

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**VARIACION GENETICA E INTERACCION  
GENOTIPO-AMBIENTE EN PROCEDENCIAS  
DE Calliandra SPP EN COSTA RICA**

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa Conjunto de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar el grado de

**Magister Scientiae**

por

**José J. Campos Arce**

**Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE  
Departamento de Recursos Naturales Renovables**

Turrialba, Costa Rica  
1986

DEDICATORIA

A mis padres, José Joaquín y María Emilia

A mis hermanos y sobrinos

A mi prometida, Mary Lys

A la memoria del Ing. Nico Gewalt

## AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar el más sincero agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

Al Ing. Jan A. Bauer, Profesor Consejero y Superior Inmediato, por sus valiosas sugerencias, comprensión y ayuda, durante el desarrollo de mis estudios y del presente trabajo.

A los miembros del Comité Asesor: Dr. Rodolfo Salazar, Dr. Charles B. Briscoe, Dr. Gerardo Budowski y Dr. Donald Kass, por sus atenciones, sugerencias y recomendaciones.

Al personal del Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía, por su colaboración, amistad y estímulo; en forma particular al Ing. Valentín Jiménez, Ing. Walter Picado, Ing. Emel Rodríguez, Sr. Hugo Brenes, Sr. Walter Zúñiga, Srta. Rita Aguilar, Ing. Xinia Robles, Sra. Adela Luna, Sra. Grace Hidalgo e Ing. Gilbert Canet, por su invaluable apoyo en la ejecución de la investigación.

Al Ing. John R. Palmer por su valioso apoyo y asesoría en las diferentes etapas del presente trabajo.

A la Oficina Regional para los Programas de América Central (ROCAP), a través del Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía, por el apoyo financiero brindado para la realización de mis estudios.

## BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Santo Domingo de Heredia, Costa Rica.

Realizó los estudios secundarios en el Colegio Claretiano de la ciudad de Heredia. Los estudios universitarios los realizó en la Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" de la Universidad de São Paulo, becado por el Gobierno de Brasil y el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, graduándose de Ingeniero Forestal en 1980.

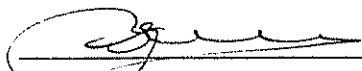
Trabaja en el Departamento de Recursos Naturales Renovables del CATIE desde 1980; hasta 1984 como Coordinador del Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía en Costa Rica y posteriormente como Silvicultor del mismo Proyecto.

En 1982 ingresó al Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales (UCR-CATIE), obteniendo en 1985 el grado de *Magister Scientiae* en Recursos Naturales Renovables en la Especialidad de Manejo de Bosques y Producción de Madera.


Esta tesis ha sido aceptada en su forma presente por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, bajo el convenio UCR-CATIE, como requisito parcial para optar al grado de

*Magister Scientiae*

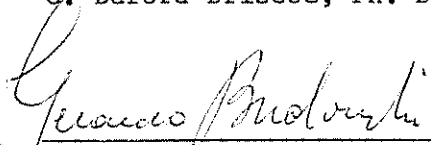
Jurado:

  
\_\_\_\_\_  
Jan A. Bauer, M.S.

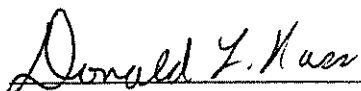
Profesor Consejero

  
\_\_\_\_\_  
C. Buford Briscoe, Ph. D.

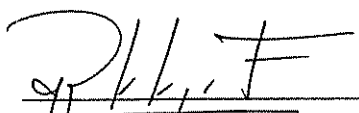
Miembro del Comité

  
\_\_\_\_\_  
Gerardo Budowski, Ph. D.

Miembro del Comité

  
\_\_\_\_\_  
Donald Kass, Ph. D.

Miembro del Comité

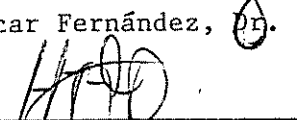
  
\_\_\_\_\_  
Rodolfo Salazar, D. Phil.

Miembro del Comité

  
\_\_\_\_\_  
Oscar Fernández, Dr. Sc.

Director, Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales UCR-CATIE.

Decano, Sistema de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica.

  
\_\_\_\_\_  
José I. Campos Arce

Candidato

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN	viii
SUMMARY	xi
LISTA DE ANEXOS	xiv
LISTA DE CUADROS	xvi
LISTA DE FIGURAS	xvii
1. INTRODUCCION .....	1
2. REVISION DE LITERATURA .....	3
2.1 La especie .....	3
2.2 Ensayos de procedencias .....	4
2.3 Interacción genotipo-ambiente .....	6
3. METODOLOGIA Y MATERIAL EXPERIMENTAL .....	9
3.1 Procedimiento general .....	9
3.2 Sitios de estudio .....	9
3.3 Especies y procedencias estudiadas .....	10
3.4 Diseños experimentales, variables evaluadas y análisis estadístico .....	14
4. RESULTADOS Y DISCUSION .....	15
4.1 Etapa de vivero .....	15
4.1.1 Variación genética entre las procedencias .....	15
4.1.2 Correlación entre el clima del origen de las procedencias y las variables evaluadas a nivel de vivero .....	17
4.2 Etapa de campo .....	18
4.2.1 Sobrevivencia .....	18
4.2.2 Número de brotes por planta .....	18
4.2.3 Area basal por planta .....	25
4.2.4 Altura total .....	25

4.2.5	Correlación entre las variables geográficas y climáticas del origen de las procedencias con el crecimiento en el campo .....	33
4.2.6	Consideraciones finales sobre el crecimiento de las procedencias en la etapa de campo .....	34
4.3	Correlación vivero-campo .....	38
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	40
6.	BIBLIOGRAFIA .....	43
7.	ANEXOS .....	52

VARIACION GENETICA E INTERACCION GENOTIPO-AMBIENTE  
EN PROCEDENCIAS DE *Calliandra* spp EN COSTA RICA

RESUMEN

*Calliandra calothyrsus* Meissn, es una Mimosaceae nativa de Centro América, que produce leña de pequeñas dimensiones, adecuada para el consumo doméstico y de algunas industrias pequeñas. Sus atributos principales son la facilidad de establecimiento en plantaciones puras o en sistemas agroforestales, producción de leña a muy corto plazo, facilidad para manejar y cosechar, y excelente capacidad para rebrotar. Su rango amplio de distribución natural, hace suponer la existencia de variación genética entre procedencias (fuentes de semilla), la cual debe conocerse antes de iniciar un programa de reforestación.

En el presente estudio se evaluó seis procedencias de *C. calothyrsus* y dos de *C. houstoniana*, durante la etapa de vivero y el primer año de crecimiento en el campo en tres sitios de Costa Rica. Los objetivos fueron: 1) cuantificar la magnitud de la variación genética entre las procedencias en la etapa de vivero y de campo; 2) estudiar el grado y patrón de correlación entre el clima del origen de las procedencias y las respuestas observadas en ambas etapas; 3) evaluar la magnitud y patrón de la interacción entre los genotipos y el ambiente; 4) estudiar el grado de correlación entre las respuestas observadas en la etapa de vivero, con las respuestas en la etapa de campo.

La etapa de vivero se llevó a cabo en San Ramón de Alajuela, de marzo a mayo de 1983 y se evaluó las dimensiones de las semillas, la germinación y el crecimiento de las plántulas hasta los tres meses en el vivero.

La etapa de campo se llevó a cabo de junio de 1983 a junio de 1984 y los experimentos se establecieron en Hojancha, Guanacaste; Turrialba y San Ramón de Alajuela. Los tres sitios presentaron diferencias marcadas en cuanto a los suelos y al clima; Hojancha presentó las mejores condiciones de fertilidad del suelo y temperaturas mayores, sin embargo, ocurre un período seco de seis meses en el cual disminuyó el crecimiento de las procedencias;



Turrialba presentó las condiciones más desfavorables de fertilidad y un contenido alto de aluminio, y en San Ramón se combinó una asociación desfavorable de clima y suelos. Se empleó un diseño de bloques completos al azar, con cinco repeticiones y parcelas útiles de 16 árboles, plantados a 2 m x 1 m. La única práctica cultural consistió en la eliminación de las malezas hasta el cierre del dosel. Las evaluaciones se realizaron a las dos semanas después de plantado, 3, 6, 9 y 12 meses. Las variables evaluadas fueron sobrevivencia, número de brotes por planta a 5 cm sobre el suelo, área basal por planta a 5 cm sobre el suelo, altura total y diámetro de la copa.

Las procedencias Hojancha y Salitrales, que son nativas de regiones más cálidas, presentaron el crecimiento mayor en el vivero, mientras que las nativas de Guatemala presentaron el menor. Una tendencia similar se observó en la etapa de campo, principalmente en Hojancha y en Turrialba.

El crecimiento de las procedencias en área basal, fue mayor en el sitio Hojancha, el cual fue 50% superior al presentado en Turrialba y casi nueve veces mayor al de San Ramón. El crecimiento en altura fue similar en Hojancha y en Turrialba, y muy inferior en San Ramón. El área basal por planta está más correlacionada con la producción de leña que la altura total. La producción mayor en Hojancha se debió a mejores condiciones de los suelos, asociado con temperaturas mayores durante la época lluviosa. En Turrialba el crecimiento fue afectado por el contenido alto de aluminio, mientras que San Ramón presentó una combinación de suelos pobres con un clima más frío y presencia frecuente de vientos.

No se encontró diferencias significativas en la sobrevivencia entre las procedencias ni entre los sitios.

Existió un efecto significativo del sitio sobre las respuestas de las procedencias, debido a que en todos los casos existió interacción genotipo-ambiente. Sin embargo, individualmente la relación lineal entre las respuestas de las procedencias con los sitios, únicamente se explicó para Birrí y Jalapa en cuanto al número de brotes por planta, y para Sanarate respecto

a la altura total. El uso de únicamente tres sitios hace difícil encontrar significancia en las regresiones individuales; para nuevos estudios sobre interacción genotipo-ambiente se recomienda evaluar como mínimo cuatro sitios.

La procedencia Hojancha presentó generalmente la menor ramificación y copas menores, mientras que Salitrales fue la procedencia más ramificada y con una copa mayor. Estas dos procedencias fueron las que presentaron además los mayores crecimientos, principalmente en los sitios Hojancha y San Ramón.

El diámetro y la altura de la plántula en el vivero, fue un buen indicador de las respuestas de las procedencias en la etapa de campo en Hojancha y San Ramón.

Se recomienda continuar este estudio luego de las cortas anuales por tala rasa, con el fin de conocer la variación en el tiempo entre las procedencias, con respecto a la capacidad de rebrote, rendimiento, longevidad del tocón y calidad de la leña.

GENETIC VARIATION AND GENOTYPE-ENVIRONMENT INTERACTION  
IN PROVENANCES OF *Calliandra* spp. IN COSTA RICA

*Calliandra calothyrsus* Meissn, of the Mimosaceae, is indigenous to Central America and produces firewood of small dimensions suitable for domestic consumption and some small industries. Its principal attributes are easy establishment in pure plantations or in agroforestry systems, production of firewood in a very short period, easy management and harvesting, and an excellent coppicing capacity. Its wide-range natural distribution, leads to suspect the existence of genetic variation between provenances (seed sources), which should be known before beginning a reforestation programme.

In the present study six provenances of *C. calothyrsus* and two of *C. houstoniana* were evaluated during the nursery stage and the first year of growth in the field on three sites in Costa Rica. The objectives were: 1) to quantify the genetic variation between provenances in the nursery and field stages; 2) to study the degree and pattern of correlation between the climate of origin of the provenances and the responses observed in both stages; 3) to evaluate the degree and pattern of interaction between genotypes and environments; 4) to study the degree of correlation between the responses in the nursery stage and in the field stage.

The nursery stage took place in San Ramón, Alajuela, from March to May 1983, and seed dimensions, germination and growth of the plants up to three months in the nursery were evaluated.

The field stage took place from June 1983 to June 1984 and the experiments were established in Hojancha, Guanacaste; Turrialba; and San Ramón, Alajuela. The three sites presented marked differences in terms of soils and climate; Hojancha showed the best soil fertility conditions and highest temperatures, but a six month dry season occurs in which the growth of the provenances was reduced. Turrialba showed the least favourable soil fertility conditions and a high aluminium content;

and San Ramón combined unfavourable climate and soils. A complete randomized block design was used with five repetitions and 16 trees for measuring per plot, planted at 2 m x 1 m. The only cultural practice consisted in weeding until the closure canopy. The evaluations were carried out two weeks, 3, 6, 9 and 12 months after planting. The variables evaluated were: survival, number of stems per plant at 5 cm above the ground, basal area per plant at 5 cm above the ground, total height and crown diameter.

The Hojancha and Salitrales provenances which are native from hotter regions, showed the fastest growth in the nursery, while provenances from Guatemala grew slowest. A similar tendency was observed in the field stage, principally in Hojancha and Turrialba.

Basal area growth of the provenances was faster on the site Hojancha, being 50 per cent higher than in Turrialba and almost nine times greater than San Ramón. Height growth was similar in Hojancha and Turrialba, and very inferior in San Ramón. Basal area per plant is more correlated with production of firewood than the total height. The greater production in Hojancha is due to better soil conditions associated with higher temperatures during the rainy season. In Turrialba growth was affected by the high aluminium content, while in San Ramón it was affected by a combination of poor soils, with a cooler climate and presence of frequent winds.

No significant differences in survival between provenances and sites were found.

A significant effect existed of the site on the responses of the provenances due to the fact that in all cases genotype-environment interaction existed, but, the linear relationship between the responses of the individual provenances and the sites, could only be explained for Birrí and Jalapa with respect to number of stems per plant and for Sanarate with respect to total height. The use of only three sites makes it difficult to find significance in the individual regressions. For new studies on genotype-environment interaction it is recommended to evaluate a minimum of four sites,

The Hojancha provenance showed generally less branching and smaller crowns, while Salitrales is a provenance with more branches and a bigger crown. These two provenances showed the fastest growth, principally in Hojancha and San Ramón.

Plant diameter and height in the nursery was a good indicator of the responses of the provenances in the field, in Hojancha and San Ramón.

It is recommended to continue this study after the first harvests with the object of knowing the variation between provenances in time with respect to coppicing capacity, yield, longevity of the stump and firewood quality.

LISTA DE ANEXOS

ANEXO No.		Página
1	Información general sobre <i>Calliandra calothyrsus</i> Meissn. ....	52
2	Ubicación de los sitios evaluados y de las procedencias recolectadas en Costa Rica .....	53
3a	Localización del ensayo de procedencias de <i>Calliandra</i> spp en Hojancha .....	58
3b	Localización del ensayo de procedencias de <i>Calliandra</i> spp en Turrialba .....	59
3c	Localización del ensayo de procedencias de <i>Calliandra</i> spp en San Ramón .....	60
4	Croquis del ensayo de procedencias de <i>Calliandra</i> spp en cada sitio .....	61
5	Sentido generalizado de la medición en los ensayos ...	62
6	Información general de la ubicación y clima de los tres sitios evaluados en el ensayo de procedencias de <i>Calliandra</i> spp .....	63
7a	Análisis químico y granulométrico de los suelos en Hojancha .....	64
7b	Análisis químico y granulométrico de los suelos en Turrialba .....	65
7c	Análisis químico y granulométrico de los suelos en San Ramón .....	66
8	Diseños experimentales, variables evaluadas, metodología y análisis estadísticos empleados en la etapa de vivero .....	67
9	Diseños experimentales, variables evaluadas, metodología y análisis estadísticos empleados en la etapa de campo .....	69
10	Análisis de variancia y prueba de Tukey para las dimensiones de las semillas de seis procedencias de <i>C. Calothyrsus</i> y dos de <i>C. houstoniana</i> .....	71
11	Porcentaje promedio de germinación, tiempo para germinar, longitud del hipocótilo y días para formar hojas después de la germinación en seis procedencias de <i>C. calothyrsus</i> y dos de <i>C. houstoniana</i> .....	72

12	Análisis de variancia y prueba de Tukey para la sobrevivencia, diámetro al cuello, altura y peso seco aéreo, radicular y total de las plántulas de <i>C. calothyrsus</i> y <i>C. houstoniana</i> a los tres meses en el vivero .....	73
13	Matriz de correlación entre algunas características del origen de las procedencias y las variables evaluadas en la etapa de vivero para <i>C. calothyrsus</i> y <i>C. houstoniana</i> .....	74
14	Porcentaje de sobrevivencia para <i>C. calothyrsus</i> y <i>C. houstoniana</i> en los tres sitios a los 12 meses de edad .....	75
15a	Análisis de variancia y prueba de Tukey para el número de brotes por planta en <i>C. calothyrsus</i> y <i>C. houstoniana</i> a todas las edades en los tres sitios .....	76
15b	Análisis de variancia y prueba de Tukey para el área basal por planta en <i>C. calothyrsus</i> y <i>C. houstoniana</i> a todas las edades y en los tres sitios .....	77
15c	Análisis de variancia y prueba de Tukey para la altura total en <i>C. calothyrsus</i> y <i>C. houstoniana</i> a todas las edades en los tres sitios .....	78
15d	Análisis de variancia y prueba de Tukey para el diámetro de copa en <i>C. calothyrsus</i> y <i>C. houstoniana</i> a todas las edades en los tres sitios .....	79
16	Diámetro de copa de ocho procedencias de <i>Calliandra</i> spp hasta 12 meses de edad en tres sitios en Costa Rica	80
17a	Efectos de la interacción genotipo-ambiente y análisis de regresión individual para el número de brotes por planta a los 12 meses de edad .....	81
17b	Efectos de la interacción genotipo-ambiente y análisis de regresión individual para el área basal por planta en cm <sup>2</sup> a los 12 meses de edad .....	82
17c	Efectos de la interacción genotipo-ambiente y análisis de regresión individual para la altura total en dm a los 12 meses de edad .....	83
18	Explicación del procedimiento en el análisis de regresión según el Programa JOYREG (PSP) .....	84
19	Matriz de correlación entre las variables climáticas del origen de las ocho procedencias y el área basal y altura en los tres sitios a los 12 meses .....	87
20	Matriz de correlación entre cinco variables de vivero y dos variables de crecimiento en el campo .....	88

LISTA DE CUADROS

CUADRO No.		Página
1	Ubicación y clima de los tres sitios evaluados en el ensayo de procedencias de <i>Calliandra</i> spp en Costa Rica .....	11
2	Características de los suelos evaluados en el ensayo de procedencias de <i>Calliandra</i> spp en Costa Rica .....	12
3	Información general de las ocho fuentes de semillas evaluadas de <i>Calliandra calothyrsus</i> y <i>C. houstoniana</i> .....	13
4	Número de brotes, área basal y altura total por planta de ocho procedencias de <i>Calliandra</i> spp a 12 meses en tres sitios en Costa Rica .....	20
5	Análisis de variancia combinado y análisis de regresión conjunta para el número de brotes y área basal por planta y altura total de ocho procedencias de <i>Calliandra</i> spp a 10 meses de edad en tres sitios de Costa Rica .....	22



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA No.		Página
1	Número de brotes por planta en ocho procedencias de <i>Calliandra</i> spp hasta 12 meses de edad, en tres sitios en Costa Rica .....	19
2	Correlación entre el número de brotes por planta y el sitio, en ocho procedencias de <i>Calliandra</i> spp en tres sitios en Costa Rica .....	24
3	Area basal por planta en ocho procedencias de <i>Calliandra</i> spp hasta 12 meses de edad en tres sitios de Costa Rica .....	26
4	Correlación entre el área basal por planta y el sitio, en ocho procedencias de <i>Calliandra</i> spp en tres sitios en Costa Rica .....	28
5	Altura total en ocho procedencias de <i>Calliandra</i> spp hasta 12 meses de edad en tres sitios en Costa Rica .....	30
6	Correlación entre la altura total y el sitio, en ocho procedencias de <i>Calliandra</i> spp en tres sitios en Costa Rica .....	32

## 1. INTRODUCCION

Más de la mitad de la madera cortada en el mundo es empleada como combustible y de este depende la mayor parte de la población en los países en vías de desarrollo (73). En la mayoría de estos países ocurren dos situaciones interrelacionadas que agravan uno de sus principales problemas que es la crisis energética: el incremento en los precios del petróleo y la escasez de la leña para la población rural y de pocos recursos económicos (27). En algunos países esta última alcanza proporciones alarmantes, afectando las condiciones de vida de las poblaciones y creando zonas de desastre ecológico que amenazan el potencial agrícola de las tierras (62). Esta situación hace necesario desarrollar algunas estrategias para promover un abastecimiento sostenido de leña; una de las principales actividades sería conducir la investigación necesaria para seleccionar las mejores especies y procedencias, así como las técnicas silviculturales más adecuadas para la producción de leña (13).

*Calliandra calothyrsus* Meissn, es un arbusto nativo de Centro América, que produce leña de pequeñas dimensiones adecuada para el consumo doméstico y de algunas pequeñas industrias; sus principales atributos son la facilidad de establecimiento en plantaciones puras o en combinación con cultivos, producción de leña a muy corto plazo, facilidad para manejar y cosechar, y excelente capacidad para rebrotar. Sin embargo, las experiencias con esta especie se limitan principalmente a Indonesia, donde fue introducida en 1936, con semillas provenientes de una sola recolección en Guatemala (72).

Los programas de reforestación requieren de la identificación y selección previa de las especies y procedencias a emplear. Sin embargo, en ambientes diferentes, las procedencias podrían mostrar variaciones en sus respuestas fenotípicas; esta variación se conoce como interacción genotipo-ambiente (35) y el conocimiento de su patrón y magnitud podría

proporcionar incrementos en las ganancias genéticas, si se seleccionan procedencias adaptadas a ambientes específicos (83).

