

VARIACIÓN ENTRE PROCEDENCIAS DE *Calycophyllum spruceanum* BENTH. EN LA AMAZONÍA PERUANA

Carmen Sotelo Montes¹, Héctor Vidaurre², John C. Weber³

RESUMEN

Calycophyllum spruceanum Benth. es una especie arbórea importante para madera, carbón y leña en la amazonía peruana. El primer ensayo de procedencias fue establecido en tres zonas que difieren en la fertilidad de suelo y precipitación, y son localizadas en una cuenca de la amazonía peruana. Siete procedencias de la amazonía peruana fueron probadas en todas las tres zonas. Después de 18 meses de su establecimiento fue analizada la variación en cuatro rasgos de crecimiento del árbol (altura, diámetro de fuste, número de nudos y número de ramas) y la variación en dos rasgos de la madera de ramas (densidad básica y poder calorífico). Se encontró una variación significativa relacionada a las procedencias en algunos rasgos de crecimiento del árbol en algunas zonas, pero las diferencias entre procedencias eran relativamente pequeñas. Existió mayor variación relacionada a las procedencias en la zona con mayor fertilidad de suelo y alta precipitación. El poder calorífico de la madera de ramas fue correlacionado con la latitud de la procedencia, incrementando de norte a sur, pero esto fue únicamente observado en una zona con baja fertilidad de suelo y baja precipitación. Los resultados ilustran la importancia de diferentes medioambientes en pruebas genéticas, y el potencial para la selección temprana en esta especie.

Palabras clave: genética, medioambiente, madera, crecimiento, Amazonía.

Autores son ¹ y ² MSc Forestal y ³ PhD Genetista Forestal del International Center for Research in Agroforestry (ICRAF), Apartado Postal 1558, Lima, Peru (E-mail: c.sotelo@cgiar.org).

VARIATION WITHIN PROVENANCES OF *Calycophyllum spruceanum* BENTH. IN THE PERUVIAN AMAZONÍA

Carmen Sotelo Montes¹, Héctor Vidaurre², John C. Weber³

SUMMARY

Calycophyllum spruceanum Benth is an important tree species for wood, coal and firewood in the Peruvian Amazonia. The first provenance trials were established in three areas that differ in soil fertility and precipitation, and are located in a basin of the Peruvian Amazonia. Seven provenances of the Peruvian Amazonia were tested in all the three areas. After 18 months of their establishment, variation in four features of tree growth (height, trunk diameter, number of knots and number of branches) and the variation in two features of the wood of branches (basic density and calorific power) were analyzed. A significant variation related to the provenances in some features of tree growth in some areas was found, but differences among provenances were relatively small. Higher variation related to provenances existed in the area with higher soil fertility and higher precipitation. The calorific power of the wood of branches was correlated with the latitude of the provenance, increasing from north to south, but this was only observed in an area with lower soil fertility and lower precipitation. The results illustrate the importance of different environments in genetic tests, and the potential for early selection in this species.

Key words: genetics, environment, wood, growth, Amazonia.

INTRODUCCIÓN

Calycophyllum spruceanum Benth. es un valioso árbol maderable en la amazonia peruana, con un creciente mercado nacional e internacional para muebles, paneles para pared y pisos (Toledo y Rincón 1996). Los agricultores en la amazonia peruana seleccionaron a esta especie, conocida localmente como *capirona*, como uno de sus más preferidos árboles para agroforesteria (Sotelo Montes y Weber 1997). Además de la madera, los agricultores valoran la especie para construcción de postes, carbón y leña, cuyos productos contribuyen significativamente en su economía (Labarta y Weber 1998). Los árboles pueden ser aprovechados para construcción de postes y leña después de 2-3 años de sembrado, o madera de aserrio después de 15-20 años de sembrado. Esta especie después de ser cortada tiene capacidad de producir nuevos rebrotes, permitiendo sucesivos aprovechamientos.

C. spruceanum es una especie pionera de suelos aluviales y bosques secundarios y otros sitios disturbados en las tierras bajas en el bosque húmedo tropical de Perú, Brasil, Ecuador y Colombia (Linares *et al.* 1992). El sistema de cruzamiento no ha sido caracterizado. Los árboles de esta especie tienen flores hermafroditas, y maduran en 2-3 años en condiciones a campo abierto. Una vez alcanzada la madurez, los árboles producen anualmente millones de pequeñas semillas aladas que son dispersadas por viento y agua, resultando en un flujo extensivo de genes. El análisis de diversidad molecular confirmó a) altos niveles de diversidad dentro de las poblaciones, b) pequeña diferenciación entre poblaciones, c) una general correspondencia entre distancia geográfica y distancia genética entre poblaciones, y d) una mayor diversidad genética bajo la confluencia de los mayores rios tributarios debido al flujo de genes de las poblaciones de la parte alta (Russell *et al.* 1999).

Un ensayo de procedencias de *C. spruceanum* fue establecido en 1998 para determinar a) la magnitud de variación genética en el crecimiento del árbol y rasgos de madera entre procedencias en la selva baja de la amazonia peruana; b) la variación de los rasgos varian clinalmente con la latitud y longitud; y c) el potencial de selección temprana de fuentes semilleras en diferentes pruebas medioambientales. En este artículo, nosotros presentamos los resultados del análisis de la variación en rasgos del fuste (altura, diámetro, número de nudos, número de ramas) para evaluar su potencial de crecimiento, y de la madera de ramas (densidad básica y poder calorífico) para evaluar su potencial para leña y carbón del ensayo de procedencias después de 18 meses de establecimiento.

