuada equivalencia entre las alturas o diámetros de plantas, en relación a humedad del suelo, con aquellas en relación con las otras variables independientes, humedad del suelo no fue incluida en los métodos de selección de variables independientes.

Inicialmente, sólo se examinaron

los efectos lineales de las variables independientes. Posteriormente, después del análisis de los diagramas de dispersión, se juzgó la conveniencia de introducir efectos de segundo orden o efectos cruzados sobre las variables de respuesta.

Resultados y Discusión

Un análisis preliminar de las variables de respuesta diámetro y altura de plantas mostró una alta correlación entre éstas ($R^2=0.86$, $Pr>t=0.0001$) por lo que se decidió usar solamente la última de ellas.

Diagramas de dispersión

Las Fig. 1 y 2 muestran los diagramas de dispersión de la altura de bolaina para las variables humedad del suelo, arcilla, pH, MO, P disponible, y Ca, Mg, K, y Al cambiables, para cada una de las plantaciones. El patrón de dispersión sugiere un grado de asociación entre altura de planta y las variables Ca, Mg, K, y Al,

es decir, los principales componentes del complejo de cambio del suelo. Esta asociación parece ser cuadrática negativa ($\beta_2 < 0$) para Ca, Mg y K cambiables, y cuadrática positiva ($\beta_2 > 0$) para Al cambiable. No parece haber asociación alguna entre la altura de bolaina y la humedad del suelo, el pH, y MO. Por otro lado, la asociación parece ser débilmente lineal para arcilla y P disponible.

Se observa que los valores de estas variables muestran aglomeración por debajo de ciertos niveles. En el caso de Ca éste parece ser 6.0 me/100g, en el caso de Mg parece ser 1.5 me/100g, en el caso de K es 0.4 y en el caso de Al es 0.5 me/100g. Tal desbalance puede prevenir una adecuada predicción por encima de estos niveles.

Selección de variables de predicción

El Cuadro 1 muestra el orden en que el método MAXR incluyó las variables independientes ensayadas y el R^2 resultante en cada inclusión. MAXR obtuvo incrementos

Cuadro 1. Secuencia de inclusión de variables independientes y coeficientes de determinación resultantes (R^2) efectuada por el método de ajuste de modelos MAXR.

Orden de entrada	Variable independiente	R^2
1	Ca	0.2801
2	Al	0.3007
3	P	0.3305
4	z_2	0.3393
5	Arcilla	0.3420
6 ¹	z_1	0.3434
7	K	0.3440
8	Mg	0.3445
9 ²	z_2	0.3450
10	MO	0.3452
11	pH	0.3453