En el presente estudio se evalúan seis procedencias de *C. calothyrsus* y dos de *C. houstoniana*, durante la etapa de vivero y el primer año de crecimiento en tres sitios de Costa Rica. Los objetivos del estudio son: 1) cuantificar la magnitud de la variación genética entre las procedencias en la etapa juvenil y madura, 2) estudiar el grado y patrón de correlación entre el clima del origen de las procedencias y las respuestas observadas en ambas etapas, 3) evaluar la magnitud y patrón de la interacción entre los genotipos y el ambiente, para las variables de crecimiento a los 12 meses y 4) estudiar el grado de correlación entre las respuestas en las etapas juveniles con las respuestas en la etapa de campo.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 La especie

*Calliandra calothyrsus* Meissn, es una Mimosaceae de porte arbustivo, que se distribuye naturalmente desde el sur de México, Centroamérica, hasta el norte de Sur América (51, 72). Crece en zonas húmedas, desde el nivel del mar hasta 1 800 msnm, pero se encuentra con mayor frecuencia entre 1 000 y 1 500 m de elevación. En Java, Indonesia, donde fue introducida en 1936 y ha sido extensamente cultivada para producción de leña y recuperación de suelos, se ha observado que crece mejor hasta los 800 msnm, con una precipitación de 2 000 a 4 000 mm anuales (72). Puede crecer en suelos pobres, ácidos, arcillosos y compactados, sin embargo, crece mejor si son livianos, ligeramente ácidos y de buena fertilidad (70, 72). No tolera suelos con mal drenaje debido a que sus raíces son muy susceptibles a deficiencias de oxígeno (76).

La leña de *C. calothyrsus* es muy popular en Indonesia (43, 72). La planta posee una notable capacidad para rebrotar y se ha reportado que rebrota aún después de 20 años o más de cortas sucesivas (43, 72, 76). También es empleada para el control de la erosión y mejoramiento del suelo. En Java es común alternar el cultivo de caliandra algunos años con los cultivos agrícolas (70, 72, 73). Puede incrementar la producción apícola (18, 73) y el ganado aprecia sus hojas que contienen 22% de proteína cruda (73, 76). Las hojas seca en forma de "pellets" son empleadas en la alimentación de ganado en Indonesia (72).

En plantaciones para leña se utilizan espaciamientos de 1 m x 1 m o 2 m x 1 m, y requiere control de las malezas únicamente durante el primer año. La primera cosecha se realiza generalmente a los dos años, a una altura de 10 a 15 cm sobre el suelo y a finales de la época seca. Posteriormente se puede cosechar anualmente durante 10 a 15 rotaciones (72, 84).

El rendimiento varía de acuerdo a la calidad del sitio, edad y espaciamiento (84). Durante el primer año, la planta puede alcanzar de 3 a 5 m de altura y 5 a 8 cm de diámetro a la altura del corte, y llega a

producir entre 5 y 20 m<sup>3</sup>/ha de leña (3 a 11 toneladas de leña seca a 80°C). Las cosechas anuales de los rebrotes, producen entre 35 y 65 m<sup>3</sup>/ha de leña (19 a 36 toneladas) (72). En Costa Rica, se encontró un incremento promedio de 30 st/ha/año (12 toneladas), en plantaciones de dos años plantadas a 2 m x 2 m; un año después la producción de los rebrotes duplicó ese rendimiento.

Debido al amplio rango de distribución natural de *C. calothyrsus*, se podría esperar que exista cierto grado de variabilidad genética asociada a la geografía, sin embargo, no se reportan resultados de estudios de procedencias para esta especie. 1/

El Anexo 1 presenta información más detallada sobre la especie.

## 2.2 Ensayos de procedencias

Smith y Zobel, citados por Palmberg (61), afirman que habría pérdidas enormes en las ganancias potenciales, si se desconoce la fuente de semilla; ellos, manifiestan la importancia de que dicha fuente sea considerada e investigada detenidamente, antes de formalizar un programa de mejora genética. Shelbourne (67), considera que la selección y mejoramiento de árboles, y el establecimiento de huertos semilleros, estarían muy mal fundamentados si no se conoce la variación dentro de la especie. Wright (80), menciona que entre procedencias de algunas especies, se han encontrado diferencias en el crecimiento de hasta cuatro veces y que por tanto el genetista debe estar seguro que posee la mejor procedencia, antes de iniciar cualquier trabajo de mejora genética.

El estudio de procedencias persigue entre otras cosas, la cuantificación de la variación genética y ambiental entre árboles de diferentes orígenes geográficos (14). Langlet, citado por Callahan (14), considera la investigación de procedencias, como el estudio de la variabilidad ecológica dentro de la especie, la relación entre esa variabilidad y la in-

---

1/ Dr. K.F. Wiersum. Comunicación personal. Universidad de Wageningen, Holanda, 1983.

fluencia del medio ambiente, y las reacciones de poblaciones diferentes al desplazamiento a un medio ambiente extraño. Mediante estos estudios, se debe seleccionar pocas procedencias, aptas para la obtención de productos forestales deseados, en sitios relevantes (11).

En especies nativas, las fuentes locales generalmente son las mejor adaptadas, pero no necesariamente las más productivas (9, 14, 24); sin embargo, no siempre la más apropiada es la de mayor crecimiento; en algunas situaciones debe considerarse la resistencia a heladas o sequías, producción de semillas, idoneidad para uso como rompevientos o rompefuegos, control de erosión o conveniencia para plantar en sistemas agroforestales (9, 13, 11, 77). Burley (13), menciona que la mejor especie para leña o carbón, no necesariamente será la mejor para madera de aserrío, sin embargo, en algunos casos, ésta debe satisfacer otras demandas y beneficios adicionales. Las características por considerar en la selección de especies para leña son: sobrevivencia, crecimiento y producción de leña, facilidad de establecimiento, manejo y manipuleo, disponibilidad de semillas, capacidad de rebrote, y las características de la madera para combustible (11).

Aunque no es una norma obligatoria, la mayoría de los autores reconocen tres fases en los ensayos de procedencias: una primera que incluye procedencias de toda el área natural, la segunda que trata con procedencias selectas, y finalmente la fase de comprobación de procedencias. Sin embargo, en ciertos casos se puede llevar a cabo dos fases a la vez (9, 14, 77, 80), o inclusive efectuar ensayos de especies y procedencias conjuntamente (24).

Según Wright (80), la variabilidad genética dentro de una especie, es influenciada generalmente por el rango de distribución natural, la diversidad ambiental dentro del área natural, y el grado de discontinuidad en su rango natural. El patrón de esa variabilidad genética puede ser continuo (clinal) o discontinuo (ecotípico), y resulta de utilidad práctica conocer el tipo de variación que presenta la especie. Según el mismo autor, existe evidencias de ciertas tendencias en la variación

geográfica para algunas especies de zonas templadas, las cuales son gobernadas por la latitud, la precipitación, o la elevación del origen de las semillas.

Cierto grado de ganancias podría obtenerse con pruebas y selecciones tempranas, si existiera alguna correlación entre las características de etapas juveniles, con el comportamiento en la etapa adulta (23, 28, 71). Roche en 1968, propuso estudios de procedencias a corto plazo, como un medio para determinar la adaptabilidad juvenil de ciertos genotipos a localidades o ambientes particulares (71). Según Franklin (28), la intensidad de selección en la etapa juvenil puede ser más alta debido a su mayor facilidad y costo menor, obteniéndose ganancias genéticas y por tanto económicas en menor tiempo. El mismo autor menciona que se ha encontrado correlación juvenil-maduro para el crecimiento, pero que ésta debe emplearse con cierto escepticismo, debido a que esa variable es muy susceptible a variaciones ocasionadas por cambios en el ambiente.

### 2.3 Interacción genotipo-ambiente

El genotipo de un individuo únicamente puede ser evaluado por su fenotipo, o el de sus progenitores y progenies. Los efectos del genotipo y el ambiente no son aditivos, y por tanto habrá variación en la respuesta fenotípica de los genotipos a las diferentes condiciones ambientales. Esta variación se conoce como "interacción genotipo-ambiente" (35, 67).

Cuando ocurre esta interacción, el comportamiento de los genotipos será inconsistente, lo que resulta en alteraciones en las posiciones, o en cambios en las diferencias absolutas entre los genotipos conforme se cambia el ambiente (41, 64).

Squillace en 1970, citado por Namkoong (56), menciona que en especies forestales, la ocurrencia de este fenómeno es mayor para características cuantitativas que cualitativas. Su importancia práctica depende de la magnitud (5) y del patrón que sigue; si ambos son conocidos, se podría hacer predicciones que lleven a una ganancia genética significativa (8).

Dependiendo del objetivo, la selección puede favorecer genotipos ampliamente adaptados o aquéllos adaptados a algún ambiente en particular (48, 55, 57). Con frecuencia, se encuentra una o varias procedencias que se comportan bien en varios ambientes en comparación con las demás (53). Si la interacción es baja, la selección se hará con base en el comportamiento general de cada procedencia (64).

Según Matheson (53), la principal consecuencia de la interacción genotipo-ambiente es que la correlación entre el genotipo y el fenotipo se reduce, lo que podría reducir la precisión de la selección para varios ambientes.

Revisiones detalladas de las técnicas de análisis para este tipo de interacción se encuentran en Freeman (31 y 32) y Hill (41). Los métodos de análisis más usados han sido los modelos de regresión (35). Knight (48) y Freeman y Dowker (30), mencionan que el comportamiento de los genotipos en un rango de ambientes, se puede aproximar a una relación lineal con el ambiente. El método de análisis más conocido es el análisis de regresión conjunta, que consiste en la regresión del rendimiento de cada genotipo, sobre el promedio de todos los genotipos en cada ambiente; este último valor se conoce como índice ambiental (7, 30, 35). Este modelo de análisis fue propuesto inicialmente por Yates y Cochran (82) y posteriormente utilizado por Finlay y Wilkinson (25) y por Perkins y Jinks (63). Varias objeciones estadísticas se le han señalado a este método, la principal es la escogencia del índice ambiental, debido a que no existe independencia del genotipo respecto del índice (35). Freeman y Perkins (29), mencionan que sería muy deseable medir el efecto ambiental con un valor no relacionado con el organismo en estudio, pero en la práctica resulta muy difícil.

En el análisis de regresión conjunta, el efecto lineal del ambiente en los genotipos es estimado por la suma de cuadrados debida a la regresión, mientras que la suma de cuadrados debida a las desviaciones de la regresión estima los efectos no lineales (53). Se ha utilizado el valor de la pendiente de la regresión de cada genotipo para describir su estabili-



dad en el comportamiento según el ambiente (25). Eberhart y Russell en 1966 usaron las desviaciones de la regresión lineal como parámetros de estabilidad de las procedencias (32). Binswanger y Barah (7) proponen un método para seleccionar genotipos basado en la estabilidad, (la cual definen como la variación del rendimiento del genotipo en el tiempo) y en la adaptabilidad.

### 3. METODOLOGIA Y MATERIAL EXPERIMENTAL

#### 3.1 Procedimiento general

El estudio se desarrolló en dos etapas: una etapa de vivero y una de campo. En la primera, el objetivo fue evaluar la variabilidad genética entre las especies y procedencias de *Calliandra*, con respecto a algunas características de las semillas y de las plantas hasta tres meses de edad, así como estudiar el grado de correlación entre el clima de los lugares de origen y esas mismas características.

En la etapa de campo, el objetivo fue evaluar en tres sitios, la variabilidad genética entre las poblaciones con respecto a algunas variables de crecimiento, detectar la existencia de interacción genotipo-ambiente, y estudiar el patrón de comportamiento de las procedencias de acuerdo con las condiciones agroclimáticas del origen de las semillas de cada una de ellas y de los tres sitios donde se establecieron los ensayos. Con los resultados obtenidos en ambas etapas, fue posible estudiar el grado de correlación entre las variables de la etapa juvenil y las de la etapa madura.

La etapa de vivero se desarrolló de marzo a mayo de 1983 y la de campo de junio de ese año a junio de 1984.

#### 3.2 Sitios de estudio

La etapa de vivero se llevó a cabo en el CATIE, Turrialba, para evaluar las dimensiones de las semillas; a partir de la fase de germinación de las semillas, las evaluaciones se llevaron a cabo en el vivero forestal del Proyecto Leña en Piedades Norte de San Ramón.

Los ensayos de campo se establecieron en Hojancha de Guanacaste, Piedades Sur de San Ramón y Florencia Sur de Turrialba; en condiciones diferentes de clima y suelos. Los Cuadros 1 y 2, presentan la información

general sobre la ubicación, clima y suelos de los tres sitios, y en los Anexos 2, 3, 6, y 7 se da más detalle sobre lo mismo.

Hojancha es el sitio más cálido, con una marcada concentración de las lluvias (90%) en seis meses del año. El suelo es fuertemente ácido en la superficie y ligeramente ácido a mayores profundidades. Presenta contenidos bajos de aluminio y altos en calcio y magnesio, lo que resulta en porcentajes de saturación de aluminio menores a 1%.

Turrialba es el sitio más húmedo, la temperatura es intermedia entre Hojancha y San Ramón. El suelo es el más ácido, con un pH de 4,2 y un porcentaje de saturación de aluminio sumamente alto (45% en la superficie hasta 65% a mayores profundidades). Presenta contenidos bajos de fósforo, potasio, calcio y magnesio, y los mayores contenidos de arcilla.

San Ramón es el sitio más frío, además es frecuentemente afectado por vientos fuertes y neblina, principalmente durante la época seca. El suelo presenta un pH próximo a 5 y no tiene problemas serios con el aluminio. El contenido de fósforo, calcio y magnesio es bajo, y muy alto para el cobre. Es el menos arcilloso de los tres sitios.

### 3.3 Especies y procedencias estudiadas

El material experimental consistió de seis procedencias de *Calliandra calothyrsus*, la especie de interés, y dos procedencias de *Calliandra houstoniana*, incluidas como comparadores. De las procedencias de *C. calothyrsus*, cuatro fueron recolectadas en el país en vegetación natural, una de plantaciones establecidas en 1981 con semillas de Indonesia, (ex-Guatemala), la sexta se obtuvo de Guatemala, y ha sido considerada como *C. calothyrsus* no típica <sup>1/</sup>. Las dos procedencias de *C. houstoniana* fueron recolectadas en Guatemala. El Cuadro 3 resume información general sobre cada una de las procedencias estudiadas.

---

<sup>1/</sup> Ing. Ben Chang. Comunicación personal. Banco Latinoamericano de Semillas Forestales, BLSF, CATIE, Turrialba, 1983.

Cuadro 1. Ubicación y clima de los tres sitios evaluados en el ensayo de procedencias de *Calliandra* spp en Costa Rica

Table 1. Location and climate of the three sites evaluated in the provenance trial of *Calliandra* in Costa Rica

Sitio <u>1/</u>	Latitud <u>2/</u> (N)	Longitud <u>3/</u> (W)	Elevación <u>4/</u> (msnm)	Precipitación <u>5/</u> media anual (mm)	Meses con <u>6/</u> déficit hídrico según Holdridge	Temperatura promedio <u>7/</u> (°C)	Zona de <u>8/</u> vida según Holdridge
					Max. Min. Prom.		
1. Cuesta Blanca Hojancha	10°02'	85°26'	420	2219	6	31,3 20,0 24,6	bh-T
2. Florencia Sur CARTI, Turrialba	9°53'	83°40'	630	2638	1	26,9 17,8 21,7	bmh-P
3. Piedades Sur San Ramón	10°07'	84°34'	1230	3433	4	26,9 13,9 20,1	bmh-P

1/ Site

5/ Mean annual precipitation

2/ Latitude

6/ Months with water deficit according to Holdridge

3/ Longitude

7/ Mean temperature: maximum, minimum and mean

4/ Elevation (m.a.s.l.)

8/ Life zone according to Holdridge

Cuadro 2. Características de los suelos evaluados en el ensayo de procedencias *Calliandra* spp en Costa Rica

Table 2. Characteristics of the soils in the sites evaluated at the provenance of *Calliandra* spp in Costa Rica

Sitio 1/	Profundidad 2/ (cm)	pH	Al meq/100 ml suelo	Ca	Mg	K	P	Zn ug/ml suelo	Mn	Cu	Saturación 3/ de Al (%)	Materia 4/ orgánica (%)	Textura 5/
1. Cuesta Blanca Hojancha	0 - 5	5,3	0,20	22,0	7,50	0,39	2	3,0	15	8	0,7	7,5	FA
	5 - 20	5,6	0,19	21,7	7,1	0,38	2	2,0	13	8	0,7	6,8	FAL
	20 - 40	5,9	0,15	23,7	9,2	0,30	2	1,1	6	12	0,5	2,9	AL
	80 -100	6,3	0,12	29,7	14,1	0,13	3	0,9	1,8	8	0,3	0,9	FA
2. Florencia Sur CATE, Turrialba	0 - 5	4,2	2,85	1,8	1,1	0,13	5	3,2	16	16	45	10,2	A
	5 - 20	4,2	2,65	1,5	0,7	0,08	4	3,0	7	18	52	8,7	A
	20 - 40	4,2	2,90	1,4	0,6	0,04	3	2,6	4	17	60	7,4	A
	80 -100	4,2	2,55	1,1	0,5	0,03	4	2,3	3	23	62	3,3	A
3. Piedades Sur San Ramón	0 - 5	4,8	0,32	2,9	0,9	0,27	2	2,1	23	21	7,7	8,0	F-FA
	5 - 20	5,0	0,22	2,3	0,6	0,29	2	2,9	16	30	7,0	5,9	F
	20 - 40	4,9	0,21	1,6	0,4	0,29	2	3,4	16	37	8,9	2,5	F
	80 -100	4,8	0,39	1,1	0,3	0,23	2	5,8	12	43	19,2	1,3	FA-FAa

1/ Site

2/ Depth

3/ Aluminium saturation

4/ Organic matter

5/ Texture

A = Arcilloso (clay)

AL = Arcillo limoso (silty clay)

F = Franco (loam)

FA = Franco arcilloso (clay loam)

FAL = Franco arcillo limoso (silty clay loam)

FAa = Franco arcillo arenoso (sandy clay loam)

Cuadro 3. Información general de las ocho fuentes de semillas evaluadas de *Calliandra calothyrsus* y *C. houstoniana*  
 Table 3. General information of the eight seed sources evaluated of *Calliandra calothyrsus* and *C. houstoniana*

Procedencia <u>1/</u>	Especie <u>2/</u>	Nº BLSF	Latitud <u>3/</u> (N)	Longitud <u>4/</u> (W)	Elevación <u>5/</u> (msnm)	Precipitación <u>6/</u> promedio anual (mm)	Meses con <u>7/</u> déficit hídrico según Holdridge	Temperatura <u>8/</u> promedio (°C) max. min. med.
Hojancha, C.R. Ex Indonesia Ex Guatemala	<i>C. calo- thyrsus</i>	1472	10°03'	85°26'	350	2235	6	31,3 20,0 24,6
Salitrales Puriscal, C.R.	"	1470	9°46'	84°19'	1000	2471	6	26,0 16,6 21,2
La Ceiba, Ala- juela, C.R.	"	1471	10°02'	84°13'	1010	1909	5	27,5 17,0 21,3
Birrí, Barva Costa Rica	"	1469	10°05'	84°08'	1500	2132	4	21,7 14,5 17,3
Tejar, Cartago Costa Rica	"	1468	9°49'	83°56'	1500	1502	5	24,5 12,8 18,6
Sanarate, Guatemala**	<i>C. calo- thyrsus</i> no típica	1573	14°47'	90°12'	812	534	11	30,4 17,4 21,3
San Raymundo Guatemala**	<i>C. hous- toniana</i>	1572	14°47'	90°27'	1240	763	8	27,8 14,8 18,7
Jalapa Guatemala**	"	1571	14°38'	89°59'	1362	937	8	25,7 15,3 20,8

\* Nº de lote del Banco Latinoamericano de Semillas Forestales, (seed lot number Latin American Forest Tree Seed Bank) CATIE.

\*\* Comunicación personal del Ing. Héctor Martínez, anterior Residente del CATIE en Guatemala (Personal communication, Ing. Héctor Martí-  
 nez CATIE's former Resident in Guatemala).

1/ Provenance 3/ Latitude 5/ Elevation (m.a.s.l.) 7/ Months with water deficit according to Holdridge

2/ Species 4/ Longitude 6/ Mean annual precipitation 8/ Mean temperature: maximum, minimum and mean

### 3.4 Diseños experimentales, variables evaluadas y análisis estadístico

El tamaño de las semillas y algunas características de la germinación, se evaluaron a través de un diseño irrestrictamente al azar (DIA), con cinco repeticiones; se empleó parcelas de 10 y 50 semillas respectivamente. Para estudiar el crecimiento de las plántulas a los tres meses en el vivero, se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con cuatro repeticiones y 25 plantas por parcela. Más detalle al respecto aparece en el Anexo 8.

Para evaluar el crecimiento en el campo, se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cinco repeticiones y una parcela útil de 16 árboles (4 x 4), con un borde simple. Además, se plantó una línea de borde para la parte externa de cada experimento. El espaciamiento utilizado fue 2 m x 1 m, que generalmente es lo recomendable en plantaciones para leña con *C. calothyrsus*. Las variables evaluadas durante esta etapa fueron: sobrevivencia, altura total, diámetro de la copa, número de brotes a 5 cm sobre el suelo y área basal a 5 cm sobre el suelo. Las evaluaciones se realizaron 15 días después de la plantación, como punto de partida y luego a los 3, 6, 9 y 12 meses (esta última evaluación representa aproximadamente la mitad de la rotación para la especie).

Los datos fueron analizados en una IBM 4331; se utilizó principalmente el Palmer's Statistical Package (PSP)<sup>1/</sup>, mediante los programas ANOVAR, para los análisis de variancia simples y combinados de los tres sitios, y el JOYREG, para estudiar la interacción genotipo-ambiente.

Para todos los estudios de correlación, tanto de la etapa de vivero como de campo, se empleó el Statistical Analysis System (SAS)<sup>2/</sup>.