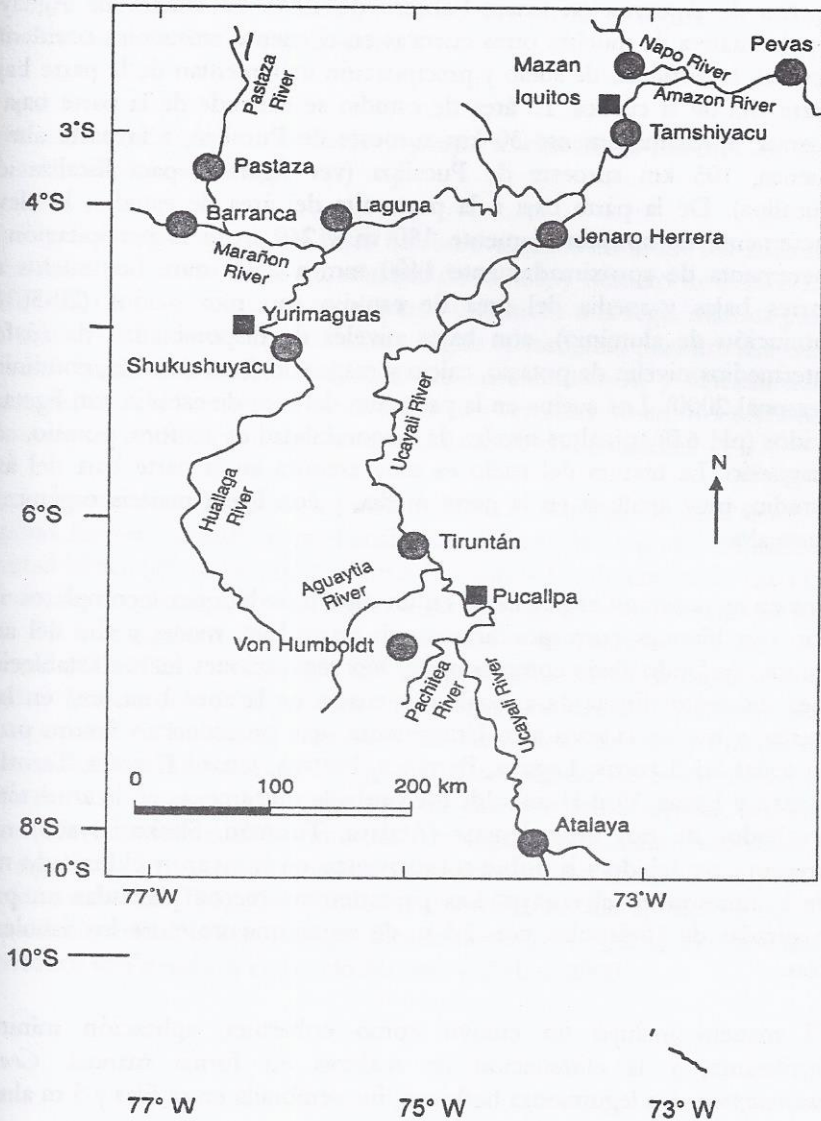
MATERIALES Y MÉTODOS

Región de muestreo, área de estudio y diseño experimental

Las semillas fueron colectadas desde un área de 500 a 700 km, extendido de aproximadamente 4° a 10° Sur, y 73° a 77° Oeste en la amazonía peruana (Figura 1). En general, la lluvia promedio anual incrementa de sur a norte y de oeste a este (rango aproximado de 1400-3200 mm), y la temperatura promedio anual incrementa de sur a norte (rango aproximado de 24-28°C) en la región muestreada. La altitud varía de 180 – 240 m sobre el nivel del mar en el sur a 150 – 180 m en el norte.

Once poblaciones naturales en siete cuencas fueron muestreadas (Figura 1): Von Humboldt en el Aguaytía; Atalaya, Tiruntán y Jenaro Herrera en el Ucayali; Shukushuyacu en el Huallaga; Pastaza en el Pastaza; Barranca y Laguna en el Marañón; Mazan en el Napo; y Tamshiyacu y Pevas en el Amazonas. En cada población identificamos 35 árboles para la colección de semillas en 1996. Los árboles individuales fueron seleccionados aleatoriamente entre árboles que tenían frutos, no mostraban síntomas de enfermedad externa, y localizados por lo menos a 100 m de cualquier otro árbol marcado para la colección. Estos criterios fueron seleccionados para asegurar muestras representativas. La latitud y longitud de cada árbol muestreado fueron registrados usando el sistema de posicionamiento global (GPS).

Figura 1. Localización geográfica de las poblaciones muestreadas de *Calycophyllum spruceanum* en la amazonia peruana para el ensayo de procedencias en la cuenca de Aguaytía de Perú. La latitud y longitud son mostradas en los ejes verticales y horizontales, respectivamente. La localización de las procedencias es indicada por los círculos. Las procedencias incluidas en el ensayo son: Barranca, Pastaza, Laguna, Mazan, Pevas, Tamshiyacu, Jenaro Herrera, y Von Humboldt (solo en la parte alta de la cuenca de Aguaytía). Las repeticiones del ensayo son localizados en la cuenca de Aguaytía en la parte sur de la región (28 - 105 km suroeste de la ciudad de Pucallpa).