1. MAXR retiró momentáneamente la variable z_2

2. MAXR incluyó nuevamente z_2

Vigor de establecimiento de bolaina

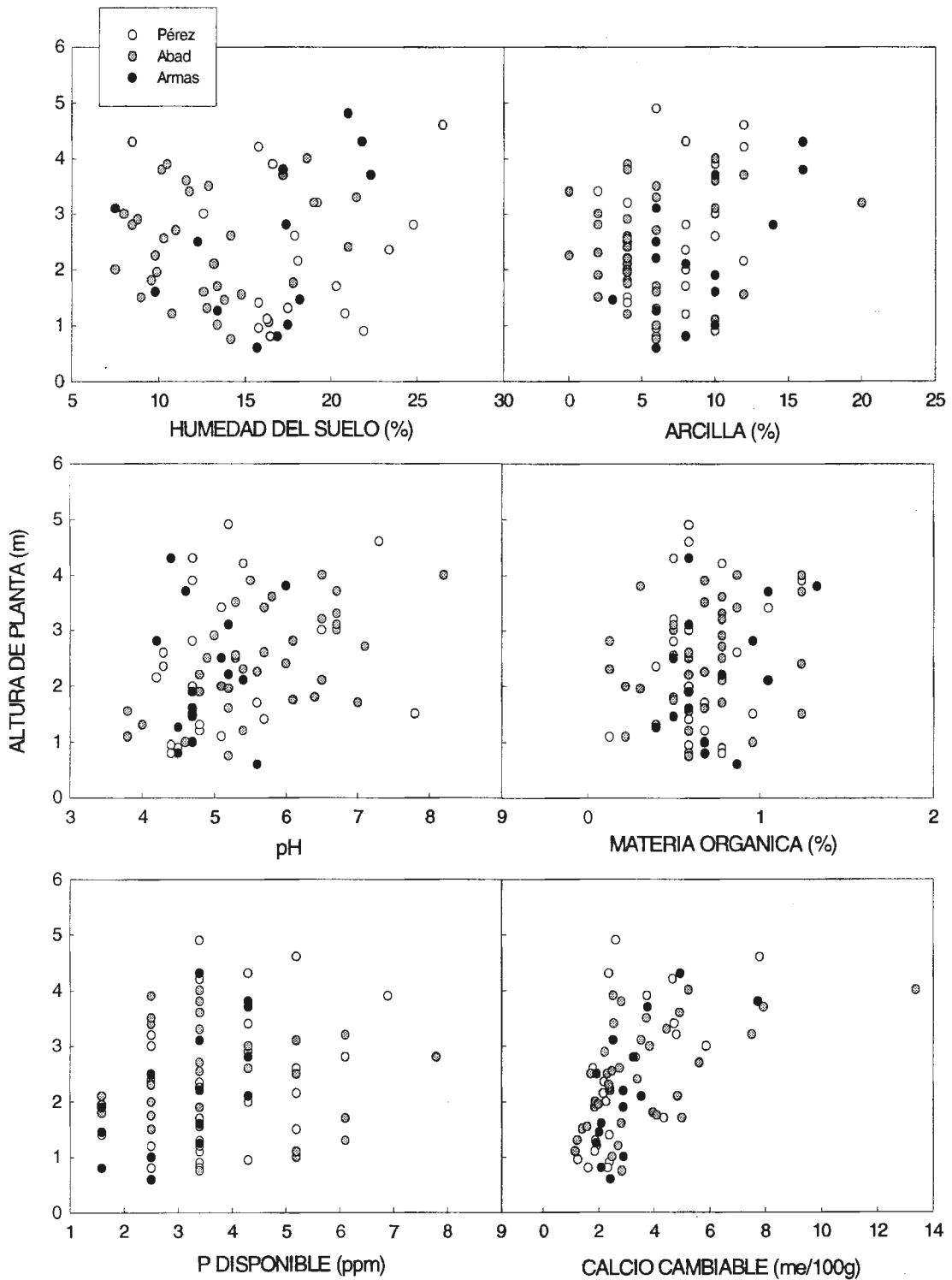


Figura 1. Diagramas de dispersión de la altura de plantas de bolaina a un año del trasplante en relación a la humedad del suelo, arcilla, pH, materia orgánica, P disponible y Ca cambiante, en tres plantaciones. Pucallpa, 1997.