Más información sobre este aspecto para la etapa de campo aparece en el Anexo 9.

<sup>1/</sup> Palmer's Statistical Package (PSP), desarrollado por Heather J. Palmer, Programa Británico de Cooperación Técnica.

<sup>2/</sup> Statistical Analysis System (SAS). Sistema de programas de computadora para análisis de datos. SAS Institute Inc. Cary N.C.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

##### 4.1 Etapa de vivero

###### 4.1.1 Variación genética entre las procedencias

Se encontró diferencias estadísticas al nivel de 0,1% entre las procedencias en la longitud, ancho y espesor de las semillas; el porcentaje de variación genética en cada una de las tres variables fue 64%, 89% y 95% respectivamente. El Anexo 10 resume los resultados del análisis de variancia y de la prueba de Tukey. Por lo general, las dos procedencias de *C. houstoniana* fueron estadísticamente diferentes a las de *C. calothyrsus*. La longitud de las semillas en las primeras varió de 7,3 a 7,7 mm, mientras que en *C. calothyrsus* fue de 7,9 mm (Hojancha) a 8,5 mm (Tejar). El ancho de las semillas en *C. houstoniana* fue de 4,9 a 5,1 mm, y en *C. calothyrsus* varió de 5,5 mm (Hojancha), a 6,1 mm (Sanarate). Únicamente el espesor de las semillas fue mayor en *C. houstoniana* (2,5 y 2,6 mm), mientras que *C. calothyrsus* presentó de 1,7 mm (Hojancha) a 1,9 mm (Tejar). La procedencia Hojancha presentó dentro de la especie *C. calothyrsus* las dimensiones menores en las tres variables.

No fue posible realizar el análisis de variancia y la prueba de Tukey en las variables evaluadas en la fase de germinación, debido a que se superó el número máximo de datos faltantes permitido por el programa ANOVAR, por causa de la germinación baja y heterogénea. El Anexo 11 presenta los resultados parciales obtenidos en el porcentaje, período y tiempo promedio para germinar, longitud del hipocótilo y días para formar las hojas después de la germinación. Sanarate, Hojancha y Salitrales presentaron la más baja germinación (18%, 20% y 21% respectivamente), mientras que la mayor se dió para Tejar, Birrí y la Ceiba (36%, 34% y 32% respectivamente). Las procedencias que germinaron más rápidamente fueron La Ceiba y Sanarate (7 y 9 días en promedio respectivamente), mientras que la que tardó más tiempo fue



Birrí, con un promedio de 17 días. Existió una diferencia muy marcada entre especies en la longitud del hipocótilo; el hipocótilo de *C. houstoniana* midió 5 y 6 mm, mientras que en *C. calothyrsus* varió de 27 a 31 mm.

Se encontró diferencias estadísticamente significativas (al nivel de 1%) en la sobrevivencia de las plántulas a los tres meses en el vivero; la prueba de Tukey separa a San Raymundo que presenta la sobrevivencia menor (80%) de todas las demás (89% Hojancha hasta 98% Jalapa).

Existió diferencias estadísticas (al nivel de 0,1%) en el diámetro del cuello y altura de las plantas a los tres meses en el vivero; el porcentaje de variación genética en estas variables fue 57% y 89% respectivamente. Las procedencias de *C. houstoniana* y la procedencia Sanarate (*C. calothyrsus*) oriundas de Guatemala, presentaron los valores menores en ambas variables (3,2 a 2,7 mm para el diámetro, y 11 a 30 cm para la altura). Salitrales y Hojancha (ex Indonesia ex Guatemala) fueron las mayores (4,5 mm para el diámetro, 46 y 37 cm respectivamente para la altura). Una tendencia similar como se verá más adelante se manifestó en la etapa de campo.

El peso seco aéreo, radicular y total de las plántulas a los tres meses en el vivero, mostró diferencias estadísticas menores; el porcentaje de variación genética en estas variables fue 45%, 30% y 42% respectivamente. San Raymundo (*C. houstoniana*) presentó los valores menores para las tres variables. Salitrales, Birrí y Hojancha presentaron los valores mayores de peso seco aéreo (25, 24 y 24 gramos respectivamente), La Ceiba, Hojancha y Birrí para el peso seco radicular (11, 9 y 9 gramos respectivamente), y para el peso seco total las mayores fueron Birrí, Salitrales y Hojancha (34, 33 y 33 gramos respectivamente).

El Anexo 12 resume los resultados de los análisis de variancia y pruebas de Tukey para las variables evaluadas a los tres meses en el vivero.

#### 4.1.2 Correlación entre el clima del origen de las procedencias y las variables evaluadas a nivel de vivero.

El Anexo 13 presenta la matriz de correlación entre las variables climáticas del origen y las variables evaluadas en la etapa de vivero.

La temperatura mínima y promedio anual del origen de las procedencias mostraron una correlación significativa al nivel de 5% con el tamaño de las semillas (producto de las tres dimensiones evaluadas) y con el porcentaje de germinación. Se observó una tendencia climática en la cual conforme aumentó la temperatura del origen, disminuyó el tamaño y el porcentaje de germinación. Salazar <sup>1/</sup>, encontró resultados similares para procedencias de *Gliricidia sepium* de Guatemala y Costa Rica, Griffin y Ching (37), reportaron tendencias similares para *Pseudotsuga menziesii*.

Se encontró correlación significativa al nivel de 1% y 5% entre la latitud y la precipitación del origen, con el crecimiento en diámetro y altura de las plantas en el vivero, sin embargo, esta correlación es debida principalmente a que las dos procedencias de *C. houstoniana* que presentaron el menor crecimiento en el vivero, son oriundas de localidades de latitud mayor y precipitación menor.

---

<sup>1/</sup> Dr. Rodolfo Salazar. Comunicación personal. Departamento de Recursos Naturales Renovables, CATIE, Turrialba, 1985.

## 4.2 Etapa de campo

### 4.2.1 Sobrevivencia

La sobrevivencia promedio de las procedencias a los 12 meses en los tres sitios, fue generalmente superior a 90% y no existió grandes diferencias entre las procedencias ni entre los sitios (ver Anexo 14). Generalmente las procedencias que presentaron las sobrevivencias mayores, mostraron como se discute más adelante, los mayores crecimientos en área basal y en altura total.

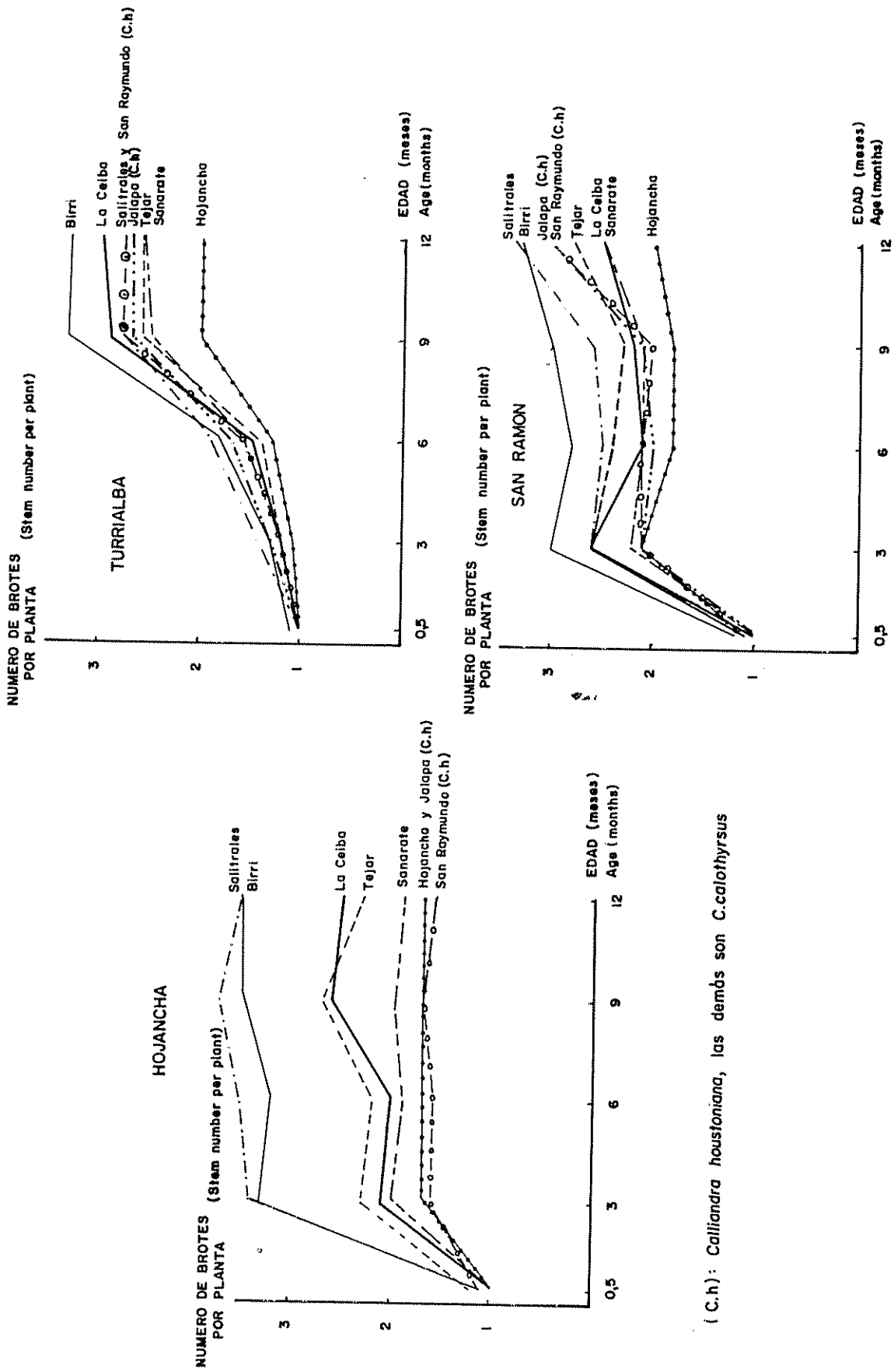
### 4.2.2 Número de brotes por planta

La Figura 1 muestra la variación según la edad en el número de brotes del arbusto por procedencia y por sitio, y el Anexo 15a resume los análisis de variancia y pruebas de Tukey hasta los 12 meses. El Cuadro 4 presenta los mismos análisis pero únicamente para la evaluación a los 12 meses.

En la Figura 1 se puede apreciar pequeñas diferencias entre los sitios en la forma de las curvas del número de brotes por planta según la edad, sin embargo, a los 12 meses esta variable no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los sitios (ver Cuadro 5).

Existió diferencias estadísticamente significativas al nivel de 0,1% entre las procedencias a los 12 meses en los tres sitios. La procedencia Hojanca (*C. calothyrsus* ex Indonesia, ex Guatemala), presentó el número menor de brotes en Turrialba y en San Ramón (un promedio de 2,0 brotes/planta). En el sitio Hojanca, las procedencias menos ramificadas fueron San Raymundo, Jalapa (*C. houstoniana* ambas) y Hojanca (1,6; 1,7 y 2,7 brotes/planta respectivamente). Las procedencias Birrí y Salitrales fueron las más ramificadas en los tres sitios (desde 2,8 a 3,5 brotes/planta). En todos los sitios la procedencia Hojanca fue estadísticamente diferente a la procedencia más ramificada (Birrí y/o Salitrales).

El grado de ramificación del arbusto afectó directamente su diámetro de copa, principalmente en las localidades de Hojanca y San Ramón,



(C.h): *Calliandra houstoniana*, las demás son *C. calothyrsus*

Fig. 1. Número de brotes por planta en ocho procedencias de *Calliandra* spp. hasta 12 meses de edad, en tres sitios en Costa Rica.

(Stem number per plant in eight provenances of *Calliandra* spp. until twelve months of age, at three sites in Costa Rica).

Cuadro 4. Número de brotes, área basal y altura total por planta de ocho procedencias de *Calliandra* spp a 12 meses en tres sitios en Costa Rica.

Table 4. Stem number, basal area and total height per plant of eight provenances of *Calliandra* spp at twelve months at three sites in Costa Rica.

Sitio	Número promedio de brotes por planta			Área basal promedio por planta (mm <sup>2</sup> )			Altura total promedio (cm)					
	gl	F	CV(%)	gl	F	CV(%)	gl	F	CV(%)			
Hojancha	Bloques	4	1,42 NS	2	Bloques	4	4,94**	11	Bloques	4	0,81 NS	0
	Proced.	7	14,75***	72	Proced.	7	16,84***	68	Proced.	7	13,40***	71
	Residuo	28		26	Residuo	28		21	Residuo	28		29
	Proced.	Media	Tukey (P≤0,05)	Proced.	Media	Tukey (P≤0,05)	Proced.	Media	Tukey (P≤0,05)			
	Salitra	3,5			Salitra	2410			Hojancha	34,9		
	Birrí	3,5			Birrí	2031			Salitra	34,8		
	La Ceiba	2,5			Hojancha	2030			Tejar	29,2		
	Tejar	2,3			Tejar	1799			Birrí	29,0		
	Sanarate	1,9			La Ceiba	1605			Sanarate	28,5		
	Hojancha	1,7			Sanarate	1226			La Ceiba	28,1		
Jalapa*	1,7			Jalapa*	1019			Jalapa*	27,4			
Sn Raym*	1,6			Sn Raym*	907			Sn Raym*	26,4			
Turrialba	Bloques	4	4,33**	18	Bloques	4	13,67***	48	Bloques	4	0,74 NS	0
	Proced.	7	5,73***	40	Proced.	7	4,50**	21	Proced.	7	22,16***	81
	Residuo	28		42	Residuo	28		31	Residuo	28		19
	Proced.	Media	Tukey (P≤0,05)	Proced.	Media	Tukey (P≤0,05)	Proced.	Media	Tukey (P≤0,05)			
	Birrí	3,3			Hojancha	1370			Hojancha	39,1		
	La Ceiba	3,0			Salitra	1171			Salitra	33,7		
	Salitra	2,8			La Ceiba	1106			Tejar	32,9		
	Sn Raym*	2,8			Jalapa*	1019			La Ceiba	31,6		
	Jalapa	2,7			Tejar	978			Sanarate	30,1		
	Tejar	2,6			Sanarate	952			Jalapa*	28,9		
Sanarate	2,5			Birrí	923			Birrí	28,0			
Hojancha	2,0			Sn Raym*	848			Sn Raym*	25,2			
San Ramón	Bloques	4	1,10 NS	1	Bloques	4	2,79	6	Bloques	4	3,13*	12
	Proced.	7	5,34***	46	Proced.	7	12,75***	66	Proced.	7	6,08***	44
	Residuo	28		53	Residuo	28		28	Residuo	28		44
	Proced.	Media	Tukey (P≤0,05)	Proced.	Media	Tukey (P≤0,05)	Proced.	Media	Tukey (P≤0,05)			
	Salitra	3,4			Salitra	297			Salitra	10,5		
	Birrí	3,3			La Ceiba	261			Hojancha	10,1		
	Jalapa*	3,0			Birrí	227			La Ceiba	10,1		
	Sn Raym*	3,0			Hojancha	208			Tejar	8,8		
	Tejar	2,8			Tejar	194			Birrí	8,4		
	La Ceiba	2,5			Jalapa*	122			Jalapa*	8,2		
Sanarate	2,5			Sanarate	98			Sn Raym*	6,0			
Hojancha	2,0			Sn Raym*	87			Sanarate	5,1			

\* *C. houstoniana*, las demás son procedencias de *C. calothyrsus*

1/ Average stem number per plant

2/ Average basal area per plant

3/ Average total height

bloques = blocks

procedencia = provenance

residuo = residual

gl = grados de libertad (degrees of freedom)

CV(%) = componente de la variancia (component of variance)

\*\*\* = significant (e) P≤0,001

\*\* = significant (e) P≤0,01

\* = significant (e) P≤0,05

NS = no(t) significant (e) P≤0,05

En la prueba de Tukey, al nivel de 5%, las procedencias unidas por la misma línea no son significativamente diferentes.

In the Tukey test, the provenances joined by the same line are not significantly different at 5%.

donde se encontró que las procedencias Salitrales y Birrí, que presentaron el número mayor de brotes por planta, presentaron además copas más amplias. La procedencia Hojancha presentó los diámetros menores de copa dentro de las procedencias nativas de Costa Rica. Estas características podrían merecer consideración, especialmente si el arbusto se planta en asocio con cultivos agrícolas (ver Anexos 15d y 16).

El Cuadro 5 presenta el análisis de variancia combinado y el análisis de regresión conjunta para el número de brotes por planta a los 12 meses, obtenidos mediante el empleo del Programa JOYREG. El efecto de la interacción genotipo-ambiente y el análisis de regresión individual aparecen en el Anexo 17a. Una explicación sobre el procedimiento del Programa JOYREG aparece en el Anexo 18.

Al aplicar la Prueba de Bartlett en el análisis de variancia combinado, se encontró heterogeneidad de las variancias; se probó varias transformaciones de los datos sin lograr homogenizar las variancias. Por tanto, las interpretaciones de este análisis deben hacerse con cuidado cuando el valor del cociente de F resultó muy próximo al nivel de significancia, especialmente en los casos donde el efecto fue probado contra el residuo.

En el Cuadro 5 se observa la uniformidad entre y dentro de los sitios para el número de brotes por planta, no existió diferencias estadísticamente significativas en ambos casos. El efecto de las procedencias fue estadísticamente significativo al nivel de 1% y el 38% de la variación total detectada se debió al efecto de las procedencias, debido a las grandes diferencias entre ellas que se mencionaron anteriormente. La interacción genotipo-ambiente fue estadísticamente significativa al nivel de 0,1% y contribuyó con el 21% de la variación total. Este efecto de la interacción se dividió en sus dos componentes, según la metodología de Perkins y Jinks (63) (ver Anexo 18). En este caso, el primer efecto llamado "heterogeneidad de la regresión", el cual indica que la interacción es explicada por una relación lineal entre los genotipos y el ambiente, fue

Cuadro 5. Análisis de variancia combinado y análisis de regresión conjunta para el número de brotes y área basal por planta y altura total de ocho procedencias de *Calliandra* spp. a 12 meses de edad en tres sitios de Costa Rica.

Table 5. Combined analysis of variance and joint regression analysis for stem number and basal area per plant and total height of eight provenances of *Calliandra* spp. at 12 months of age at three sites in Costa Rica.

Número de brotes por planta (stem number per plant)

	(gl)	CM	Prueba	Fc	Ft	CV(%)
1. Sitios	2	0,9949	2	3,42	N.S.	3,67
2. Reps en sitios	12	0,2909	7	1,79	N.S.	3,34
3. Procedencias	7	3,3966	4	5,1	**	37,99
4. Interacción genotipo-ambiente	14	0,6660	7	4,09	***	21,00
5. Heterogeneidad de la regresión	7	1,0423	7	6,40	***	-
6. Sobrante (desviación de la regresión)	7	0,2898	7	1,78	N.S.	-
7. Residuo	84	0,1629	-	-	-	34,00

Area basal por planta (basal area per plant)  
(cm<sup>2</sup>)

	(gl)	CM	Prueba	Fc	Ft	CV(%)
1. Sitios	2	2104,2969	2	74,43	***	75,41
2. Reps en sitios	12	28,2733	7	7,15	***	4,41
3. Procedencias	7	85,5695	4	2,27	N.S.	4,64
4. Interacción genotipo-ambiente	14	37,6509	7	9,52	***	9,79
5. Heterogeneidad de la regresión	7	48,6497	7	12,30	***	-
6. Sobrante (desviación de la regresión)	7	26,6522	7	6,74	***	-
7. Residuo	84	3,9562	-	-	-	5,74

Altura total (total height)  
(dm)

	(gl)	CM	Prueba	Fc	Ft	CV(%)
1. Sitios	2	6531,2812	2	1026,79	***	92,12
2. Reps en sitios	12	5,4146	7	1,45	N.S.	0,12
3. Procedencias	7	124,3631	4	6,72	**	3,98
4. Interacción genotipo-ambiente	14	18,5110	7	4,97	***	1,67
5. Heterogeneidad de la regresión	7	24,5331	7	6,59	***	-
6. Sobrante (desviación de la regresión)	7	12,4890	7	3,35	**	-
7. Residuo	84	3,7234	-	-	-	2,10

Prueba = test  
Sitios = sites  
Reps en sitios = replication at sites  
Procedencias = provenances

Interacción genotipo-ambiente = genotype-environment  
interaction  
Heterogeneidad de la regresión = heterogeneity of regression  
Sobrante = remainder (deviation of the regression)  
Residuo = residual

(gl) = grados de libertad (degrees of freedom)  
CM = cuadrado medio (mean square)  
CV(%) = componente de la variancia (component of variance)  
\*\*\* = significant(e)  $P < 0,001$   
\*\* = significant(e)  $P < 0,01$   
\* = significant(e)  $P < 0,05$   
NS = no(t) "  $P < 0,05$

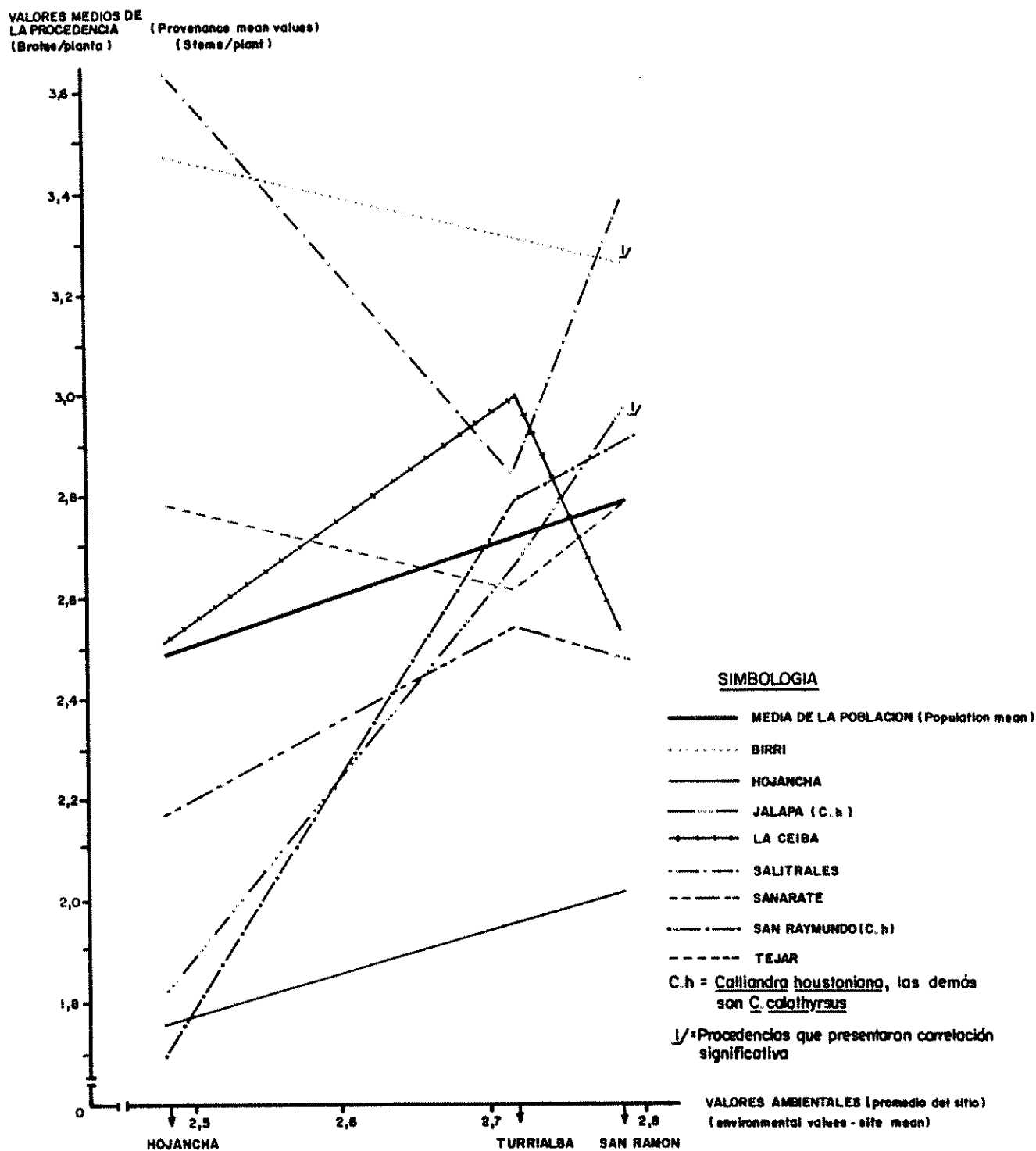
significativo al nivel de 0,1%, mientras que el segundo llamado "sobrante" no fue significativo. Por lo tanto, se puede decir que existió interacción entre las procedencias y el ambiente para el número de brotes por planta y que la respuesta genotípica obedeció a una relación lineal con el ambiente.