El lote de semillas fue constituido por cada población por mezcla, en igual proporción de semilla de cada uno de los 35 árboles. Las semillas fueron germinadas en vivero, y fueron mantenidas durante 1 año antes de trasplantarse al campo.

El ensayo de procedencia fue establecido en un área de estudio localizado en la cuenca de Aguaytía en Enero-Febrero de 1998. La cuenca de Aguaytía es representativa de muchas otras cuencas en la cuenca amazónica occidental: en general, la fertilidad de suelo y precipitación incrementan de la parte baja a la parte alta de la cuenca. El área de estudio se extiende de la parte baja de la cuenca, aproximadamente 30 km suroeste de Pucallpa, a la parte alta de la cuenca, 105 km suroeste de Pucallpa (ver figura 1 para localización de Pucallpa). De la parte baja a la parte alta del área de estudio, la elevación incrementa de aproximadamente 180 m a 240 m, y la precipitación anual incrementa de aproximadamente 1400 mm a 2500 mm. Los suelos en las partes bajas y media del área de estudio son muy ácidos (20-50% con saturación de aluminio), con bajos niveles de disponibilidad de fósforo, e intermedios niveles de potasio, calcio y magnesio (Luis Arévalo, comunicación personal 2000). Los suelos en la parte alta del área de estudio son ligeramente ácidos (pH 6.0) con altos niveles de disponibilidad de fósforo, potasio, calcio y magnesio. La textura del suelo es muy arenosa en la parte baja del área de estudio, muy arcillosa en la parte media, y con ligera materia orgánica en la parte alta.

Los ensayos fueron establecidos en un diseño de bloques incompletos al azar, con tres bloques correspondientes a la parte baja, media y alta del área de estudio (referido abajo como zonas). Diez replicaciones fueron establecidas en diez diferentes fincas de agricultores: cuatro en la zona baja, tres en la zona media, y tres en la zona alta. Únicamente siete procedencias fueron probadas en todas las 3 zonas: Laguna, Barranca, Pastaza, Jenaro Herrera, Tamshiyacu, Mazan y Pevas. Von Humboldt fue probada únicamente en la zona alta. Los resultados de tres procedencias (Atalaya, Tiruntán, Shukushuyacu) no son presentados debido a la pobre sobrevivencia en el vivero y el limitado tamaño de la muestra en el ensayo. Las procedencias fueron plantadas en parcelas cuadradas de 16 árboles, con 2.5 m de espaciamiento entre los árboles y las filas.

El manejo incluyó un cultivo como cobertura, aplicación mínima de fertilizante, y la eliminación de malezas en forma manual. *Centrosema macrocarpum*, una leguminosa herbácea, fue sembrada entre filas y 5 m alrededor

Análisis estadístico

Se Analizaron los datos de todos los árboles sin transformación, usando programas en el paquete estadístico SAS (versión 6.12). Las transformaciones de los datos no fueron consideradas necesarias para ser reportadas, aunque ellos redujeron los coeficientes de variación.

El análisis de varianza (ANOVA) del crecimiento del fuste y propiedades de la madera de las ramas fue conducido en dos niveles – a través de zonas y entre zonas. Primero se consideró una zona dentro de la cuenca como una fuente de variación. El modelo incluía procedencia (PROC), zona (ZONA = baja, media y parte alta de la cuenca), interacción procedencia por zona (PROC x ZONA), replicación dentro de la zona (REP(ZONA)), interacción de procedencia por replicación dentro de zona (PROC x REP(ZONA)), y residual (ERROR). Después se analizó la variación separadamente dentro de cada zona. El modelo incluía PROC, REP, PROC x REP y ERROR. Todas las fuentes de variación fueron tratadas como factores aleatorios, y analizados usando el Tipo III (suma de cuadrados parcial) Prueba de SAS (System Analysis Statistics). Procedimiento del Modelo General Lineal (PROC GLM). En un análisis de datos desbalanceados, fueron usados más de un cuadrado medio para el cálculo de esperado del cuadrado medio, y la prueba de F con grados de libertad aproximados (Winer 1971). Los componentes de variancia fueron estimados usando el estimador máxima verosimilitud restringida (REML de PROC VARCOMP). Las comparaciones múltiples entre promedios de procedencias fueron hechas usando la prueba de Tukey.

Usando correlación lineal y análisis de regresión múltiple se relacionaron los clones en el crecimiento del fuste y propiedades de la madera de ramas con la latitud y longitud de las procedencias. El análisis fue hecho a través de zonas, y separadamente dentro de zonas. Únicamente las siete procedencias probadas en todas las tres zonas fueron incluidas. El promedio de latitud y longitud de cada procedencia fueron calculados desde la latitud y longitud de los 35 árboles colectados en cada procedencia. Correlaciones lineales de Pearson (r) fueron calculados entre promedios de cada rasgo de las procedencias y promedio de latitud y longitud de las procedencias. Para la regresión múltiple, un método "stepwise" fue usado para construir el modelo desde una selección de las variables independientes potenciales: latitud, longitud, interacción latitud x longitud, latitud² y longitud² (0.10 nivel de significancia para entrar y 0.05 para permanecer en la ecuación).