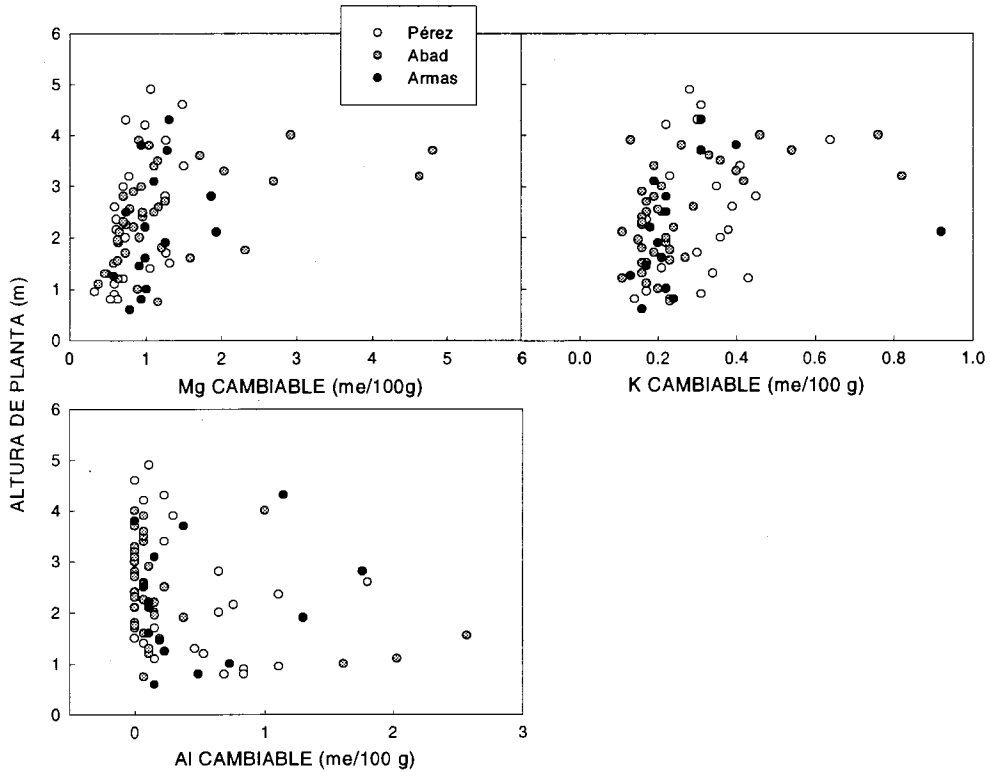


Figura 2. Diagramas de dispersión de la altura de plantas de bolaina a un año del trasplante en relación al Mg, K y Al cambiables, en tres plantaciones. Pucallpa, 1997

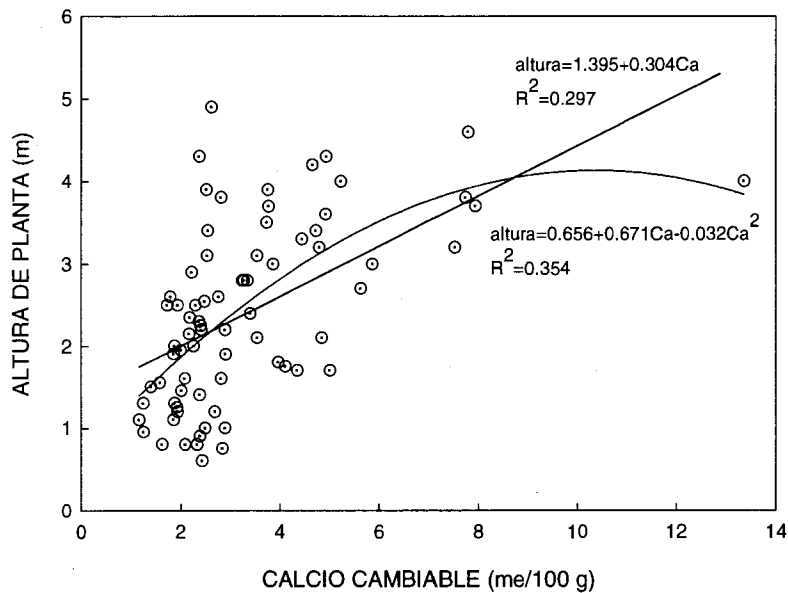


Figura 3. Efecto lineal y cuadrático del Ca cambiable del suelo sobre la altura de bolaina a un año de trasplante. Análisis de las tres plantaciones. Pucallpa, 1997.

en R^2 para todas las variables independientes estudiadas. Sin embargo, el examen de este incremento sugiere que más allá de la tercera (P) o cuarta (z_2) variable los aumentos en R^2 tienden a estabilizarse. En otras palabras, y simplísticamente, es probable que sólo Ca, Al, y P tengan poder de predicción como ser incluidos en un modelo que explique la variación en altura de bolaina encontrada en estas plantaciones. El modelo sugerido por MAXR tiene la forma:

$$\text{altura} = 1.2430 + 0.2374\text{Ca} + 0.1437\text{P} - 0.3634\text{Al}$$

Los coeficientes de determinación (R^2) asociados a estas tres variables son, sin embargo, relativamente bajos (Cuadro 1). Aun con un efecto combinado de Ca, P, y Al sólo podemos explicar 33% de la variabilidad en altura de plantas de bolaina. Esto sugiere que existen otros factores, fuera de la fertilidad del suelo, que están afectando el vigor inicial de esta especie arbórea, incluyendo factores genéticos.

El método STEPWISE, por su parte, fue más restrictivo ya que sólo incluyó la variable Ca, sugiriendo un modelo predictivo de la forma:

$$\text{altura} = 1.4808 + 0.2820\text{Ca}$$

con un R^2 de 0.2801 y un nivel de significación de 0.0001.