El comportamiento individual de cada procedencia según cambia el sitio se observa en la Figura 2, que muestra la regresión lineal entre el valor medio de cada procedencia en cada sitio, con el valor medio de todas las procedencias en los mismos sitios. Esta figura es apoyada por el análisis de regresión individual que se presenta en el Anexo 17a. Unicamente para Birrí al nivel de 0,1% y Jalapa (*C. houstoniana*) al 1%, la interacción obedeció a una relación lineal; ambas presentaron desviaciones muy pequeñas de los valores observados con respecto a la regresión. La procedencia Hojancha presentó desviaciones muy pequeñas también, sin embargo, en el análisis de regresión individual el cuadrado medio de la regresión fue bajo, lo que afectó la significancia de la regresión. La procedencia San Raymundo, aunque la regresión no fue significativa, mostró una respuesta al sitio muy similar a la procedencia Jalapa (ambas son *C. houstoniana*).

Existió mucha diferencia en las respuestas de las procedencias a los cambios en el ambiente. Birrí disminuyó linealmente el número de brotes por planta conforme se pasó a sitios de mejor crecimiento; su comportamiento fue contrario al promedio de todas las procedencias. Jalapa (*C. houstoniana*) se comportó completamente al contrario de Birrí, aumentó significativamente el número de brotes en los mejores sitios. Para las demás procedencias las respuestas fueron muy variables y no pueden ser explicadas por una relación lineal con el ambiente.

Si se considera que la procedencia deseable debería presentar de preferencia estabilidad alta (poca susceptibilidad en la respuesta a cambios en el ambiente), asociada con valores bajos en el número de brotes por planta, Hojancha sería la procedencia más aconsejable, sin embargo, si lo que se desea es una alta ramificación asociada a una





**Fig. 2** Correlación entre el número de brotes por planta y el sitio, en ocho procedencias de *Calliandra* spp en tres sitios en Costa Rica (según análisis de regresión conjunta)  
(Correlation between the stem number per plant and site, in eight provenances of *Calliandra* spp at three sites in Costa Rica - according to the joint regression analysis -)

estabilidad alta, Birrí sería la procedencia más adecuada.

#### 4.2.3 Area basal por planta

La Figura 3 muestra las curvas de crecimiento en área basal por planta hasta los 12 meses en los tres sitios y el Anexo 15b incluye los resúmenes de los análisis de variancia individuales y pruebas de Tukey. La Figura 3 muestra grandes diferencias entre los sitios, tanto en la forma de las curvas como en el ritmo de crecimiento. El sitio Hojancha presentó el mejor crecimiento, seguido por Turrialba y finalmente San Ramón con un crecimiento sumamente malo. En Hojancha el crecimiento empezó a disminuir a los seis meses debido al inicio de la época seca. En Turrialba donde existe un período seco muy corto, se presentó una continuidad en el crecimiento de las plantas hasta los 12 meses. San Ramón debe considerarse como un sitio crítico para ambas especies, debido a características específicas del sitio, como fuerte incidencia de vientos relativamente fríos, nubosidad alta y suelos pobres.

El Cuadro 4 muestra para la edad de 12 meses, diferencias estadísticamente significativas entre las procedencias al nivel de 0,1% en Hojancha y en San Ramón y a 1% en Turrialba. En Hojancha las procedencias con el crecimiento mayor en área basal por planta fueron Salitrales, Birrí y Hojancha, con valores de 2410, 2031 y 2030 mm<sup>2</sup> respectivamente; no existió diferencias estadísticas significativas entre ellas. Las procedencias con el mayor crecimiento en Turrialba fueron Hojancha, Salitrales y La Ceiba, que presentaron valores de 1370, 1171 y 1106 mm<sup>2</sup>/planta respectivamente y tampoco existió diferencias significativas entre ellas. En San Ramón las procedencias que presentaron el mayor crecimiento fueron las procedencias típicas de *C. calothyrsus*, principalmente Salitrales (297 mm<sup>2</sup>), La Ceiba (261 mm<sup>2</sup>) y Birrí (227 mm<sup>2</sup>). En los tres sitios la procedencia San Raymundo (*C. houstoniana*) mostró el crecimiento menor en área basal, con valores promedios de 848, 907 y 87 mm<sup>2</sup>/planta respectivamente. Las procedencias Salitrales y Hojancha, seguidas en algunos casos

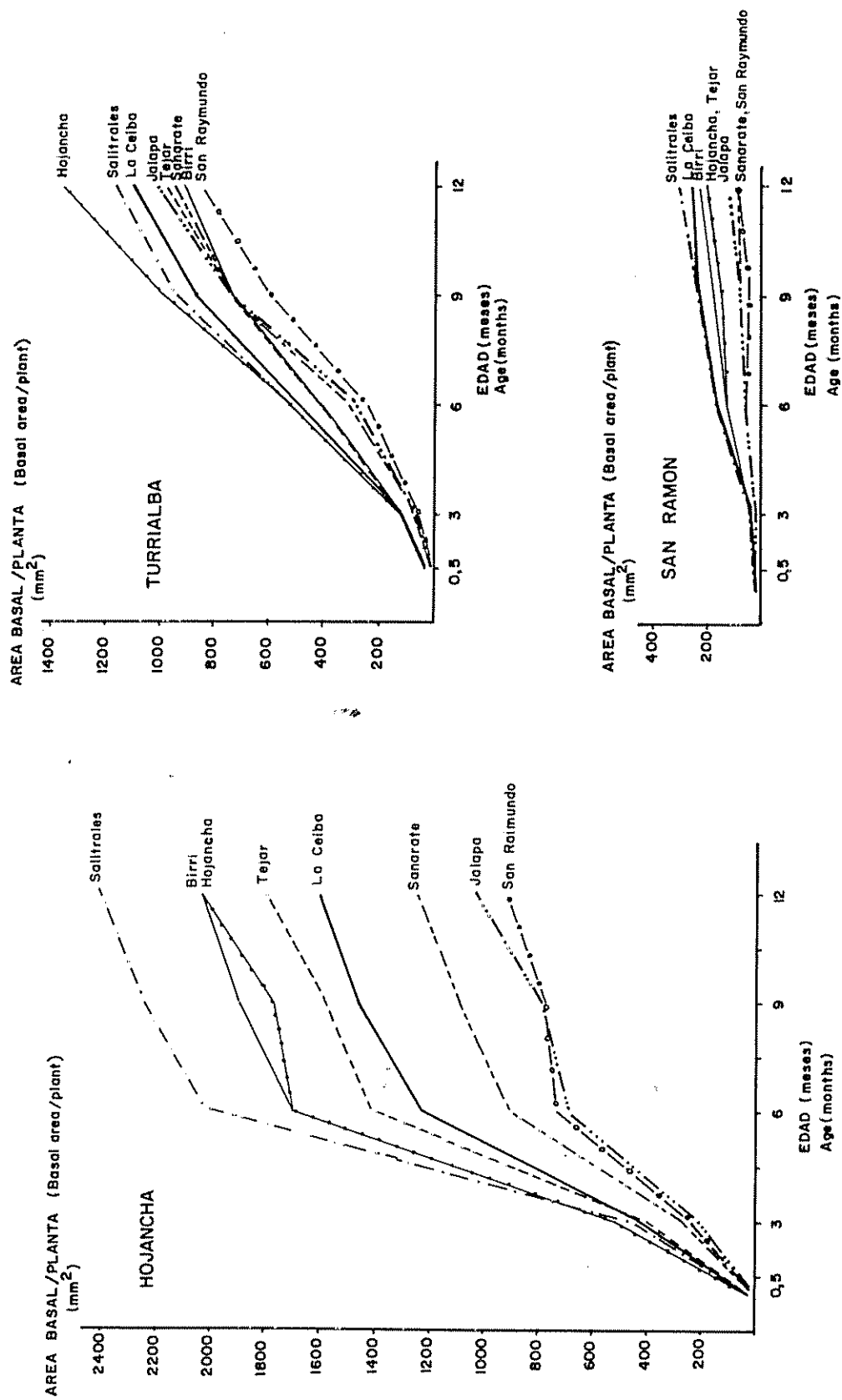


Fig. 3. Area basal por planta en ocho procedencias de *Calliandra* spp. hasta 12 meses de edad en tres sitios de Costa Rica.

(Basal area per plant in eight provenances of *Calliandra* spp. until twelve months of age, at three sites in Costa Rica).

por La Ceiba y Birr $\acute{a}$ , mostraron generalmente los crecimientos mayores en  $\acute{a}$ rea basal por planta.

El an $\acute{a}$ lisis de variancia combinado (Cuadro 5), muestra diferencias altamente significativas (0,1%) entre y dentro de los sitios. El 75% de la variaci $\acute{o}$ n total observada se debi $\acute{o}$  al efecto del sitio, mientras que un 4% se debi $\acute{o}$  a diferencias dentro de los sitios. El an $\acute{a}$ lisis de variancia combinado no detect $\acute{o}$  diferencias estad $\acute{i}$ sticas entre las procedencias, sin embargo, en el p $\acute{a}$ rrafo anterior se mencionaron las diferencias encontradas entre las procedencias seg $\acute{u}$ n los an $\acute{a}$ lisis de variancia individuales (Cuadro 4).

Existi $\acute{o}$  interacci $\acute{o}$ n entre las procedencias y los sitios, la cual fue significativa al nivel de 0,1% y aport $\acute{o}$  el 10% de la variaci $\acute{o}$ n total observada. Los dos componentes de la interacci $\acute{o}$ n tambi $\acute{e}$ n fueron significativos al mismo nivel, por tanto, debi $\acute{o}$  procederse a calcular el nuevo cociente de F, esta vez dividiendo el cuadrado medio de la regresi $\acute{o}$ n entre el sobrante con sus respectivos grados de libertad, sin encontrar significancia en el nuevo valor. Esto sugiere por tanto, que para el  $\acute{a}$ rea basal la respuesta de las procedencias a los cambios ambientales no es explicada por una relaci $\acute{o}$ n lineal; lo mismo se comprueba en el Anexo 17b, donde no se encontr $\acute{o}$  significancia en la regresi $\acute{o}$ n para ninguna procedencia individualmente y por tanto no ser $\acute{i}$ a posible hacer ninguna predicc $\acute{i}$ o>n sobre las respuestas de las procedencias.

A pesar de no existir significancia en la regresi $\acute{o}$ n para ninguna procedencia, se muestra en la Figura 4 las regresiones, como ayuda para examinar la respuesta de las procedencias a los cambios en el ambiente. Puede notarse que las procedencias Salitrales, Hojancha y Birr $\acute{a}$ , tienden a responder mejor que las dem $\acute{a}$ s procedencias conforme se mejora el sitio; estas ser $\acute{i}$ an por tanto las procedencias m $\acute{a}$ s deseables, debido a la mayor capacidad de explotar el potencial productivo del sitio, mientras que las procedencias de *C. houstoniana* muestran la menor capacidad en este sentido. Sanarate, Tejar y La Ceiba se comportan en forma similar al promedio de todas las procedencias.

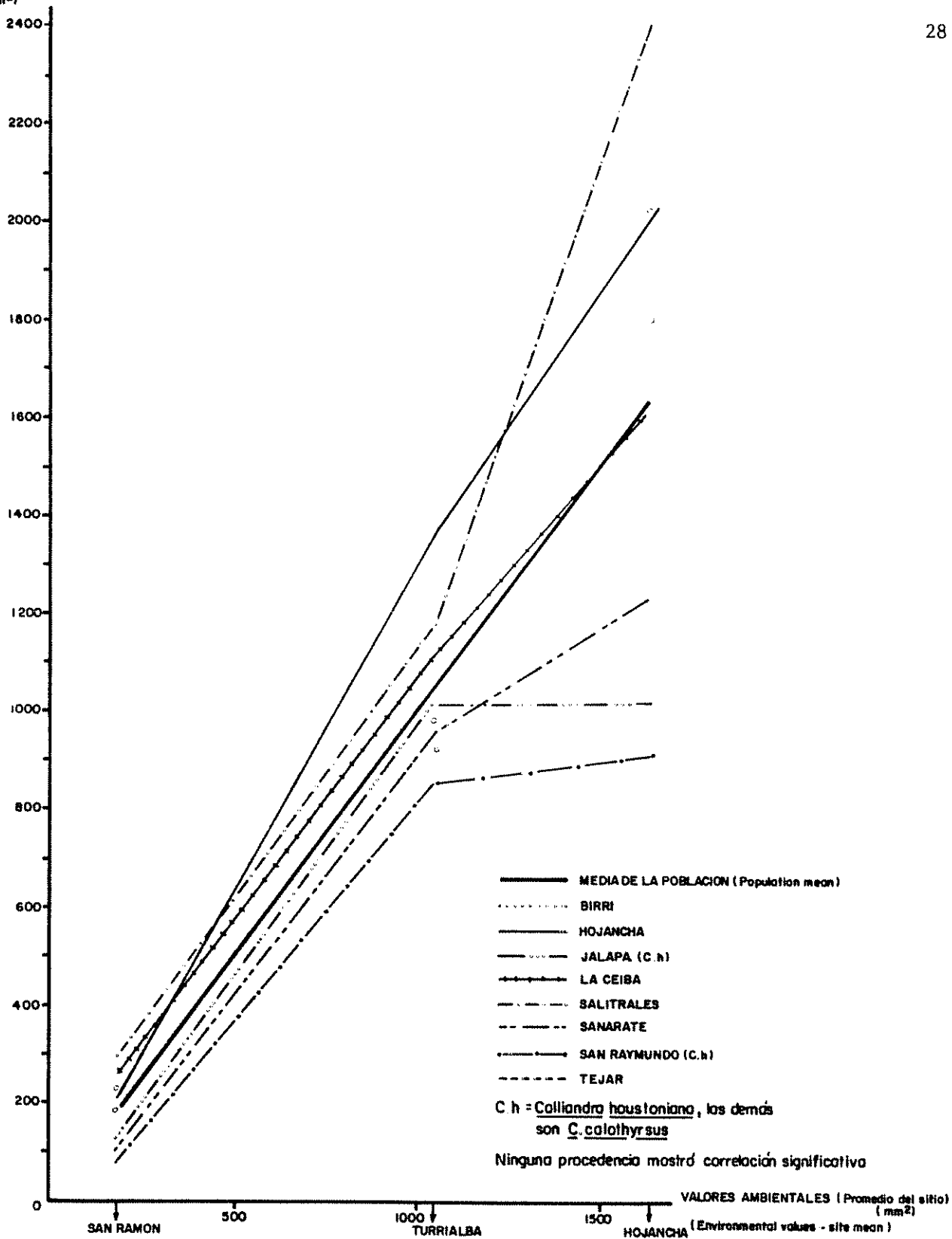
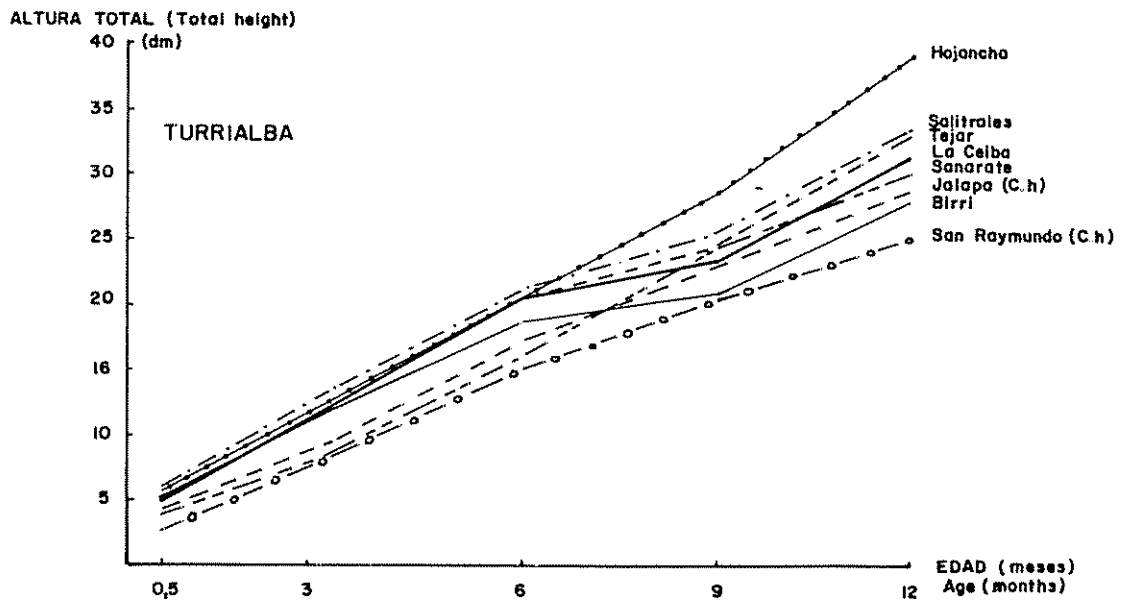
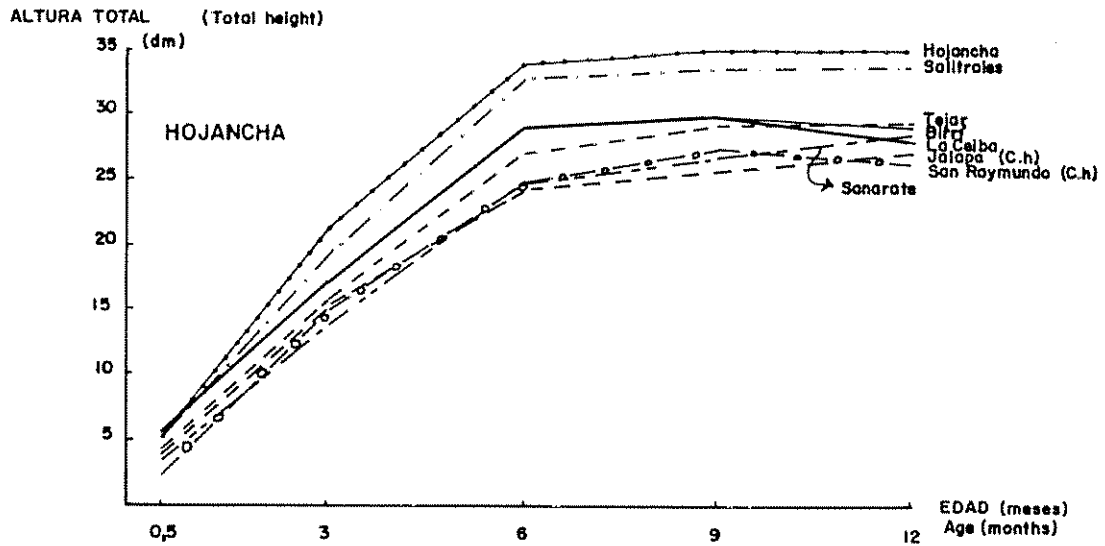


Fig.4 Correlación entre el área basal por planta y el sitio, en ocho procedencias de *Calliandra* spp en tres sitios en Costa Rica (según el análisis de regresión conjunta)  
(Correlation between the basal area per plant and site in eight provenances of *Calliandra* spp at three sites in Costa Rica - according to the joint regression analysis-)

#### 4.2.4 Altura total

La Figura 5 muestra las curvas de crecimiento en altura total hasta los 12 meses en los tres sitios y el Anexo 15c presenta los resúmenes de los análisis de variancia individuales y pruebas de Tuckey. En la Figura 5 se nota que la respuesta en el crecimiento en altura total fue similar a la respuesta encontrada para el área basal, sin embargo, en el sitio Hojancha el estancamiento en el crecimiento en altura fue más abrupto comparado al observado para el crecimiento en área basal (Figura 3). Para algunas procedencias en Hojancha la curva tendió a decrecer, debido que a partir de los seis meses de edad se inició la floración, a excepción de Sanarate, donde fue más tardía y luego ocurrió el secamiento de la parte terminal de las ramas, donde se desarrolló la inflorescencia. El crecimiento en altura no se estancó en Turrialba, e inclusive para algunas procedencias se observó una tendencia a aumentar en el período comprendido entre los 9 y 12 meses, debido posiblemente a la finalización del período de crecimiento reproductivo y a una época menos lluviosa que permitió mayor insolación en el sitio. El crecimiento en San Ramón fue muy pobre y también presentó un estancamiento a partir de los seis meses. En ese sitio la razón fue la misma mencionada para el sitio Hojancha y agravada por la ocurrencia de vientos fuertes y fríos y por la alta incidencia de neblina en el sitio.