El análisis de los componentes principales fue usado para resumir las correlaciones entre rasgos de crecimiento de fuste y de madera de ramas. Los principales componentes fueron factorados desde la matriz de correlaciones de Pearson (r) de todos los árboles a través de las zonas, y separadamente para los árboles dentro de las zonas. Los valores estandarizados de factores ("standardized factor scores") fueron calculados para cada árbol, y el promedio para los primeros dos componentes fueron calculados para cada procedencia y se graficaron en dos dimensiones para visualizar tendencias multivariadas.

Resultados

Los promedios de la altura del fuste, diámetro, número de nudos y ramas fueron más altos en la parte alta de la cuenca y más bajos en la parte media de la cuenca (Tabla 1). Había muy poca variación en el promedio de densidad de madera y poder calorífico de las ramas entre la parte baja, media y alta de la cuenca. El promedio de los rasgos de la madera de ramas estuvieron dentro del rango encontrado en otras especies estudiadas en la amazonía peruana (Uceda 1984; Taranco *et al.* 1991; Mejía y Uceda 1992; Mori 1994).

Análisis de variancia de crecimiento de fuste y propiedades de la madera de ramas

No se encontró diferencia significativa en cualquiera de los rasgos debido a las procedencias en el ANOVA a través de las zonas (Tabla 2A). En general, la variación debido a la zona, interacción de zona por procedencia, y la replicación fue más grande para los rasgos de crecimiento de fuste que los rasgos de madera de ramas. Para casi todos los rasgos, la interacción entre procedencia y replicación dentro de las zonas fue significativa.

El análisis dentro de las zonas reveló variación significativa debido a las procedencias en algunos rasgos de crecimiento del fuste (Tabla 2B, 2C, 2D), especialmente en la parte alta de la cuenca, la cual fue la mejor en medioambiente para el crecimiento del árbol. La variación relacionada a la procedencia fue significativa para el número de nudos del fuste en la parte más baja y media de la cuenca, y para todos los 4 rasgos de crecimiento del fuste en la parte alta de la cuenca. La variación debido a la replicación y su interacción con la procedencia fue más significativa en la parte más baja de la cuenca, y menos significativa en la parte alta de la cuenca. En general, los rasgos de crecimiento del fuste variaron más entre replicaciones, que los rasgos de madera de ramas.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de rasgos de crecimiento y madera a los 18 meses en el ensayo de procedencias de *Calycophyllum spruceanum* en la cuenca de Aguaytía de Perú. Los promedios, desviaciones estandares y tamaños de muestras son dados para todos los árboles, y para los árboles en la parte baja, media y alta de la cuenca.

Rasgo	Prome- dio	Desviación estandar	Tamaño de muestra
Todos los árboles:			
Altura de fuste (cm)	354.04	116.68	1040
Diámetro de fuste (cm)	5.86	1.96	1040
Número de nudos	41.21	6.81	1040
Número de ramas	23.49	7.17	1040
Densidad de madera de ramas (g/cm ³)	0.494	0.042	781
Poder calorífico de ramas (kcal/100g)	425.01	9.58	1034
Parte baja de la cuenca:			
Altura de fuste (cm)	322.46	96.13	400
Diámetro de fuste (cm)	5.45	1.69	400
Número de nudos	40.88	6.31	400
Número de ramas	22.21	6.56	400
Densidad de madera de ramas (g/cm ³)	0.500	0.045	287
Poder calorífico de ramas (kcal/100g)	425.01	9.84	400
Parte media de la cuenca:			
Altura de fuste (cm)	276.36	81.89	304
Diámetro de fuste (cm)	4.45	1.40	304
Número de nudos	38.48	6.54	304
Número de ramas	20.51	6.78	304
Densidad de madera de ramas (g/cm ³)	0.484	0.045	196
Poder calorífico de ramas (kcal/100g)	425.03	9.97	299
Parte alta de la cuenca:			
Altura de fuste (cm)	461.90	90.97	336
Diámetro de fuste (cm)	7.63	1.26	336
Número de nudos	44.06	6.53	336
Número de ramas	27.71	6.19	336
Densidad de madera de ramas (g/cm ³)	0.496	0.034	298
Poder calorífico de ramas (kcal/100g)	425.15	8.91	335

Tabla 2A. Análisis de varianza de rasgos de crecimiento y de madera a los 18 meses en el ensayo de procedencias de *Calycophyllum spruceanum* en la cuenca de Aguaytía de Perú. La variación fue analizada entre todos los árboles (A) y separadamente dentro de la parte baja, media y alta de la cuenca (B). El valor de F calculado, su nivel de significancia, los grados de libertad (GL) de la prueba de F (GL del numerador, GL del denominador) son indicados.