Los métodos de ajuste de modelos empleados sólo han seleccionado variables con efectos simples o de primer orden. Sin embargo la respuesta biológica típica de las plantas a elementos limitantes tiende a ser cuadrática más allá de un nivel crítico. Si comparamos el efecto de Ca cambiante (la única variable independiente seleccionada por ambos métodos) sobre la altura de bolaina observamos que el efecto cuadrático tiene un coeficiente de determinación mayor

que el efecto lineal (Fig. 3), es decir explica mejor la variabilidad en la altura de bolaina.

Relativamente, Ca es el elemento más abundante en el complejo de cambio del suelo, y como tal es normalmente un índice del balance catiónico del suelo. Los niveles de Ca cambiante normalmente correlacionan positivamente con los de Mg, y negativamente con los de pH y Al cambiante. La asociación significativa entre el vigor de bolaina y el contenido de Ca sugieren que esta especie arbórea requiere de un complejo de cambio adecuadamente saturado con cationes básicos para un establecimiento apropiado.

Casi no existe conocimiento acerca de la importancia relativa de los nutrientes del suelo en el establecimiento de bolaina. Se ha encontrado que esta especie responde significativamente al abonamiento con humus de lombriz (ICRAF, 1996), o a la fertilización integral con NPK (Sánchez, 1995), pero no se ha discriminado la contribución de nutrientes individuales del suelo. Sin embargo, la observación personal de que bolaina se establece mejor en suelos neutros de terrazas bajas o medias parecen soportar nuestros resultados.

Es importante enfatizar el carácter exploratorio de este estudio. De la misma manera, son necesarios ensayos controlados que evalúen la respuesta en el establecimiento de bolaina al manejo de los niveles de Ca, y probablemente Al y P en el suelo. Suponemos que aplicaciones moderadas de cal (mejor si es cal dolomítica) de alrededor de 500 kg/ha al establecimiento den por resultado plantas con 2 a 3 m de altura al año del trasplante. Con este tamaño, es posible que los plantones puedan tolerar el daño mecánico o por consumo por parte de los vacunos en un sistema silvopastoril.

Conclusiones

El análisis de la asociación entre el vigor de establecimiento de bolaina y las características de fertilidad del suelo, mediante el uso de dos métodos de selección de variables independientes, sugiere que Ca, y posiblemente Al y P, son los componentes de fertilidad que mejor explican la variabilidad en la altura de bolaina a un año del trasplante. Sin embargo, los bajos coeficientes de determinación de estos componentes, individuales o combinados, indican que otros factores ambientales y genéticos están en juego.

Es necesario complementar estos resultados con ensayos controlados que cuantifiquen la respuesta de bolaina al incremento de los cationes cambiabiles y a la reducción del Al en el suelo. Nuestra hipótesis inicial es que cantidades moderadas de cal dolomítica deben dar por resultado plantones con el vigor apropiado para tolerar el daño causado por los vacunos en sistemas silvopastoriles.

Literatura Citada

1. *Cochrane, T. 1982.* Caracterización agroecológica para el desarrollo de pasturas en suelos ácidos de América tropical. p. 23-24. En: J. M. Toledo (ed.) Manual para la evaluación agronómica. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales-RIEPT. CIAT. Cali, Colombia.
2. *Dirección Regional de Forestal, Fauna y Medio Ambiente. 1991.* Silvicultura de la bolaina blanca. Proyecto de Capacitación, Extensión y Divulgación Forestal. COTESU-INTERCOOPERATION. Pucallpa, Perú.
3. *Draper, N. R. y H. Smith. 1981.* Applied regression analysis. John Wiley & Sons. 2nd Ed. N.Y.
4. *ICRAF. 1996.* Investigación agroforestal para desarrollar sistemas ecológicamente sostenibles en la amazonía occidental. Informe final. Enero 94 a diciembre 95. International Center for Research in Agroforestry. Yurimaguas, Perú. 108 p.
5. *Sánchez, G. 1995.* Fertilización química y orgánica al establecimiento de bolaina (*Guazuma crinita* Mart.) en pasturas degradadas. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa, Perú.
6. *SAS. 1985.* SAS/STAT™ 6.02 Guide por personal computers. SAS Institute Inc. Cary, NC.
7. *Sistemas Amazónicos Sostenibles. 1994.* Informe anual 1993. UNMSM-FUNDEAGRO-CIID. Pucallpa, Perú. 78 p.
8. *Sistemas Amazónicos Sostenibles. 1995.* Informe anual 1995. UNMSM-FUNDEAGRO-CIID. Pucallpa, Perú. 78 p.