Los análisis de variancia individuales (Cuadro 4) mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las procedencias al nivel de 0,1% para los tres sitios, contribuyendo este factor con el 71% y 81% de la variación total observada en Hojancha y Turrialba respectivamente y con el 44% en San Ramón. En el sitio Hojancha, las procedencias Hojancha y Salitrales fueron significativamente superiores a todas las demás procedencias, ambas con un promedio de 35 dm de altura total a los 12 meses. En Turrialba la procedencia Hojancha fue significativamente superior a todas las demás, con un 16% más de crecimiento en altura que Salitrales que fue la segunda (39 y 34 dm respectivamente). En San Ramón las diferencias en el crecimiento de las procedencias fueron menores, asociado a mayores



(C.h) : *Calliandra houstoniana*, las demas son *C. calothyrsus*

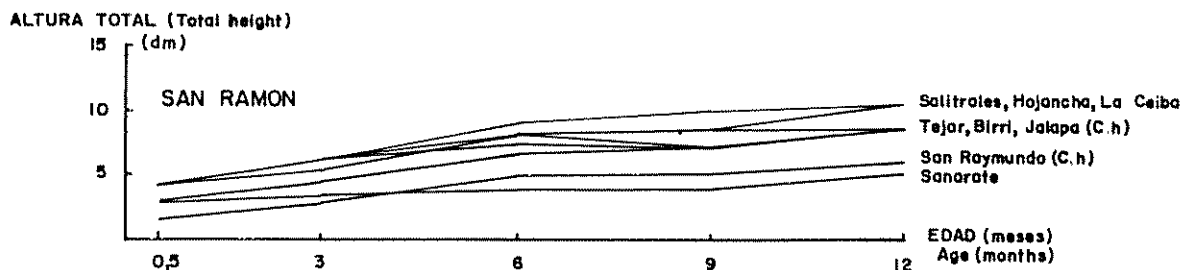


Fig. 5. Altura total en ocho procedencias de *Calliandra* spp. hasta 12 meses de edad en tres sitios en Costa Rica.  
(Total height in eight provenances of *Calliandra* spp. until twelve months of age, at three sites in Costa Rica)

coeficientes de variación de las medias de procedencias. En este sitio se formó un grupo de seis procedencias sin diferencias significativas entre ellas, con alturas que variaron desde 8,2 dm para Jalapa, hasta 10,5 dm para Salitrales. En todos los sitios las procedencias de Guatemala presentaron los crecimientos menores en altura. Las procedencias Hojancha y Salitrales también presentaron para esta variable los crecimientos mejores a los 12 meses.

El análisis de variancia combinado (Cuadro 5) mostró diferencias estadísticas altamente significativas entre los sitios para la altura total, esta fue la variable más afectada por el sitio, el cual representó un 92% de la variación total observada. Dentro de los sitios no se encontró diferencias significativas, únicamente en el caso de San Ramón al nivel de 5%. Las procedencias mostraron diferencias estadísticamente significativas (al nivel de 1%) y explicaron el 4% de la variación total observada. La interacción entre las procedencias y los sitios fue estadísticamente significativa al nivel de 0,1%, y solamente un 2% de la variación total observada se debió al efecto de esta interacción. También se encontró significancia estadística al nivel de 0,1% y 1% para la heterogeneidad de la regresión y el sobrante respectivamente; el nuevo cociente de F no fue significativo para la heterogeneidad de la regresión, lo que indica que las respuestas genotípicas a los cambios ambientales no podrían ser explicadas por una relación lineal. Sin embargo, los análisis de regresión individuales presentados en el Anexo 17c mostraron significancia al nivel de 1% en la regresión lineal para Sanarate. Las líneas de estas regresiones se presentan en la Figura 6, donde se ve que las procedencias Hojancha y Salitrales crecen relativamente mejor que las demás procedencias conforme se mejora el sitio, confirmando una vez más su mayor capacidad de explotar el potencial productivo del sitio, esta vez con respecto a la altura total.



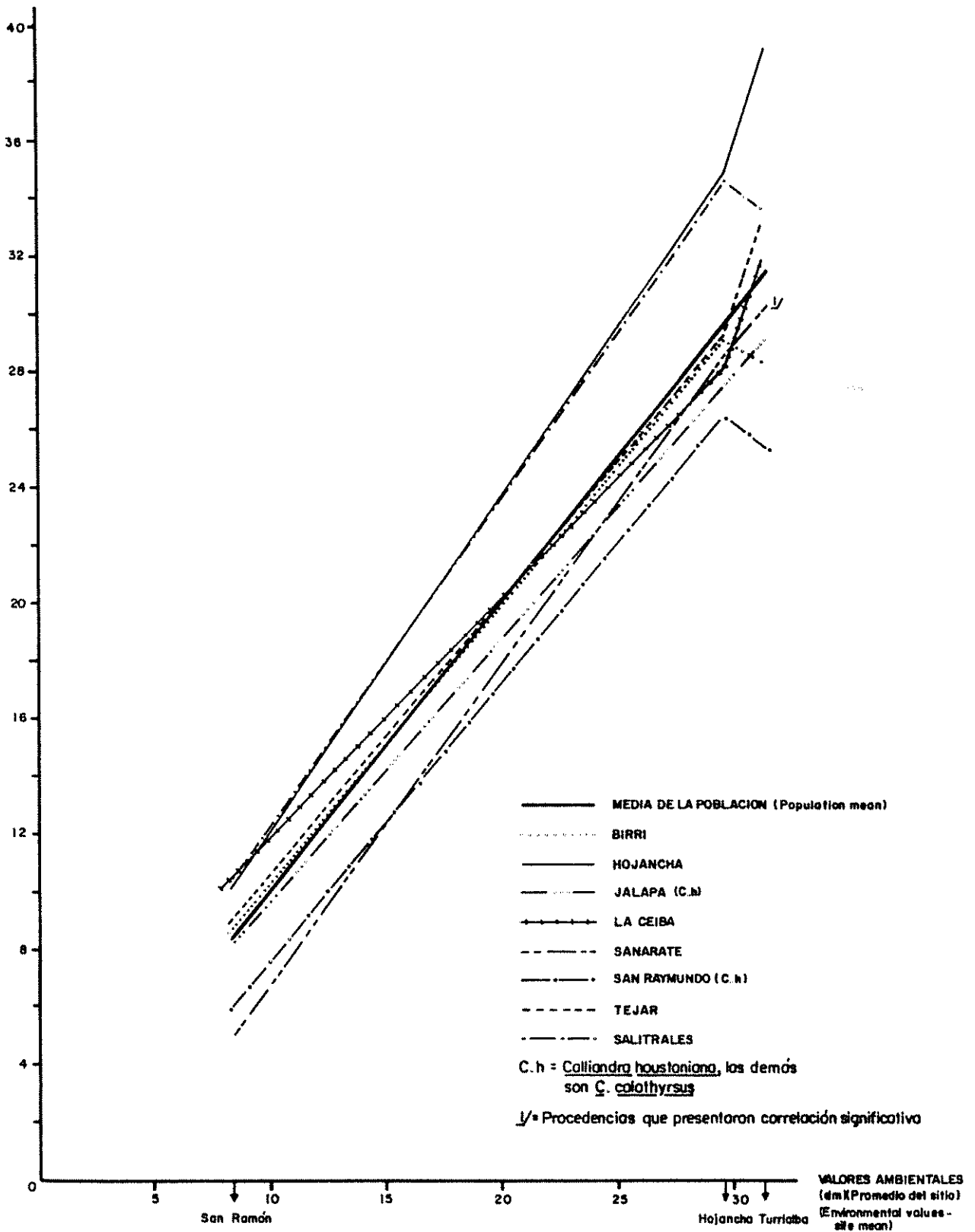


Fig. 6 Correlación entre la altura total y el sitio, en ocho procedencias de *Calliandra* spp en tres sitios en Costa Rica (según el análisis de regresión conjunta)  
 (Correlation between the total height and site eight provenances of *Calliandra* spp at three sites in Costa Rica - according to the joint regression analysis-)

#### 4.2.5 Correlación entre las variables geográficas y climáticas del origen de las procedencias con el crecimiento en el campo

Se analizó el grado de asocio entre algunas variables geográficas y climáticas del origen de cada procedencia y el crecimiento a los 12 meses en cada uno de los tres sitios evaluados. Las variables utilizadas fueron la elevación, latitud, precipitación, el número de meses con déficit hídrico según Holdridge y las temperaturas máxima, mínima y promedio anual; las variables de crecimiento en cada sitio fueron el área basal por planta y la altura total. En el Anexo 9 se presenta la matriz de correlación con sus respectivos coeficientes de correlación y niveles de significancia.

Se encontró que en general el crecimiento en área basal por planta estuvo más correlacionado con las variables del origen de las procedencias que el crecimiento en altura. Como se discutirá más adelante, el área basal por planta tiene más valor que la altura total en la predicción del rendimiento de leña y por lo tanto sería más útil encontrar correlaciones con esa primera variable.

Se debe recordar nuevamente que las procedencias de *C. houstoniana* y la procedencia Sanarate (*C. calothyrsus* no típica) son oriundas en Guatemala de sitios de latitudes mayores, precipitación menor y un período con déficit hídrico mayor, con relación a las demás procedencias evaluadas. Estas procedencias de Guatemala generalmente presentaron los crecimientos más bajos en el campo, lo que influyó en que se encontrara correlación significativa entre esas mismas variables del origen, con el crecimiento a los 12 meses en área basal y altura total en los sitios de Hojancha y San Ramón. La precipitación del origen de las procedencias presentó correlación significativa al nivel de 0,1% con el área basal en San Ramón, al 1% con el área basal en Hojancha y la altura total en San Ramón, y al 5% con la altura total en Hojancha. La latitud se correlacionó significativamente al nivel de 1% con el área basal en Hojancha y San Ramón y con la altura total en este último sitio. El período con déficit hídrico

se correlacionó con las mismas variables de la latitud, pero con un nivel de significancia de 5%. Asociaciones similares se encontraron en la etapa de vivero, donde las mismas variables del origen se correlacionaron con el crecimiento de las procedencias a los tres meses en el vivero.

La temperatura y la elevación del origen de las procedencias se correlacionaron únicamente con el crecimiento en Turrialba; la temperatura promedio anual se correlacionó significativamente con el área basal y con la altura total (al 1% y 5% respectivamente), mientras que la temperatura mínima y la elevación se correlacionaron al 5% con el crecimiento en área basal en ese sitio. Se observó para Turrialba una tendencia clinal, en la cual conforme aumentó la temperatura del origen de las procedencias, el crecimiento principalmente en área basal fue mayor.

#### 4.2.6 Consideraciones finales sobre el crecimiento de las procedencias en la etapa de campo

Hojancha fue el sitio donde las procedencias presentaron el crecimiento mayor en área basal a los 12 meses, con un promedio general (valor ambiental) de  $1628 \text{ mm}^2$ , seguido por Turrialba que presentó un promedio general de  $1046 \text{ mm}^2$  y finalmente San Ramón con solamente  $186 \text{ mm}^2$  (Anexo 17b). El crecimiento en altura total fue muy similar entre Turrialba y Hojancha, con un promedio general en el primero de 31 dm, mientras que en el segundo fue 30 dm, San Ramón de nuevo fue el peor sitio, con un promedio general de 8 dm (Anexo 17c). Probablemente la razón principal del buen crecimiento en Hojancha sea la fertilidad superior del suelo con relación a Turrialba y a San Ramón; las diferencias de crecimiento entre estos dos últimos sitios podría ser debida principalmente al factor clima, ya que aunque en Turrialba el suelo presentó una fertilidad similar o inferior al suelo de San Ramón, el crecimiento en Turrialba fue muy superior al crecimiento que se encontró en San Ramón. La razón del crecimien

to pobre en este último sitio, parece ser debida a una combinación de condiciones edáficas y climáticas poco favorables para el crecimiento de las dos especies de *Calliandra*. Ortíz Castillo (59) en una evaluación del comportamiento inicial de 18 especies, incluyendo *C. calothyrsus* (Birrí), en los mismos sitios, hasta la edad de ocho meses, reporta una respuesta al sitio de las especies y en particular de *C. calothyrsus*, muy similar a la que se encontró en este estudio.

Las procedencias Hojancha y Salitrales mostraron los crecimientos mayores a la edad de 12 meses en los tres sitios. Estas dos procedencias también explotaron relativamente mejor los sitios más productivos (Hojancha y Turrialba), con respecto a las demás procedencias. Se encontró una gran diferencia entre ellas con respecto al número de brotes por planta; la procedencia Hojancha mostró el número menor de brotes por planta, mientras que Salitrales fue una de las procedencias más ramificadas. Posiblemente el crecimiento y la forma del arbusto de la procedencia Hojancha (ex Indonesia ex Guatemala), ha sido afectado por algún grado de selección artificial y en parte natural que pudo haber recibido esta procedencia desde la recolección de las semillas en la población original en Guatemala, hasta las sucesivas recolecciones de semillas y establecimiento de nuevas plantaciones en Indonesia, que favorecieron los arbustos menos ramificados, y de crecimiento y porte mayor. Esta posible selección en una especie de crecimiento tan rápido, pudo haber conducido a la formación de una nueva población (raza local), con algunas características diferentes a las poblaciones obtenidas en su estado natural. Sin embargo, esto no descarta la posibilidad de que la población original en Guatemala sea genéticamente diferente a las procedencias probadas en este estudio con relación a la ramificación y el porte de los arbustos.

Se sospechó que la procedencia Hojancha por ser menos ramificada, podría producir mayor cantidad de leña con igual área basal con re-

lación a las demás procedencias típicas de *C. calothyrsus* (Salitrales, Birrí, Tejar y La Ceiba). Para comprobarlo se cuantificaron en el ensayo en Turrialba, 20 árboles de la procedencia Hojanca y cinco árboles de cada una de las otras cuatro procedencias. Con los datos obtenidos se desarrollaron los siguientes modelos de predicción de la producción de leña:

procedencia Hojanca

$$\text{Ln}y = -6,9621 + 1,0560 \text{ Ln}x \quad (R^2 = 0,86; \text{Indice de Furnival} = 0,74)$$

procedencias Salitrales, Birrí, Tejar y La Ceiba

$$y = 0,66758 + 4,047 \times 10^{-7} X^2 \quad (R^2 = 0,91; \text{Indice de Furnival} = 0,61)$$

donde:

y = peso en kg de leña seca a 85°C por planta hasta un diámetro mínimo de 1,5 cm

x = área basal por planta en mm<sup>2</sup> a 5 cm sobre el suelo

Para valores menores de 3000 mm<sup>2</sup> de área basal por planta, la procedencia Hojanca produjo más leña que las otras cuatro procedencias, mientras que para valores mayores a 3500 mm<sup>2</sup> la producción fue mayor para las procedencias Salitrales, Birrí, Tejar y La Ceiba.

Los modelos obtenidos se aplicaron a los valores individuales (por árbol) encontrados para las procedencias Hojanca y Salitrales a los 12 meses en Turrialba, con el fin de obtener una estimación preliminar de la producción de leña en ese sitio. A pesar de que los modelos fueron obtenidos para Turrialba, se aplicaron también para los valores de las procedencias en el sitio Hojanca, solo para obtener una estimación muy preliminar del rendimiento esperado para las dos procedencias en ese sitio. Para Turrialba se encontró que la procedencia Hojanca produjo un rendimiento mayor que Salitrales (alrededor de 9,2 y 6,6 toneladas al año respectivamente), mientras que en Hojanca el rendimiento de ambas procedencias fue muy similar (casi 14 toneladas al año).

Ortíz Castillo (59), encontró para la procedencia Birrí, en San Ramón, a ocho meses de edad, y con una densidad de aproximadamente 4 600 plantas/ha, un crecimiento en área basal similar al encontrado en este estudio en el mismo sitio, sin embargo, para los otros dos sitios reporta un crecimiento menor. Baggio y Heuveldop (4) reportan que en Turrialba la especie plantada en hileras con semillas provenientes de Indonesia, creció a los 10 meses entre 28 y 32 dm de altura total. Ese crecimiento es similar al encontrado en este estudio para la procedencia Hojancha (ex Indonesia) a los nueve meses en el mismo sitio. En San Ramón, la procedencia Hojancha a un año de edad, plantada como sombra para el café, y en condiciones mejores de clima y suelo con relación al sitio del ensayo en San Ramón, mostró un crecimiento promedio en área basal de 415 mm<sup>2</sup> y 29 dm en altura total, esto significa un crecimiento alrededor de dos y casi tres veces mayor respectivamente al encontrado en este estudio en San Ramón. En Hojancha se planta la procedencia Hojancha a espaciamientos desde 2 m x 2 m hasta 3 m x 2 m; el crecimiento promedio reportado es de 1100 mm<sup>2</sup> de área basal por planta y 27 dm de altura total a un año de edad, el cual resulta inferior al encontrado en este estudio para la misma procedencia en el mismo sitio (18).

### 4.3 Correlación vivero-campo

Se analizó el grado de correlación entre las cinco variables de crecimiento de la etapa de vivero y las dos variables de crecimiento de la etapa de campo. El Anexo 20 presenta la matriz de correlación entre el crecimiento en el vivero y el crecimiento en el campo hasta los 12 meses de edad en cada sitio. Por tratarse de una especie con turno muy rápido (1 a 2 años para la primera cosecha), podría considerarse la evaluación a los 12 meses como una variable de la etapa madura, lo que permitiría entonces estudiar el grado de correlación juvenil-maduro.

En los sitios Hojancha y San Ramón, el nivel de significancia de la correlación no disminuyó conforme aumentó la edad de 6 a 12 meses en la etapa de campo; sin embargo, en Turrialba se observó una disminución en la correlación conforme aumentó la edad. Las discusiones siguientes se harán únicamente para las correlaciones observadas entre las variables juveniles y el crecimiento en el campo a los 12 meses en cada sitio.

Las mejores variables juveniles para predecir el crecimiento de las procedencias en los tres sitios, fueron el diámetro del cuello principalmente y la altura de las plántulas. El peso seco radicular se correlacionó al nivel de 5% únicamente con el crecimiento en área basal y altura total en Hojancha ( $R^2$  de 0,74 y 0,76 respectivamente). El peso seco total solamente se correlacionó con el área basal en Hojancha al nivel de 5% de significancia ( $R^2 = 0,75$ ), mientras que el peso seco radicular no mostró ninguna correlación significativa.

Hojancha fue el sitio que más se correlacionó con las variables juveniles, seguido por San Ramón y finalmente Turrialba, que únicamente mostró correlación al nivel de 5% de significancia entre el diámetro de la plántula en el vivero con la altura total en el campo ( $R^2 = 0,76$ ).

El área basal por planta mostró mejor correlación con las variables juveniles que la altura total, sin embargo, en estudios realizados por el Proyecto Leña del CATIE con *Calliandra calothyrsus* en Costa Rica, se encon

tró que el área basal de la planta fue más útil que la altura total, en la predicción del rendimiento en peso de leña.

En Hojancha se observó una correlación significativa al nivel de 0,1% entre el diámetro del cuello de la plántula con el área basal a 12 meses ( $R^2 = 0,97$ ), mientras que en San Ramón las mismas variables se correlacionaron al nivel de 1% ( $R^2 = 0,84$ ). Los mismos dos sitios mostraron una correlación significativa al 1% entre la altura de las plántulas en el vivero con el área basal a 12 meses ( $R^2$  de 0,86 y 0,89 respectivamente).

La altura total de las procedencias a los 12 meses en Hojancha, se correlacionó significativamente al nivel del 1% ( $R^2 = 0,84$ ) con el diámetro de las plantas en el vivero. La misma variable de campo en San Ramón y en Turrialba, mostró una correlación significativa al nivel de 5% con el diámetro y la altura de las plantas en el vivero.

Todas las correlaciones observadas fueron positivas, lo que indica una tendencia lógica, que cuanto mayor fue el diámetro del cuello principalmente, y la altura de las plantas, en la etapa de vivero, mayor fue el crecimiento de las procedencias a los 12 meses, principalmente en cuanto a área basal en Hojancha y en San Ramón. Según estos resultados y de acuerdo con Franklin (28), estas dos variables juveniles podrían utilizarse eventualmente como indicadores de posibles respuestas de las procedencias en el campo y de esa manera obtener cierto grado de ganancias con pruebas y selecciones tempranas.



## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se encontró diferencias marcadas en las dimensiones de las semillas de *C. calothyrsus* y *C. houstoniana*. Dentro de la especie *C. calothyrsus*, la procedencia Hojancha (ex Indonesia, ex Guatamala) presentó las semillas de menor tamaño.
2. Se observó una tendencia clinal, en la cual conforme aumentó la temperatura promedio anual y mínima promedio del origen de las procedencias, disminuyó el tamaño y el porcentaje de germinación de las semillas.
3. Las procedencias Hojancha (ex Indonesia, ex Guatemala) y Salitrales, ambas *C. calothyrsus*, presentaron el crecimiento mayor tanto en el diámetro como en la altura en el vivero. Las tres procedencias nativas de Guatemala presentaron el crecimiento menor en esa etapa.
4. No se encontró diferencias significativas entre las procedencias ni entre los sitios, con respecto a la sobrevivencia de las procedencias a los 12 meses de edad.
5. Hojancha fue el sitio que presentó el crecimiento mayor en el área basal de las procedencias a los 12 meses. En ese sitio el crecimiento fue 50% superior al presentado en Turrialba y casi nueve veces superior al de San Ramón. La razón fue debida a condiciones más favorables de fertilidad del suelo en comparación con las condiciones de fertilidad encontradas en Turrialba y en San Ramón. La combinación de suelos pobres con un clima más frío, vientos fuertes y la baja insolación fueron aparentemente la causa del crecimiento en San Ramón.
6. Las tres variables evaluadas en la etapa de campo indican un efecto significativo del ambiente sobre la respuesta genotípica, debido a

que en todos los casos existió interacción entre las procedencias y los sitios. Esta interacción se explicó individualmente, para Birrí y Jalapa como una relación lineal entre las respuestas de las procedencias con los sitios con respecto al número de brotes por planta. La misma relación se presentó para Sanarate con respecto a la altura de las plantas. Para el área basal la interacción genotipo-ambiente no pudo ser explicada a un nivel individual. Esta interacción a nivel individual fue muy difícil de detectar en este estudio, debido a que únicamente se evaluó tres sitios, por lo que se debió emplear 1 y 1 grados de libertad en el análisis de regresión individual. Para nuevos estudios sobre interacción genotipo-ambiente se recomienda evaluar por lo menos cuatro sitios.

7. Se encontró en los tres sitios una diferencia marcada entre las procedencias con respecto al número de brotes, área basal y altura total por planta a un año de edad. Generalmente Hojancha (ex Indonesia, ex Guatemala) y Salitrales, ambas *C. calothyrsus*, presentaron los crecimientos mayores, especialmente en los mejores sitios. Estas mismas procedencias presentaron la menor ramificación en el caso de Hojancha, que además presentó las copas más estrechas, mientras que Salitrales fue junto con Birrí, las procedencias más ramificadas. Estas características podrían permitir seleccionar una procedencia de alto rendimiento con la forma del arbusto que más se adapte a los requerimientos del sistema de plantación.
8. En los sitios Hojancha y Turrialba los resultados obtenidos en cuanto al crecimiento no deberían variar mucho con respecto al crecimiento esperado al final del primer turno, que para ambos casos podría considerarse entre los 18 y 24 meses, sin embargo, luego de la primera corta por tala rasa, el manejo siguiente consistiría en cortas anuales de los rebrotes, por lo tanto sería recomendable continuar este estudio, con el fin de conocer la variación en el tiempo entre las procedencias, con respecto a la capacidad de rebrote, rendimiento, longevidad del tocón y calidad de la leña.

9. Modelos de regresión empleando únicamente el área basal por planta a 5 cm sobre el suelo, fueron muy eficientes para predecir el rendimiento en peso de leña. Estudios futuros sobre correlación del crecimiento de las procedencias con el clima del origen, así como estudios de correlación juvenil-maduro deben prestar atención especial a esta variable de crecimiento.
  
10. Se observó con respecto al crecimiento en la etapa de campo en Turrialba, una tendencia clinal en la cual conforme aumentó la temperatura del origen de las procedencias, aumentó también el crecimiento de las procedencias, principalmente en cuanto al área basal. Para nuevos estudios de procedencias con esta especie, se recomienda prestar atención a las procedencias de elevaciones bajas.
  
11. El crecimiento de las procedencias en el vivero, fue un buen indicador de sus respuestas en el crecimiento en el campo, especialmente en área basal por planta en Hojancha y en San Ramón. El diámetro y la altura de las plántulas en el vivero fueron las mejores variables juveniles para predecir el crecimiento en la etapa de campo en los dos sitios mencionados. Se recomienda para evaluaciones posteriores a nivel de vivero y en estudios de correlación juvenil-maduro, prestar atención especial a las variables diámetro al nivel del cuello y altura de las plántulas.

## BIBLIOGRAFIA

1. ALLARD, R.W. y BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science* 4:503-508. 1964.
2. ALLEN, P.J. Genotypic and phenotypic correlations of wood and tree characteristics. In Progress and Problems of Genetic Improvement of Tropical Forest Trees. Joint workshop of the IUFRO working parties S 2.02-08 tropical species provenances and S 2.03-01 breeding tropical species, Queensland, Australia, 1977. Proceedings. Edited by D.G. Nikles, J. Burley and R.D. Barnes. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1978. v. 1. pp. 184-196.
3. ANDERSON, R.L. y BANCROFT, T.A. Statistical theory in research. New York, Mc Graw-Hill, 1952. 399 p.
4. BAGGIO, A. y HEUVELDOP, J. Initial performance of Calliandra calothyrsus Meissn. in live fences for the production of biomass. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1982. 14 p. 18 refs. (mimeogr).
5. BARNES, R.D., GIBSON, G.L. y BARDEY, M.A. Variation and genotype-environment interaction in international provenance trials of Pinus caribaea var. hondurensis and implications for population improvement strategy. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1980?. 20 p.
6. BEVEGE, D.I. y SIMPSON, J.A. Provenance x soil environment interaction in eighth-months-old Pinus caribaea var. hondurensis under glasshouse conditions in southern queensland. In Tropical Provenance and Progeny Research and International Cooperation. Joint meeting of the IUFRO working parties S 2.02.8 tropical species provenances and S 2.03.1 breeding tropical and subtropical species, Nairobi, Kenya, 1973. Proceedings. Edited by J. Burley and D.G. Nikles. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1973. pp. 52-62.
7. BINSWANGER, H.P. y BARAH, B.C. Yield risk, risk aversion, and genotype selection: conceptual issues and approach. International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics. Research Bulletin No.3. 1980. 25 p.
8. BURDON, R.D. Genetic correlation as a concept for studying genotype-environment interaction in forest tree breeding. *Silvae Genetica* 25(5/6):168-175. 1975.
9. BURLEY, J. Methodology for provenance trials in the tropics. *Unasylva* 23(3):24-28. 1969.

10. BURLEY, J. Generalised analysis of provenance experiments. In Tropical Provenance and Progeny Research and International Cooperation. Joint meeting of the IUFRO working parties S 2.02.8 tropical species provenances and S 2.03.1 breeding tropical and subtropical species, Nairobi, Kenya, 1973. Proceedings. Edited by J. Burley and D.G. Nikles. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1973. pp. 388-391.
11. BURLEY, J. y WOOD, P.J., comps. Manual sobre investigaciones de especies y procedencias con referencia especial a los trópicos. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1979. 297 p.
12. BURLEY, J. Choise of species and possibility of genetic improvement for smallholder and community forest. Commonwealth Forestry Review 59(3):311-326. 1980.
13. BURLEY, J. Selection of species for fuelwood plantations. Commonwealth Forestry Review 59(2):133-147. 1980.
14. CALLAHAN, R.Z. Provenance research: investigation of genetic diversity associated with geography. Unasylva 18(2/3):40-50. 1964.
15. CANNELL, M.G.R., THOMPSON, S. y LINES, R. Heights of provenances and progenies of Pinus contorta in britain correlated with seedling. Silvae Genetica 30(6):166-173. 1981.
16. CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. Resumen de los datos meteorológicos registrados en la estación meteorológica del CATIE, desde su iniciación de observaciones hasta diciembre 1983. Turrialba, Costa Rica, 1984. 2 p.
17. COCHRAN, W.G. y COX, J.G.M. Diseños experimentales. México, Trillas, 1981. 954 p.
18. COSTA RICA. DIRECCION GENERAL FORESTAL Y CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía. Informe técnico anual 1983. San José, 1984. 181 p.
19. COSTA RICA. INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD e INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL. Catastro de series de precipitaciones medidas en Costa Rica. San José, 1975. 446 p.
20. DITLEVSEN, B. Diseños experimentales. In Mejora Genética de Árboles Forestales; informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora de árboles forestales, Mérida, Venezuela, enero-febrero de 1980. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO: Montes No.20. 1980. pp. 100-117.

21. DITLEVSEN, B. Genética cuantitativa: principios generales y su aplicación práctica en la mejora de árboles forestales. In Mejora Genética de Arboles Forestales; informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales, Mérida, Venezuela, enero-febrero de 1980. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO: Montes No.20. 1980. pp. 177-188.
22. DITLEVSEN, B. Interpretación estadística de los resultados de ensayos. In Mejora Genética de Arboles Forestales; informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales, Mérida, Venezuela, enero-febrero de 1980. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO: Montes No.20. 1980. pp. 118-140.
23. FARGE, T. LA Correlations between nursery and plantations heith growth in slash and loblolly pine. *Forest Science* 21(2):197-200. 1975.
24. FERREIRA, M. y ARAUJO, A.J. DE. Procedimentos e recomendações para testes de procedencias. Curitiba, EMBRAPA-URPFCS, 1981. 28 p.
25. FINLAY, K.W. y WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal Agricultural Research* 14:742-754. 1963.
26. FONSECA MACHADO, S. DA. Estimacão e interpretação dos componentes da variacão total em experimentos de melhoramento florestal. In Brasil. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Curso: praticas experimentais em silvicultura. Piracicaba, 1979. pp. H1-H20.
27. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Wood fuel surveys. Roma, 1983. 202 p.
28. FRANKLIN, E.C. Juvenile-mature correlations. In Progress and Problems of Genetic Improvement of Tropical Forest Trees. Joint workshop of the IUFRO working parties S 2.02-08 tropical species provenances and S 2.03-01 breeding tropical species, Queensland, Australia, 1977. Proceedings. Edited by D.G. Nikles, J. Burley and R.D. Barnes. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1978. v. 1. pp. 205-212.
29. FREEMAN, G.H. y PERKINS, J.M. Environmental and genotype-environment components of variability; relations between genotypes grown in different environments and measures of these environments. *Heredity* 27:15-23. 1971.
30. FREEMAN, G.H. y DOWKER, B.D. The analysis of variation between and within genotypes and environments. *Heredity* 30(2):97-104. 1973.

31. FREEMAN, G.H. Statistical methods for the analysis of genotype-environment interactions. *Heredity* 31:339-354. 1973.
32. FREEMAN, G.H. The analysis and interpretation of interactions. Warwick, England, National Vegetable Research Station, 1984?. 13 p.
33. FRIPP, Y.J. y CATEN, C.E. Genotype-environmental interactions in Schizophyllum commune; analysis and character. *Heredity* 27:393-407. 1971.
34. FRIPP, Y.J. Genotype-environmental interactions in Schizophyllum commune; assesing the environment. *Heredity* 28:2230-228. 1972.
35. GIBSON, G.L. Genotype-environment interaction in Pinus caribaea. Oxford, Inglaterra, Commonwealth Forestry Institute, 1982. 112 p.
36. GIBSON, G.L., BARNES, R.D. y BERRINGTON, J. Provenance productivity in Pinus caribaea and its interaction with environment. *Commonwealth Forestry Review* 62(2):93-106. 1983.
37. GRIFFIN, A.R. y CHING, K.K. Geografic variation in douglas pine from the coastal ranges of California; seed, seedling growth and hardness characteristics. *Silvae Genetica* 26:(5/6):149-157. 1977.
38. GULDAGER, P. Priorities in international forestry provenance research in the tropics. In Tropical Provenance and Progeny Research and International Cooperation. Joint meeting of the IUFRO working parties S 2.02.8 tropical species provenances and S 2.03.1 breeding tropical and subtropical species, Nairobi, Kenya, 1973. Proceedings. Edited by J. Burley and D.G. Nikles. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1973. pp. 368-373.
39. HANSON, W.D. Genotype-environment interaction concept for field experimentation. *Biometrics* 20:540-552. 1964.
40. HARDWICK, R.C. y WOOD, J.T. Regression methods for studying genotype-environment interactions. *Heredity* 28:209-222. 1971.
41. HILL, J. Genotype-environment interactions - a challenge for plant breeding. *Journal Agricultural Sciences* 85:477-493. 1975.
42. HOLDRIDGE, L.R. y POVEDA, L. Arboles de Costa Rica. San José, Costa Rica, Centro Científico Tropical, 1975. v. 1. 546 p.
43. INDONESIA. FOREST PRODUCTS RESEARCH INSTITUTE AND STATE FOREST ENTERPRISE. The possibility of kalliandra wood as a source of energy; special report. Bogor, 1977. 25 p.

44. JEFFERS, J.N.P. Experimental design and analysis in forest research. Upsala, Suecia, Aluquist and Wiksells, 1960. 172 p.
45. JOHNSTONE, R.C.B. y SAMUEL, C.J.A. The interaction between genotype and site -its influence on tree selection in programmes in Great Britain. In World forestry congress, 8th, Jakarta, Indonesia, 1978. Proceedings. Jakarta, 1978. v. 5. pp.611-626.
46. KANDYA, A.K. Relationships among seed weight and various growth factors in Pinus oocarpa Schied, seedlings. Indian Forester 104(8):561-567. 1978.
47. KARSCHON, R. Growth of Eucalyptus camaldulensis in Israel as related to latitude and longitude of seed origin. In Tropical Provenance and Progeny Research and International Cooperation. Joint meeting of the IUFRO working parties S 2.02.8 tropical species provenances and S 2.03.1 breeding tropical and subtropical species, Nairobi, Kenya, 1973. Proceedings. Edited by J. Burley and D.G. Nikles. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1973. pp. 269-274.
48. KNIGHT, R. The measurement and interpretation of genotype-environment interactions. Euphytica 19:225-235. 1970.
49. LADRACH, W. Metodología de los ensayos de procedencias. In Reunión Anual de Investigación Forestal "Mejoramiento de bosques a través de selección genética", 5a, Popayán, Colombia, 1980. Informe. Cali, Cartón de Colombia, S.A., 1980. pp. 11-16.
50. LEDIG, F.T. An analysis of methods for the selection of trees from wild stands. Forestry Sciences 20:2-16. 1974.
51. LITTLE, E.L. Jr. Common fuelwood crops; a handbook for their identification. West Virginia, Communi-tech Associates, 1983. 354 p.
52. MATHESON, A.C. Genotype-environment interaction. In Progress and Problems of Genetic Improvement of Tropical Forest Trees. Joint workshop of the IUFRO working parties S 2.02-08 tropical species provenances and S 2.03-01 breeding tropical species, Queensland, Australia, 1977. Proceedings. Edited by D.G. Nikles, J. Burley and R.D. Barnes. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1978. v. 1. pp. 227-236.
53. MATHESON, A.C. y RAYMOND, C.A. Provenance x environment interaction, its detection, practical importance and use in tropical forestry. Canberra, CSIRO, 1984. 36 p.

(Paper presented in the conference on "Provenance and genetic improvement strategies", Mutare, Zimbabwe, 9-14 April 1984).



54. MENG, C.H. y DUBASZ, R.J. The use of transformation in forest mensuration. In Problems in Forest Biomass Mensuration and Growth and Yield Studies. Annual meeting of the subject-group S 4.01-00 of IUFRO, Orleans, Francia, 1983. Proceedings. Edited by D. Auclair. Francia. Institut National de la Recherche Agronomique. Les colloques del INRA No.19. 1983. pp. 143-151.
55. NAMKOONG, G. Elección de estrategias para el futuro. *Unasylya* 30(119/120):38-41. 1978.
56. NAMKOONG, G. Genotype by environment interaction: some theoretical considerations. s.n.t. 45 p.  
Reprinted from Fifth North American Forest Biology Workshop Proceedings Univ. Fla., Gainesville, 1978.
57. NAMKOONG, G., BARNES, R.D. y BURLEY, J. Phylosophy of breeding strategy for tropical forest trees. Oxford, Commonwealth Forestry Institute. Tropical Forestry Papers No.16. 1980. 67 p.
58. NAMKOONG, G. Introduction to quantitative genetics in forestry. London, Castle House Publications, 1981. 342 p.
59. ORTIZ CASTILLO, L.F. Crecimiento inicial de 18 especies forestales con diseño de espaciamiento Nelder en tres localidades de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1984. 138 p. 115 refs.
60. PALMBERG, C. Principios y estrategias para el mejor aprovechamiento de los recursos genéticos forestales. In Mejora Genética de Arboles Forestales; informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales, Mérida, Venezuela, enero-febrero de 1980. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO: Montes no.20. 1980. pp. 27-50.
61. PALMBERG, C. Un acervo genético leñero en peligro. *Unasylya* 33 (133):22-30. 1981.
62. PASCA, T.M. Editorial. *Unasylya* 33(131):2-3. 1981.
63. PERKINS, J.M. y JINKS, J.L. Environmental and genotype-environmental components of variability; multiple lines and crosses. *Heredity* 23:339-356. 1968.
64. QUIJADA, R.M. Interacción genotipo-ambiente. In Mejora Genética de Arboles Forestales; informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales, Mérida, Venezuela enero-febrero de 1980. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO: Montes No.20. 1980. pp. 231-235.

65. RAKOTOMAVAMPISON, A. Nursery measurements in the provenance trial of Pinus caribaea at Besakay, Madagascar, during May, 1973. In Tropical Provenance and Progeny Research and International Cooperation. Joint meeting of the IUFRO working parties S 2.02.8 tropical species provenances and S 2.03.1 breeding tropical and subtropical species, Nairobi, Kenya, 1973. Proceedings. Edited by J. Burley and D.G. Nikles. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1973. pp. 183-187.
66. SCHEFFE, H. The analysis of variance. New York, John Willey, 1959. 477 p.
67. SHELBORNE, C.J.A. Genotype-environment interaction: its study and its implications in forest tree improvement. s.n.t. 28 p.  
  
(Paper presented at the IUFRO genetics-sabrao joint symposia, Tokyo, 1972).
68. SHUKLA, G.K. Some statistical aspects of partitioning genotype-environment components of variability. Heredity 29(2):237-246. 1972.
69. SNEDECOR, G.W. y COCHRAN, G.W. Statistical methods. 6th. ed. The Iowa State University Press, 1967. 593 p.
70. SOEJORNO, R. y SUHAENDI, H. The prospect of Calliandra plantations in Indonesia. Bogor, Indonesia, Forest Research Institute, 1981. 19 p.
71. SQUILLACE, A.E. y GANSEL, CH.R. Juvenile-mature correlations in slash pine. Forest Science 20(3):225-229. 1974.
72. U.S. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Calliandra: a versatile small tree for the humid tropics. Washington, D.C., National Academy Press, 1983. 52 p.
73. U.S. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Especies para leña, arbustos y árboles para la producción de energía. Trad. de la edición inglesa por Vera Argüello de Fernández y Tradinsa. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1984. 344 p.
74. VIVEKANANDAN, K. Nurse stage of the Pinus caribaea international provenance trial in Sri Lanka. In Tropical Provenance and Progeny Research and International Cooperation. Joint meeting of the IUFRO working parties S 2.02.8 tropical species provenances and S 2.03.1 breeding tropical and subtropical species, Nairobi, Kenya, 1973. Proceedings. Edited by J. Burley and D.G. Nikles. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1973. pp. 23-39.

75. VIVEKANANDAN, K. Variation of seedling traits of Pinus merkusii jungh, et de vriese provenances. In Progress and Problems of Genetic Improvement of Tropical Forest Trees. Joint workshop of the IUFRO working parties S 2.02.08 tropical species provenances and S 2.03.01 breeding tropical species, Queensland, Australia, 1977. Proceedings. Edited by D.G. Nikles, J. Burley and R.D. Barnes. Oxford, Commonwealth Forestry Institute, 1982. v. 2. pp. 711-713.
76. WIERSUM, K.F. Literature review of Calliandra calothyrsus. Wageningen. s.e., 1981. 7 p.
77. WILLAN, R.L. Ensayo de especies y procedencias. In Mejora Genética de Arboles Forestales; informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales, Mérida, Venezuela, enero-febrero de 1980. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO: Montes No. 20. 1980. pp. 141-153.
78. WILLAN, R.L. Mejoramiento de árboles forestales en relación con la política forestal nacional y el manejo de árboles forestales. In Mejora Genética de Arboles Forestales; informe sobre el curso de capacitación FAO/DANIDA sobre la mejora genética de árboles forestales, Mérida, Venezuela, enero-febrero de 1980. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Estudio FAO: Montes No.20. 1980. pp. 11-17.
79. WRIGHT, J.W. Genetics of forest tree improvement. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Forestry and Forest Products Studies No.16. 395 p. 1962.
80. WRIGHT, J.W. Introduction to forest genetics. New York, Academic Press, 1976. 463 p.
81. WRIGHT, A.J. The significance for breeding of linear regression analysis of genotype environment interaction. *Heredity* 37: 83-93. 1976.
82. YATES, F. y COCHRAN, W.G. The analysis of groups of experiments. *Journal Agricultural Sciences* 28:556-580. 1938.
83. YEISSER, J.L., BULJTENEN, J.P. VAN y LOWE, W. Genotype-environment interactions and seed movements for loblolly pine in the western golf region. *Silvae Genetica* 30(6):196-200. 1981.
84. YUDODIBROTO, H. Benefits from leguminous trees as obtained in Indonesia in the form of fuel and other products. Honolulu, Hawaii, Environment and Policy Institute, 1981. 37 p.
- (Presented on the Workshop on Environmentally-sustainable Agroforestry and Fuelwood Production with Fast-growing, Nitrogen-fixing, Multi-purpose Legumes, November, 1981).