Todos los árboles – modelo completo

Rasgo	Proc	Zona	Proc x Zona	Rep (Zona)	Proc x Rep (Zone)
Altura de fuste	1.83 ns (7, 12.49)	10.90 ** (2, 8.31)	2.23 * (12, 36)	12.63 *** (7, 36)	3.16 *** (36, 975)
Diámetro de fuste	0.98 ns (7, 12.55)	15.44 ** (2, 8.70)	2.01 ns (12, 36)	7.40 *** (7, 36)	3.64 *** (36, 975)
Número de nudos	1.23 ns (7, 12.19)	3.02 ns (2, 12.43)	5.77 *** (12, 36)	11.06 *** (7, 36)	1.32 ns (36, 975)
Número de ramas	0.76 ns (7, 12.61)	6.73 * (2, 9.00)	1.82 ns (12, 36)	4.32 ** (7, 36)	2.95 *** (36, 975)
Densidad de la madera de ramas	0.87 ns (7, 12.51)	1.99 ns (2, 10.51)	2.16 * (12, 36.77)	2.44 * (7, 38)	2.57 *** (36, 716)
Poder calorífico de las ramas	1.11 ns (7, 12.85)	0.07 ns (2, 7.66)	1.31 ns (12, 36.02)	3.12 * (7, 36.01)	2.85 *** (36, 969)

Niveles de significancia de F: ns =

$P > 0.05$, * = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$, *** = $P \leq 0.001$.

Algunos grados de libertad son aproximados.

2B Parte baja de la cuenca.

Rasgo	Proc	Rep	Proc x Rep
Altura de fuste	1.90 ns (6, 15)	15.53 *** (3, 15)	4.28 *** (15, 375)
Diámetro de fuste	2.35 ns (6, 15)	10.30 *** (3, 15)	4.61 *** (15, 375)
Número de nudos	3.93 * (6, 15)	13.50 *** (3, 15)	1.27 ns (15, 375)
Número de ramas	0.60 ns (6, 15)	8.60 ** (3, 15)	3.56 *** (15, 375)
Densidad de la madera de ramas	1.21 ns (6, 15.69)	3.28 * (3, 16.5)	2.00 * (15, 262)
Poder calorífico de las ramas	1.53 ns (6, 15)	2.51 ns (3, 15)	4.79 *** (15, 375)

2C. Parte media de la cuenca

Rasgo	Proc	Rep	Proc x Rep
Altura de fuste	1.83 ns (6, 10)	6.11 * (2, 12)	2.56 ** (10, 285)
Diámetro de fuste	1.25 ns (6, 10)	1.80 ns (2, 10)	3.26 *** (10, 285)
Número de nudos	3.22 * (6, 10)	19.44 *** (2, 10)	ns (10, 285)
Número de ramas	0.94 ns (6, 10)	0.32 ns (2, 10)	4.16 *** (10, 285)
Densidad de la madera de ramas	2.04 ns (6, 10.06)	0.96 ns (2, 10.22)	3.57 *** (10, 177)
Poder calorífico de las rama	0.94 ns (6, 9.98)	5.12 * (2, 10.01)	2.08 * (10, 280)

II. Parte alta de la cuenca

Rasgo	Proc	Rep	Proc x Rep
Altura de fuste	5.66 ** (7, 11)	11.85 ** (2, 11)	2.27 * (11, 315)
Diámetro de fuste	3.53 * (7, 11)	4.77 * (2, 11)	2.12 * (11, 315)
Número de nudos	8.55 ** (7, 11)	2.51 ns (2, 11)	1.73 ns (11, 315)
Número de ramas	8.74 *** (7, 11)	0.44 ns (2, 11)	0.87 ns (11, 315)
Densidad de la madera de ramas	2.66 ns (7, 10.95)	3.72 ns (2, 11.09)	2.16 * (11, 277)
Poder calorífico de las ramas	2.55 ns (7, 10.99)	2.05 ns (2, 11.01)	1.16 ns (11, 314)

La prueba de comparaciones múltiples indicó una relativa pequeña diferenciación geográfica entre las procedencias. Para la mayoría de los rasgos, se encontró considerable superposición entre los promedios de las procedencias, usando la prueba de Tukey. La única clara diferenciación fue en la parte alta de la cuenca, pero esta diferenciación fue únicamente entre Laguna y todas las otras procedencias. Los componentes de varianza también demostraron pequeñas diferenciaciones entre las procedencias. En la parte alta de la cuenca, por ejemplo, los componentes de varianza para las procedencias fueron de 1 - 18% del total de variación, dependiendo del rasgo.

Clines en los rasgos de crecimiento del fuste y de la madera de la rama

Los promedios de las procedencias para la mayoría de los rasgos no fueron significativamente correlacionados con la latitud o longitud de la procedencia. El poder calorífico de la madera de las ramas fue correlacionado positivamente con latitud (Pearson $r = 0.80$, $P < 0.05$, $n = 7$), pero únicamente en la parte baja de la cuenca. La ecuación de regresión múltiple para el poder calorífico de las ramas indicó que la única significativa variable independiente fue la interacción de la latitud por la longitud: el poder calorífico incrementó de noreste a suroeste parte de la región muestreada (pendiente = 0.046, error estándar = 0.015, $R^2 = 0.64$, $P < 0.05$).

Modelos multivariantes entre rasgos de crecimiento de fuste y la madera de las ramas

Las correlaciones fueron más fuertes entre los cuatro rasgos de crecimiento del fuste que entre los dos rasgos de la madera de las ramas (Tabla 3A). Las correlaciones entre el crecimiento del fuste y rasgos de la madera de ramas generalmente no fueron significativas. Sin embargo, en el análisis de todos los árboles, la densidad de la madera de ramas mostró una correlación débilmente positiva con el diámetro del fuste. El análisis dentro de las zonas dio resultados contrastantes: la densidad de la madera de ramas fue positivamente correlacionada con el diámetro del fuste en la parte baja de la cuenca ($r = 0.21$, $P < 0.001$, $n = 287$) pero negativamente correlacionado con el número de nudos en el fuste en la parte media de la cuenca ($r = -0.14$, $P < 0.05$, $n = 298$).

El primer componente principal resumió la respuesta correlacionada de los cuatro rasgos de crecimiento, mientras el segundo componente resumió la correlación positiva entre la densidad de la madera de la rama y poder calorífico (Tabla 3B). Estas interpretaciones fueron basadas sobre la magnitud de los vectores de cada rasgo en el análisis de todos los árboles. La interpretación de los componentes principales fue similar para el análisis de los árboles en la parte baja, media y alta de la cuenca.

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Pearson (r) y componentes principales entre rasgo de crecimiento y de madera a los 18 meses en el ensayo de procedencias de *Calycophyllum spruceanum* en la cuenca de Aguaytía de Perú. Las correlaciones fueron estimadas entre todos los árboles, y los componentes principales fueron calculados del matriz de correlaciones.

Coeficientes de correlación		Rasgo				
	Altura de fuste	Diámetro de fuste	Número de nudos	Número de ramas	Densidad de madera de ramas	Poder calorífico de ramas
Altura de fuste	-					
Diámetro de fuste	0.85 ***	-				
Número de nudos	0.65 ***	0.52 ***	-			
Número de ramas	0.63 ***	0.63 ***	0.47 ***	-		
Densidad de madera de ramas	ns	0.12 ***	ns	ns	-	
Poder calorífico de ramas	ns	ns	ns	ns	0.17 *	-

N = 781 con densidad; 1034 con poder calorífico; 1040 entre altura, diámetro, número de nudos y ramas.
 Niveles de significancia de F: ns = P > 0.05, * = P ≤ 0.05, ** = P ≤ 0.01, *** = P ≤ 0.001.
 B. Eigenectores de los primeros dos componentes principales (PC1, PC2)

	Altura de fuste	Diámetro de fuste	Número de Nudos	Número de ramas	Densidad de madera de ramas	Poder calorífico de ramas
PC1	0.532	0.549	0.453	0.456	0.046	0.018
PC2	0.071	-0.033	-0.093	0.004	0.710	0.694

PC1 y PC2 cuentan con 67% de la variación total de los 6 rasgos.

BIBLIOTECA

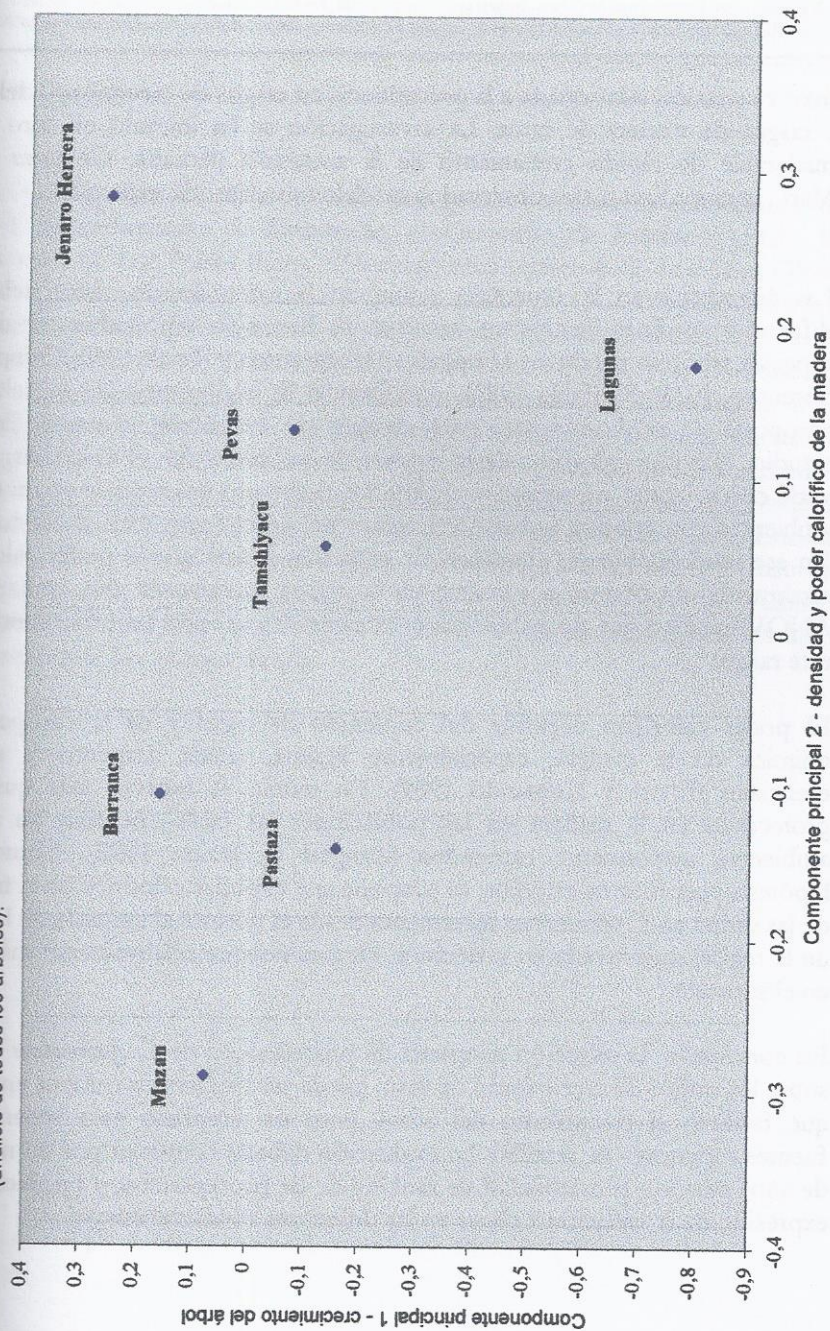
El ploteo de los valores estandarizados de factores indicó la mejor procedencia en terminos generales de crecimiento de fuste, densidad de la madera y poder calorífico de la madera de rama. En el análisis a través de las zonas (Figura 2), la procedencia de Jenaro Herrera tuvo la mejor respuesta en términos generales de crecimiento de fuste combinado con relativa alta densidad y poder calorífico de la rama. Las procedencias Pevas y Tamshiyacu también tuvieron buen comportamiento, con razonable crecimiento del fuste, densidad de la madera y poder calorífico de la madera de rama. El ploteo sugirió un agrupamiento geográfico de algunas procedencias: Tamshiyacu, Pevas y Jenaro Herrera desde la parte noreste de la región muestreada; y Pastaza y Barranca desde la parte noroeste (mapa en la Figura 1). Las otras 2 procedencias (Mazan y Laguna) no mostraron agrupación geográfica.