85. ZOBEL, J. Mejora genética de las propiedades de la madera de especies forestales. *Unasyuva* 18(2-3):89-103. 1964.
86. ZOBEL, R. y KELLISON, R.C. The importance of genotype-x-environment interaction in forest management. In World Forestry Congress, 8th, Jakarta, Indonesia, 1978. Proceedings. Jakarta, 1978. v. 5. pp. 627-636.
87. ZOBEL, B. La necesidad de mejora genética en las plantaciones forestales de Venezuela. *Venezuela Forestal* 6:2-11. 1982.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Información general sobre *Calliandra calothyrsus* Meissn.

TAXONOMIA

- . Nombre científico: *Calliandra calothyrsus* Meissn.
- . Familia: Leguminosae. Subfamilia: Mimosoideae.
- . Sinónimos: *Calliandra confusa* Sprague & Riley, *Calliandra similis* Sprague & Riley (51).
- . Nombres comunes: carboncillo (Costa Rica); canilla (Guatemala); calliandra, cabello de ángel, pelo de ángel (español); calliandra (inglés); kaliandra (Indonesia) (51).
- . Distribución natural: desde el sur de México hasta Panamá, el norte de Sur América y Surinam. Introducida a Indonesia en 1936 desde el sur de Guatemala, cubriendo actualmente una extensión de más de 170 000 ha (51, 72).
- . Observaciones: la taxonomía de *Calliandra calothyrsus* es confusa. Fue descrita primeramente en 1848, con un espécimen colectado en Surinam. En 1923 fue descrita la especie *Calliandra confusa* (Sprague et Riley) de Guatemala y mostró diferencias pequeñas pero definidas con la primera. Comparaciones recientes, indican que la planta en Indonesia muestra semejanzas con ambas y por lo tanto, puede asumir se que son sinónimos y debe entonces permanecer el nombre más antiguo (72, 73).

ASPECTOS ECOLOGICOS

- . Temperatura media anual: 18 a 25°C (18).
- . Precipitación media anual: más de 1 000 mm, pero crece mejor entre 2 000 y 4 000 mm. Soporta hasta seis meses secos (72).
- . Elevación: crece hasta 1 800 msnm. En Java crece mejor entre 250 y 800 msnm (72).
- . Zonas de vida según Holdridge: bh-T, bmh-T, bh-P y bmh-P (18).
- . Suelos: en Indonesia crece en andosoles, vertisoles, ultisoles, latosoles y regosoles. No es exigente en suelos y prefiere aquellos de

origen volcánico, ligeramente ácidos y de textura liviana (70, 72). Este estudio muestra que la especie crece bien aún en suelos muy ácidos, pobres y con contenidos muy elevados de aluminio. No tolera suelos mal drenados debido a que sus raíces son muy susceptibles a deficiencias de oxígeno y puede morir después de dos semanas de inundación (76).

#### ASPECTOS BOTANICOS

- . Raíces: posee raíces superficiales y profundas, que pueden crecer hasta 2 metros en las dos direcciones (72).
- . Fuste: es un arbusto ramificado desde la base.
- . Tamaño máximo: en plantaciones puede alcanzar hasta 30 cm de diámetro en la base y 12 m de altura, pero generalmente alcanza de 4 a 6 metros de altura, y se cosecha con 3 a 5 cm de diámetro (72).
- . Copa: abierta
- . Corteza: lenticular, de color pardo-negruzca (51).
- . Hojas: bipinadas, siempreverdes, pero si ocurre más de seis meses de sequía podría perder las hojas (51, 72).
- . Flores: inflorescencias terminales con estambres rojo-púrpura, numerosos y largos. Florece de cuatro a seis meses después de plantada. La floración ocurre durante todo el año, pero es más intensa durante la época seca (18, 72).
- . Fruta: vaina de 8 a 11 cm de largo y 12 mm de ancho (51), y contiene de 3 a 15 semillas. La semilla madura dos meses después de la polinización y puede ser sembrada inmediatamente (72). La vaina se debe cosechar cuando está cambiando a color café. Un kilo contiene entre 14 000 y 15 000 semillas secas al aire (18, 72).

#### USOS

- . Leña: produce leña de pequeñas dimensiones, muy adecuada para el consumo doméstico y de algunas pequeñas industrias (43, 72). Las principales características son su facilidad de establecimiento, producción rápida de leña, facilidad de manejar y cosechar, y muy buena capacidad

para rebrotar con cortas anuales durante 15 a 20 años (43, 72, 76). La leña seca rápidamente y puede usarse seis días después de cosechada (72). Muy popular en Indonesia (44, 72).

- . Gravedad específica: de 0,5 a 0,8 gr/cm<sup>3</sup> (44).
- . Poder calórico: 19 340 (18 840 - 19 675) kj/kg (44). En Costa Rica se ha encontrado 18 880 (17 580 - 19 470) kj/kg. (1 caloría = 4,186 joules).
- . Contenido de ceniza: 1,8% (44) (0,7% en Costa Rica).  
Es considerada como una leña de mejor calidad que la de *Leucaena leucocephala* (44, 76).
- . Pulpa y papel: en Java se usa mezclando menos del 10% con otras especies (72). El contenido de celulosa es de 44 a 56%. La longitud de la fibra es de 0,66 a 0,84 mm, pero puede alcanzar hasta 1,3 mm. El diámetro del lumen es de 17,4 a 18,4  $\mu$  y el espesor de la pared de la fibra de 4,4 a 6,00  $\mu$  (70, 72). La madera contiene cerca del 3% de extractivos. Su tamaño pequeño dificulta su manejo y astillado (72).
- . Control de erosión: muy apropiada por su rápido crecimiento, follaje denso, raíces extensas y profundas, y por su capacidad de crecer en suelos marginales (70, 72). La erosión del suelo en plantaciones de ocho años en Indonesia fue de 2,4 toneladas/ha/año (84).
- . Mejoramiento del suelo: mejora su condición y productividad mediante la fijación de nitrógeno y producción de hojarasca (72, 73). En Java se rota algunos años con los cultivos, lo que incrementa notoriamente los rendimientos agrícolas y permite aún su utilización como combustible (72).  
Produce 3,4 toneladas de hojarasca/ha/año (84).
- . Forraje: no ha sido ampliamente probada. El ganado aprecia sus hojas que contienen 22% de proteína cruda (73, 76). Se ha registrado rendimientos de 7 a 10 toneladas de forraje seco por ha (76).
- . Apicultura: sus flores son ricas en néctar y florecen durante la mayor parte del año. La miel producida tiene un sabor agrídulce. Incrementa la producción de polen en las colmenas (18, 72).



- . Sombra de cultivos: en Costa Rica se está ensayando como especie de sombra para el café y ha dado muy buenos resultados (18).
- . Carbón (43): Rendimiento de 35%
  - Gravedad específica: 0,37 gr/cm<sup>3</sup>
  - Valor calórico: 30 220 (28 880 - 30 560) kj/kg
  - Contenido de ceniza: 3,9%
  - Carbono fijo: 78,8%
- . Además, puede ser empleada como ornamental, barrera rompiefuegos o intercalada con cultivos agrícolas (70, 72).

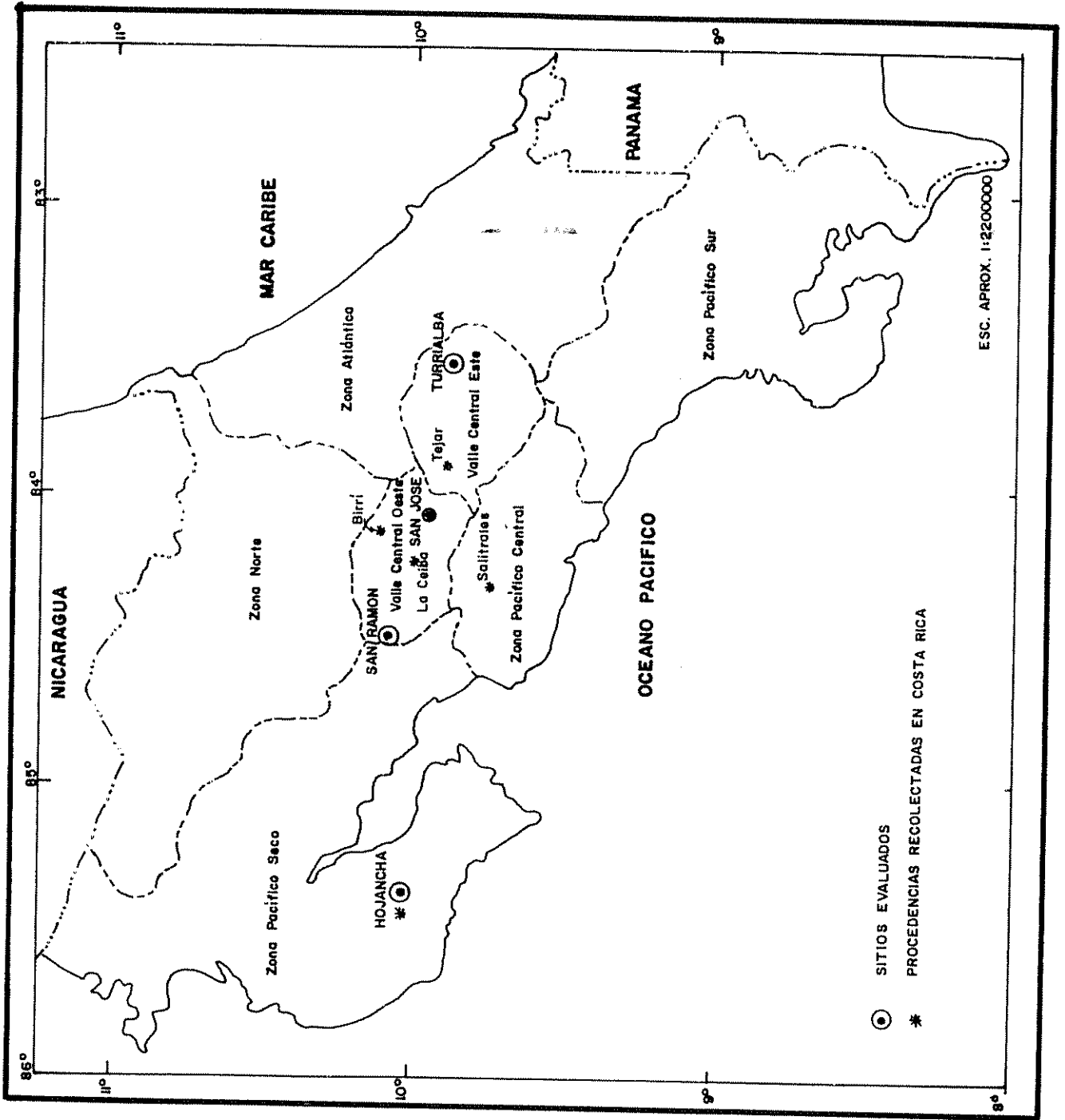
#### ASPECTO SILVICULTURALES

- . Germinación de semilla fresca: entre 70 a 90% (18).
- . Almacenamiento de semillas: si se almacena en frío, puede conservar su viabilidad hasta por 2,5 años. En condiciones ambientales puede almacenarse por un año. Sin embargo, produce semilla continuamente (72).
- . Tratamiento pregerminativo: germina más rápidamente si se coloca en agua a 70°C por 10 minutos y luego 24 horas en agua a temperatura ambiente (18, 72).
- . Métodos de producción: en bolsas de polietileno sembrando dos semillas por bolsa y por "pseudoestacas" o "tocón" (18, 72, 84). Se recomienda el uso de pseudoestacas con 15 cm de raíz y 10 a 20 cm de tallo (84). Plántulas o pseudoestacas pueden obtenerse de la abundante regeneración natural. El uso de estacas no da buenos resultados. Con precipitación y manejo favorable puede ser sembrada directamente en el campo (72).
- . Tiempo de producción: 2 a 3 meses para bolsas con 40 a 50 cm de altura y alrededor de 4 meses para pseudoestacas (18, 72).
- . Espaciamiento para leña: 1 m x 1 m ó 2 m x 1 m (72, 84).
- . Como sombra para el café puede ser plantada entre 3 m x 3 m y 4 m x 4 m aproximadamente (18).
- . Fertilización: en suelos pobres responde bien a aplicaciones de fertilizante, especialmente fosfato (72). En Indonesia la fertilización con NPK produjo un incremento de 170% en altura y 66% en diámetro a los dos años de edad, comparado con parcelas no fertilizadas (84).

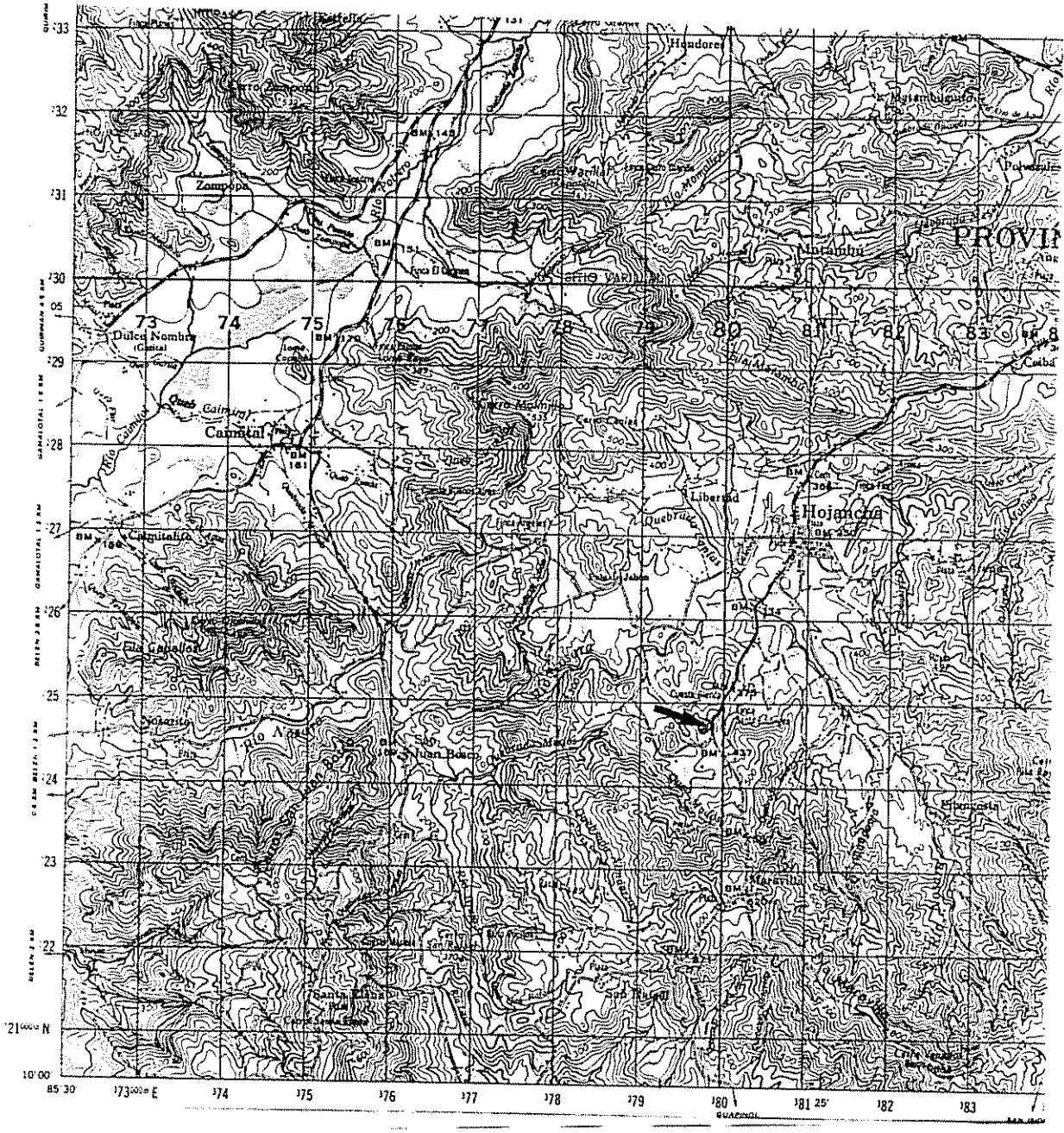
- . Requiere eliminación de las malezas durante el primer año, luego rápidamente cierra las copas, impidiendo el crecimiento de malezas (72, 84).
- . Manejo: La primera cosecha se realiza dos años después de plantada (84), luego puede ser cosechada anualmente y las rotaciones anuales por tallar varían entre 10 y 15 años (72, 84), se encontró que en algunos casos rebrota aún después de 20 años o más (72). Se recomienda cortar a finales de la época seca, debido a que las primeras lluvias favorecen el rebrote (72, 84). El corte se hace entre 20 a 50 cm sobre el suelo (72). Yudodibrotó (84), recomienda cortar lo más próximo posible al suelo (aproximadamente 10 cm), para obtener rebrotes más rectos.
- . Rendimientos: el rendimiento de *C. calothyrsus* varía mucho de acuerdo con la calidad del sitio, edad de las plantas y espaciamiento (84). Durante el primer año las plantas pueden alcanzar de 3 a 5 m de altura y 5 a 8 cm de diámetro a la altura del corte y puede rendir entre 5 y 20 m<sup>3</sup>/ha (3 a 11 toneladas). Luego se efectúan cortas anuales de los rebrotes que producen entre 35 y 65 m<sup>3</sup> de leña por ha (19 a 36 toneladas) (72). En Hojancha, Costa Rica, se encontró que cinco parcelas de dos años de edad, plantadas a 2 m x 2 m, produjeron un promedio de 30 estéreos/ha/año (12 toneladas secas al horno); un año después la producción de los rebrotes duplicó ese rendimiento.

1 estéreo (st) = 1 metro cúbico apilado

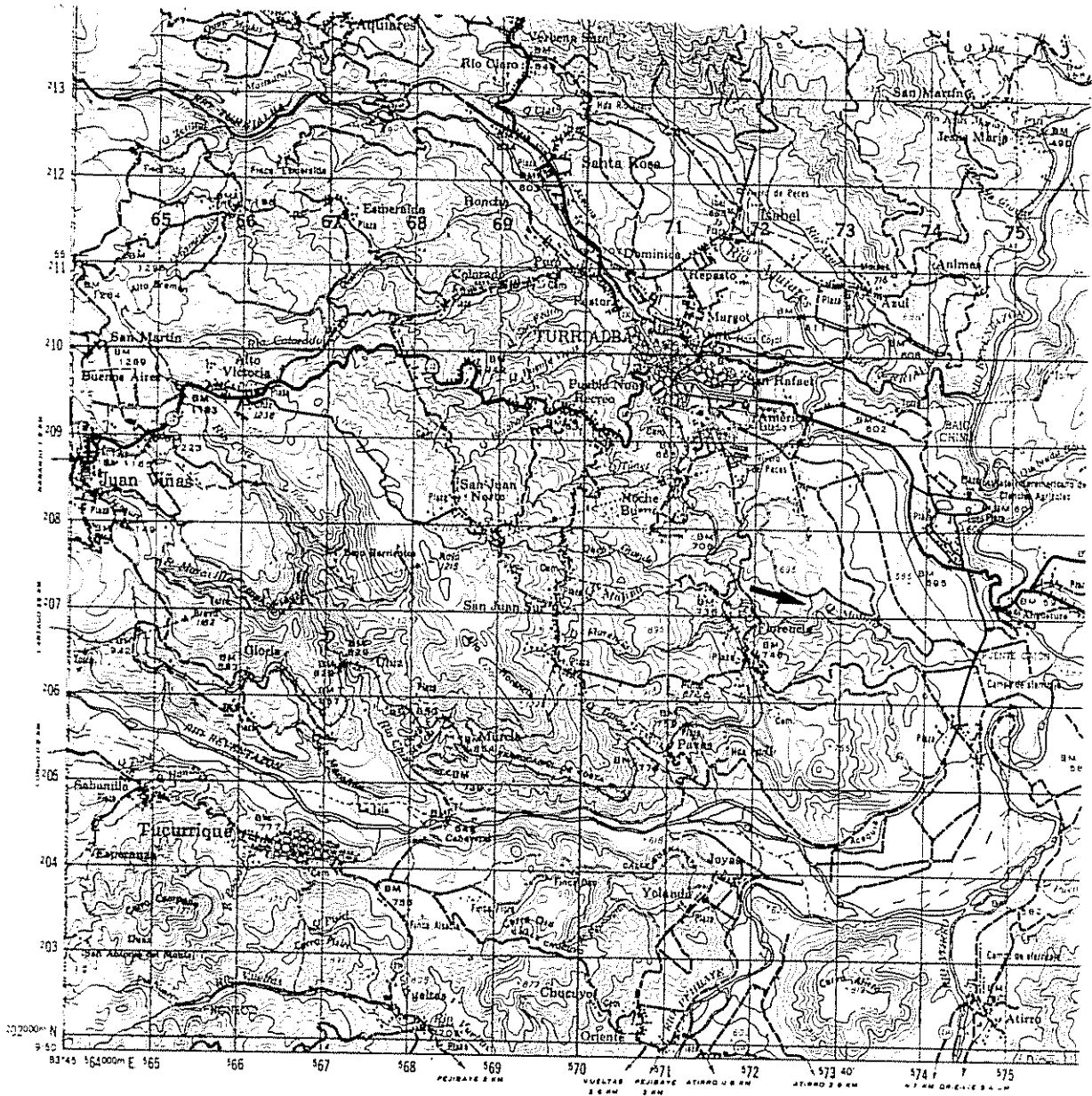
1 st = 0,544 m<sup>3</sup> (sólido) (84)