Discusión

Existe una pequeña diferenciación entre las procedencias de *Calycophyllum spruceanum* probadas en este estudio. En el análisis de varianza, menos del 20% de la variación en rasgos de crecimiento del fuste y madera de rama fue relacionado a las procedencias después de 18 meses en el campo, y en algunos zonas en la cuenca no había variación relacionada a la procedencia en la mayoría de los rasgos. Estos bajos niveles de diferenciación de poblaciones son consistentes con un estudio de variación genética neutral en estas especies (Russell *et al.* 1999). Bajos niveles de diferenciación de poblaciones combinado con alta diversidad dentro de la población son esperados en especies similares a *C. spruceanum*, la cual tiene potencial para dispersión de semillas y flujo de genes a larga distancia (Hamrick *et al.* 1992). La ganancia de selección temprana en *C. spruceanum* y especies similares sería relativamente baja, comparado con especies que tienen más diferenciación entre poblaciones (Namkoong *et al.* 1988).

La selección temprana de árboles maderables de rápido crecimiento similar a *C. spruceanum* puede ser más efectiva en medioambientes que faciliten el crecimiento del árbol (Campbell y Sorensen 1978). Tales medioambientes permiten la expresión de las diferencias genéticas inherentes en la tasa de crecimiento entre árboles, mientras los árboles no pueden mostrar completamente su potencial genético en medioambientes que no faciliten el crecimiento. En este estudio, la parte alta de la cuenca fue el mejor macromedioambiente para el crecimiento del árbol, y fue donde se presentó la

Figura 2. Ploteo de componentes principales de procedencias de *Calycophyllum spruceanum*. El primero es correlacionado con el crecimiento del árbol, y el segundo con la densidad y poder calorífico de la madera de ramas (análisis de todos los árboles).



BIBLIOTECA

mayor variación relacionada a la procedencia en rasgos de crecimiento del fuste y rasgos de madera de rama. La investigación se ha iniciado en otro árbol maderable de rápido crecimiento de la amazonía peruana, *Guazuma crinita* Mart., para evaluar si son observados modelos similares de expresión.

Las diferencias en la expresión y aún en la dirección de clines debido a diferentes medioambientes en los ensayos han sido reportados en algunas especies arbóreas de climas templados (Morgensten y Teich 1969; Campbell y Sorensen 1978; Rehfeldt 1983), enfatizando la importancia de la selección apropiada de medioambientes para ensayos de evaluación genética. En este estudio, el poder calorífico de la madera de las ramas fue el único rasgo que varió con la latitud o longitud, y el cline fue detectado únicamente en un medio ambiente con relativo pobre crecimiento del árbol (parte baja de la cuenca). En ese medioambiente, el análisis de regresión indicó que el poder calorífico incrementó de noreste a suroeste en la región muestreada. Sin embargo, el ANOVA indicó que no había variación significativa entre las procedencias en este rasgo.

El poder calorífico depende del contenido del agua y de la composición química de la madera, especialmente lignina, resina, terpenos y aceites esenciales (Elvira y Hernando 1989). En teoría, se esperan más químicos protectivos en la madera en las poblaciones las cuales ocurren en medio ambientes mayormente estresados (Zangerl y Bazzaz 1992). Como una hipótesis para futuros estudios, se propone que el poder calorífico de la madera de las ramas en *C. spruceanum* incrementa desde el noreste al suroeste de la parte de la región muestreada en relación al medioambiente relativamente más seco en el suroeste.

En conclusión, la selección temprana de procedencias de *C. spruceanum* basada sobre los rasgos de crecimiento de fuste puede ser efectiva en ensayos en zonas que faciliten el crecimiento del árbol, pero es temprano para recomendar fuentes superiores de semillas. La evaluación debería continuar por un número de años para ver la estabilidad de ranking de las procedencias, y cambios en la expresión de la variación y clines en las diferentes zonas del ensayo.

Agradecimientos

Esta investigación ha sido apoyada por generosos aportes económicos del Banco Interamericano de Desarrollo, el Gobierno de España (AECI), los Gobiernos de Los Países Bajos y Noruega como parte de la Iniciativa Global para las Alternativas a la Tumba y Quema (ASB) de CGIAR, el Department for International Development de Inglaterra, Winrock International como parte del Programa de Desarrollo Alternativo de USAID, y la International Timber Tree Organization (ITTO). Los autores agradecen sinceramente a los investigadores y agricultores que han participado en este proyecto durante la colección de la semilla, establecimiento del ensayo y evaluación. En particular, agradecemos Auberto Ricse, Manuel Soudre, Ymber Flores (Instituto Nacional de Investigación Agraria), Jorge Chávez (Cómite de Reforestación), Enrique Gonzales (Universidad Nacional Agraria - la Molina), Miguel Alemán (Instituto de Investigación Nutricional), y Hugo Valdivia (Consultor Forestal). También agradecemos a Ian Dawson, Greg O'Neil y revisores anónimos por sus útiles comentarios sobre el manuscrito.

Bibliografía

1. ASTM. 1976. Standard test method for gross calorific value of solid fuel by the adiabatic bomb calorimeter, pp. 290-297. In: Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
2. Campbell, R.K. and Sorensen, F.C. 1978. Effect of test environment on expression of clones and on delimitation of seed zones in Douglas-fir. Theoret. App. Genet. 51:233-46.
3. Elvira, L.M. and Hernando, C. 1989. Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid, 99p.
4. Hamrick, J.L., Godt, M.J. and Sherman Broyles, S.L. 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. New Forests 6:95-124.
5. ITINTEC. 1971a. Maderas. Método de determinación de la densidad - #251.011. Proyecto de Norma Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas, Lima, 7 p.
6. ITINTEC. 1971b. Maderas. Método de determinación del contenido de humedad - #251.010. Proyecto de Norma Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas, Lima, 2 p.
7. Labarta, R.A, Weber, J.C. 1998. Valorización económica de bienes tangibles de cinco especies arbóreas agroforestales en la Cuenca Amazónica Peruana. Revista Forestal Centroamericana 23:12-21.
8. Linares, C., Meneses, E. and Diaz, J. 1992. Monografía sobre Capiróna-*Calycophyllum spruceanum*. Proyecto Forestal ITTO PD 37/88 Utilización industrial de nuevas especies forestales en el Perú. Camara Nacional Forestal, Dirección General de Forestal y Fauna, Lima, 32 p.
9. Mejia, N.E., and Uceda, M. 1992. Poder calorífico de cinco especies de Bombacaceas. Revista Forestal del Perú 19(1):93-97.
10. Morgenstern, E.K. and Teich, A.H. 1969. Phenotypic stability of height growth of jack pine provenances. Can. J. Genet. Cytol. 11:110-17.
11. Mori, J. 1994. Influencia de la temperatura en los productos de destilación seca de seis maderas de la zona de Jenaro Herrera Loreto. Tesis de Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 131p.
12. Namkoong, G., Kang, H.C. and Brouard, J.S. 1988. Tree Breeding: Principles and Strategies. Springer-Verlag, New York, 177 p.
13. Rehfeldt, G.E. 1983. Adaptation of *Pinus contorta* provenances to heterogeneous environments in northern Idaho. Can. J. For. Res. 13:405-11.
14. Russell, J.R., Weber, J.C., Booth, A., Powell, W., Sotelo Montes, C. and Dawson, I.K. 1999. Genetic variation of riverine populations of *Calycophyllum spruceanum* in the Peruvian Amazon Basin, revealed by AFLP analysis. Molecular Ecology 8:199-204.
15. Sotelo Montes, C. and Weber, J.C. 1997. Priorización de especies arbóreas para sistemas agroforestales en la selva baja del Perú. Agroforestería en las Américas 4:12-17.

16. Sotelo Montes, C. And Weber, J.C. 2000. Variation in growth and wood traits among provenances of *Calycophyllum spruceanum* Benth. From the Peruvian Amazon. Research Report for the International Tropical Timber Organization, Fellowship Programme Reference 090/99A. International Centre for Research in Agroforestry, Lima. 80 p.
17. Taranco Marabotto, M., Cabudivo Moena, A. and Socorro C. De Cunha, M.P. 1991. Poder calorífico y pirólisis de cinco especies forestales, pp. 25-27. In: Alternativas energéticas de veinticinco especies forestales de la amazonía peruano-brasileña. Serie técnica N° 2. Red de información Forestal, Lima.
18. Toledo, E. and Rincón, C. 1996. Utilización industrial de nuevas especies forestales en el Perú. Camara Nacional Forestal, Instituto Nacional de Recursos Naturales, Organización Internacional de las Maderas Tropicales, Lima, 240 p.
19. Uceda, M. 1984. Determinación del poder calorífico de 20 especies forestales de la amazonía peruana. Revista Forestal del Perú 12:98-112.
20. Winer, B.J. 1971. Statistical principles in experimental design. Second Edition. McGraw-Hill Book Company. New York, 907 p.
21. Zangerl, A.R. and Bazzaz, F.A. 1992. Theory and pattern in plant defense allocation, pp. 363-391. In: Fritz, R.S. and Simms, E.L. (Eds.) Plant Resistance to Herbivores and Pathogens - Ecology, Evolution and Genetics. University of Chicago Press, Chicago.

1
BIBLIOTECA
1