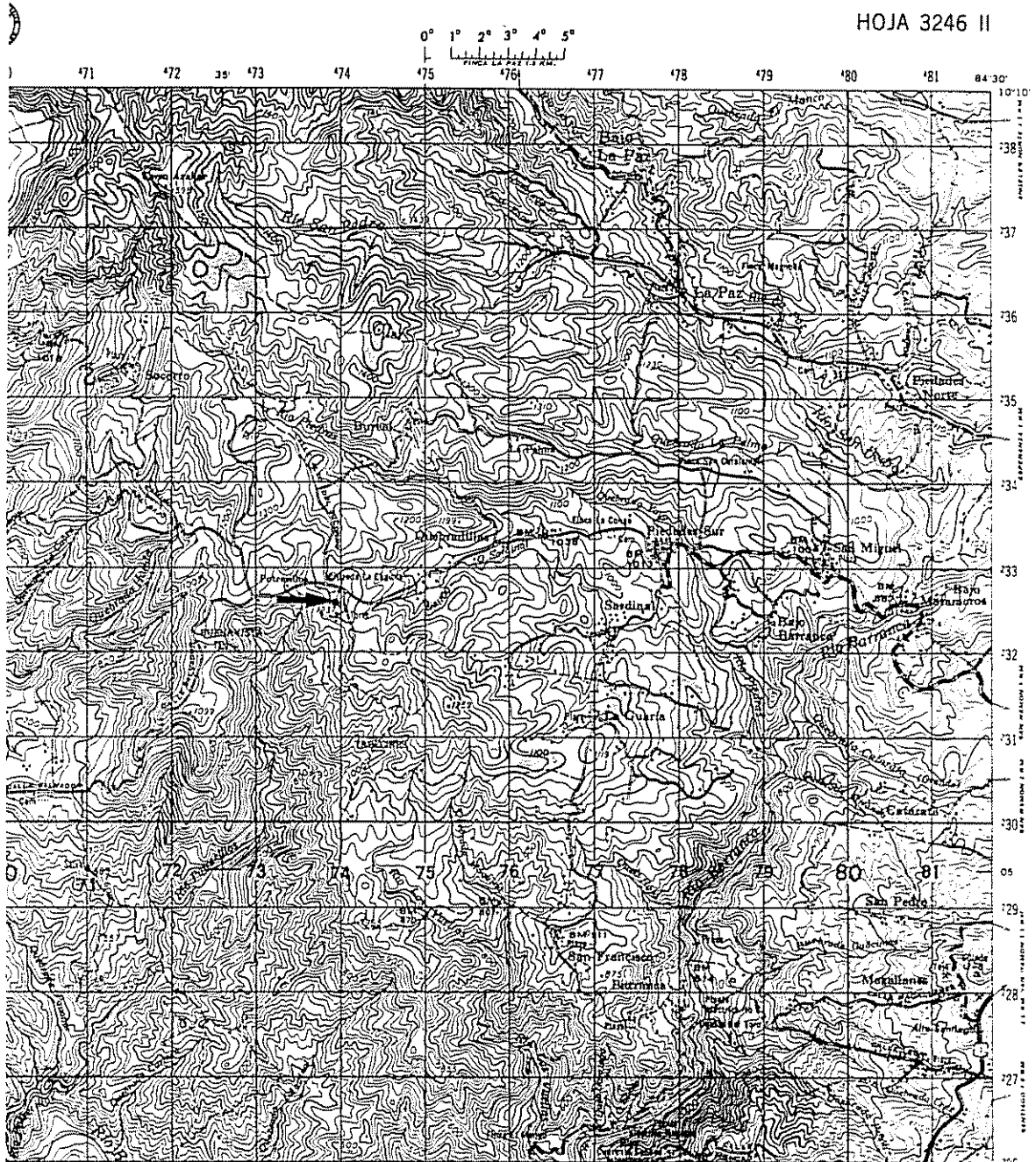
Anexo 2. Ubicación de los sitios evaluados y de las procedencias recolectadas en Costa Rica.



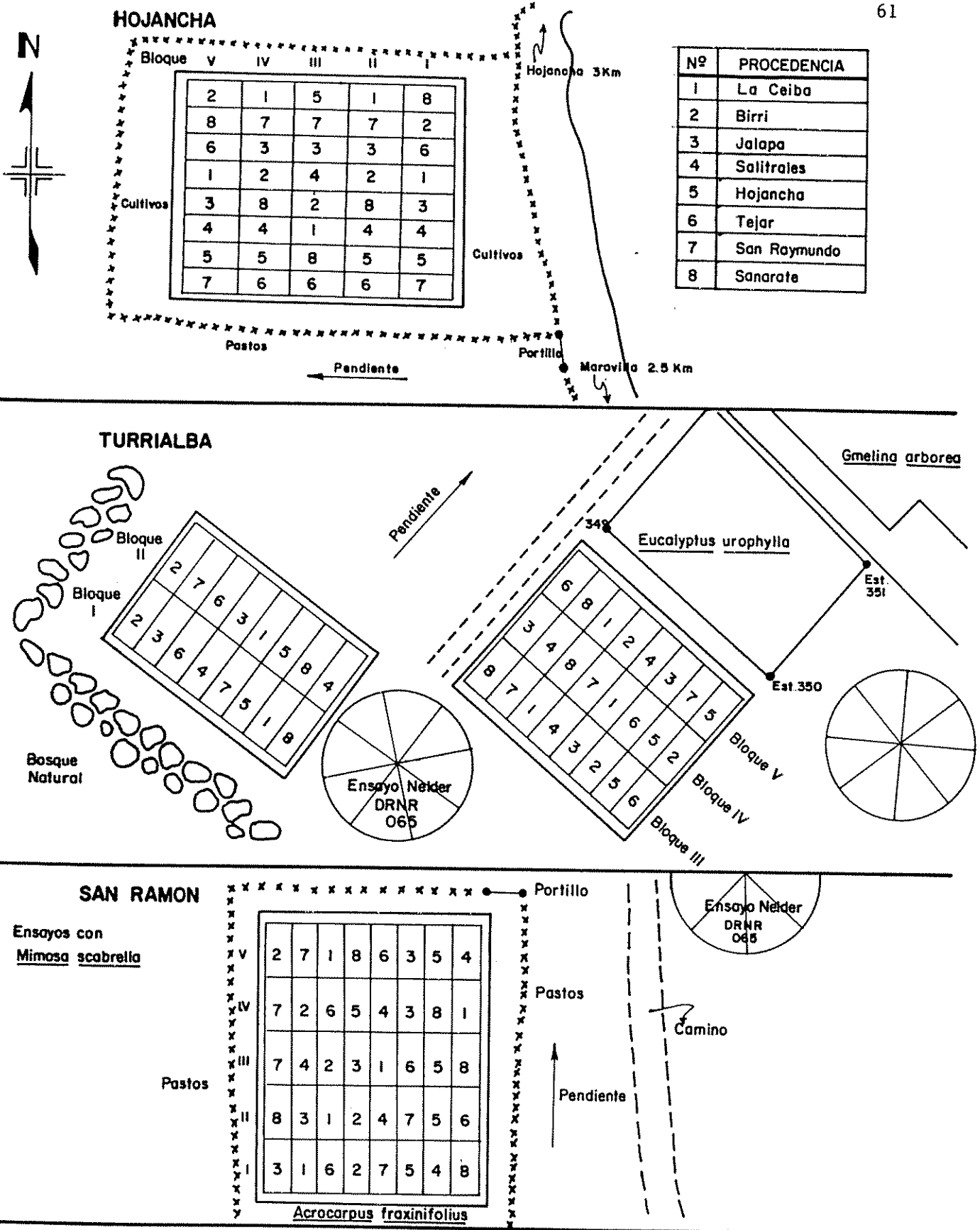
Anexo 3.a. Localización del ensayo de procedencias de *Calliandra* spp en Hojancha (Hoja cartográfica: Matambú, N° 3146III)



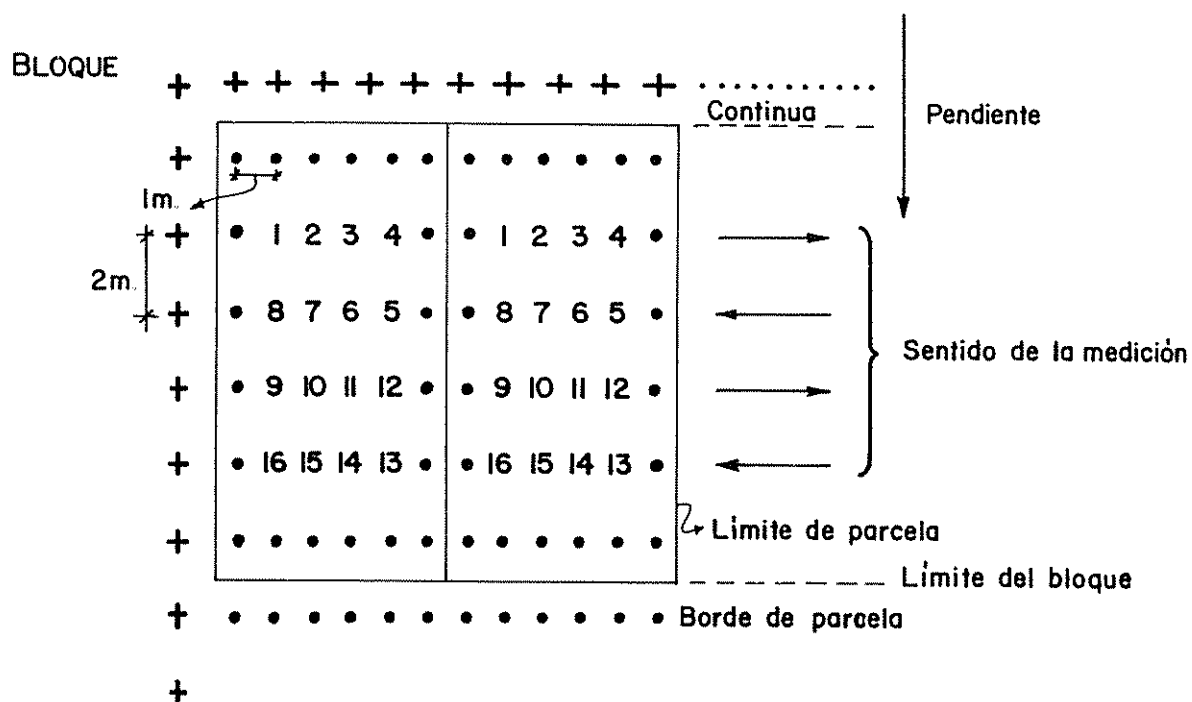
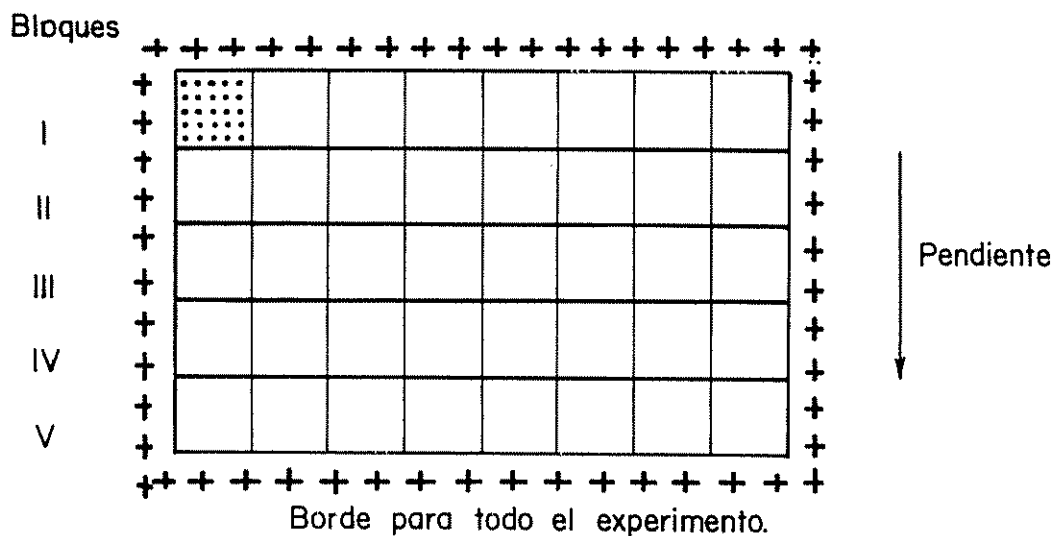
Anexo 3.b. Localización del ensayo de procedencias de *Calliandra* spp en Turrialba  
(Hoja cartográfica: Tucurrique, N° 3445I)



Anexo 3.c. Localización del ensayo de procedencias de *Calliandra* spp en San Ramón  
(Hoja cartográfica: Miramar, N° 3246II)



Anexo 4. Croquis del ensayo de procedencias de *Calliandra* spp. en cada sitio.



- El primer bloque siempre está en la parte superior de la pendiente.
- La primer parcela comienza a la izquierda del bloque y continúan hacia la derecha.
- Dentro de la parcela, el sentido de medición se inicia de izquierda a derecha, comenzando en el extremo superior izquierdo.

## Anexo 5. Sentido generalizado de la medición en los ensayos.





Anexo 7a. Análisis químico y granulométrico de los suelos en Hojancha. Propietario: Benigno Barrantes  
 Uso anterior: Potrero  
 Pendiente: 2-5 %

Bloque	Profundidad (cm)	meq/100 ml suelo				µg/ml suelo				Saturación de Al (%)	Materia orgánica (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura*	
		pH	Al	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn							Cu
I	0-5	5,2	0,20	27,0	9,0	0,32	2	3,2	7	7	0,55	6,59	20	43	37	FA-FAL
	5-20	5,6	0,15	26,5	8,8	0,31	2	2,0	7	7	0,42	5,66	21	39	40	FA-A
	20-40	6,0	0,15	28,5	11,2	0,24	2	1,2	4	8	0,37	2,36	15	42	43	AL
	80-100	6,2	0,15	33,5	14,7	0,09	1	1,0	2	7	0,31	1,42	30	39	31	FA
II	0-5	5,4	0,20	21,5	7,6	0,37	3	3,0	16	8	0,67	7,99	24	44	32	FA
	5-20	5,4	0,20	16,0	6,0	0,41	2	2,0	17	10	0,88	7,05	15	49	36	FAL
	20-40	6,0	0,15	27,0	11,6	0,31	2	0,8	6	12	0,38	3,30	11	36	53	A
	80-100	6,3	0,10	29,5	15,0	0,18	2	0,6	2	9	0,21	1,42	15	33	52	A
III	0-5	5,3	0,20	21,0	7,1	0,44	3	2,6	14	7	0,70	7,53	22	43	35	FA
	5-20	5,4	0,20	22,0	7,1	0,39	3	2,4	10	8	0,67	7,53	18	43	39	FAL
	20-40	5,8	0,15	25,0	9,2	0,32	3	1,4	5	9	0,43	3,75	11	41	48	AL
	80-100	6,2	0,15	26,0	12,5	0,13	5	1,2	1	8	0,39	0,94	22	36	42	A
IV	0-5	5,3	0,20	19,0	6,1	0,37	1	3,6	13	9	0,78	7,99	22	41	37	FA
	5-20	5,6	0,20	23,0	6,7	0,37	1	1,6	8	8	0,66	7,05	17	43	40	FAL-AL
	20-40	6,0	0,15	25,5	9,2	0,32	2	1,2	6	14	0,43	3,30	8	38	54	A
	80-100	6,4	0,10	29,5	13,4	0,15	2	1,2	2	8	0,23	0,48	25	39	36	FA
V	0-5	5,4	0,20	21,5	7,6	0,44	3	2,6	27	9	0,67	7,18	23	41	36	FA
	5-20	5,5	0,20	21,0	7,0	0,42	3	1,8	25	10	0,70	6,74	23	38	39	FA
	20-40	5,9	0,15	12,5	4,9	0,32	3	0,8	11	18	0,84	1,90	17	36	47	A
	80-100	6,3	0,10	30,0	14,7	0,12	3	0,3	2	8	0,22	0,24	36	36	28	FA
Promedio del sitio	0-5	5,3	0,20	22,0	7,5	0,39	2	3,0	15	8	0,67	7,46	22	42	35	FA
	5-20	5,5	0,19	21,7	7,1	0,38	2	2,0	13	8	0,67	6,81	19	42	39	FAL
	20-40	5,9	0,15	23,7	9,2	0,30	2	1,1	6	12	0,49	2,92	12	39	49	AL
	80-100	6,3	0,12	29,7	14,1	0,13	3	0,9	1,8	8	0,27	0,90	26	37	38	FA

\*FA= Franco arcilloso  
 FAL= Franco arcillo limoso  
 A= Arcilloso  
 AL= Arcillo limoso

Anexo 7b. Análisis químico y granulométrico de los suelos en Turrialba. Propietario: CATIE  
 Uso anterior: Plantación de *Pinus caribaea*  
 Pendiente: 2-8 %

Bloque	Profundidad (cm)	pH	meq/100 ml suelo							µg/ml suelo				Saturación de Al (%)	Materia orgánica (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura*
			Al	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	P	Zn	Mn						
I	0-5	4,2	2,95	2,0	1,7	0,16	7	2,0	22	16	43	12,44	40	24	36	FA			
	5-20	4,2	1,05	1,0	0,7	0,10	6	1,4	8	17	37	9,57	19	20	61	A			
	20-40	4,3	3,00	1,0	0,7	0,04	3	1,4	5	18	63	6,22	15	48	37	FAL			
	80-100	4,2	2,50	1,5	0,8	0,03	2	1,6	2	23	52	2,39	10	15	75	A			
II	0-5	4,1	3,45	2,0	0,8	0,15	2	1,6	12	18	54	11,95	36	16	38	FA			
	5-20	4,1	3,50	1,5	0,6	0,09	2	1,8	6	18	62	9,09	20	24	56	A			
	20-40	4,2	2,80	1,5	0,4	0,06	2	2,0	3	18	59	7,66	20	26	54	A			
	80-100	4,1	2,95	1,0	0,3	0,03	3	1,4	2	26	69	3,35	14	17	69	- A			
III	0-5	4,3	2,80	2,0	1,1	0,13	5	2,8	17	17	46	11,02	42	25	33	FA			
	5-20	4,2	3,15	1,5	0,7	0,07	3	3,6	8	20	58	9,09	23	46	31	FA			
	20-40	4,2	3,00	1,5	0,5	0,03	3	3,4	5	16	60	8,15	26	24	50	A			
	80-100	4,3	2,55	1,0	0,5	0,03	3	3,4	2	20	62	2,87	12	17	71	A			
IV	0-5	4,2	2,60	2,0	1,0	0,10	6	4,8	15	14	46	6,22	20	25	55	A			
	5-20	4,2	2,80	1,5	0,8	0,06	6	3,4	6	17	54	7,18	22	28	50	A			
	20-40	4,1	3,10	1,5	0,6	0,03	2	2,6	4	17	59	7,18	16	23	61	A			
	80-100	4,3	2,75	1,0	0,4	0,03	5	3,8	3	22	66	3,30	5	17	79	A			
V	0-5	4,3	2,45	3,0	1,0	0,10	3	4,8	13	17	37	9,41	24	28	48	A			
	5-20	4,2	2,75	2,0	0,8	0,06	5	4,6	6	19	49	8,47	16	28	56	A			
	20-80	4,3	2,90	1,5	0,6	0,06	3	3,6	3	18	57	7,53	19	27	54	A			
	80-100	4,2	2,00	1,0	0,3	0,03	8	1,4	4	22	60	4,69	10	25	65	A			
Promedio del sitio	0-5	4,2	2,85	1,8	1,1	0,13	5	3,2	16	16	45	10,21	32	26	42	A			
	5-20	4,2	2,65	1,5	0,7	0,08	4	3,0	7	18	52	8,68	20	29	51	A			
	20-80	4,2	2,96	1,4	0,6	0,04	3	2,6	4	17	60	7,35	19	30	51	A			
	80-100	4,2	2,55	1,1	0,5	0,03	4	2,3	3	23	62	3,32	10	18	72	A			

\*FA= Franco arcilloso  
 FAL= Franco arcillo limoso  
 A= Arcilloso

Anexo 7c. Análisis químico y granulométrico de los suelos en San Ramón. Propietario: José Angel Vásquez  
 Uso anterior: Potrero  
 Pendiente: 2-5 %

Bloque	Profundidad (cm)	pH	meq/100 ml suelo						µg/ml suelo						Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Materia orgánica (%)	Textura*
			Al	Ca	Mg	K	P	Zn	Mn	Cu	Al	Al (%)	Saturación de Al (%)	Saturación de Al (%)					
I	0-5	5,0	0,40	4,0	1,3	0,10	3	1,6	14	15	6,90	7,45	28	39	33	FA			
	5-20	5,0	0,25	2,5	0,31	3	2,4	10	29	6,65	4,96	32	36	32	FA				
	20-40	5,0	0,20	1,5	0,21	2	2,4	12	30	7,97	2,98	37	35	28	FA				
	80-100	5,0	0,40	1,0	0,15	2	5,8	14	36	21,62	0,51	42	27	31	FA				
II	0-5	4,8	0,40	2,0	0,8	0,26	2	1,6	22	11,56	7,45	31	38	31	FA				
	5-20	4,9	0,25	2,0	0,5	2	1,2	17	28	8,30	3,97	31	38	31	FA				
	20-40	4,9	0,25	1,0	0,3	2	3,6	14	39	14,20	1,98	35	34	31	FA				
	80-100	4,7	0,60	1,0	0,3	2	6,0	13	40	28,44	0,51	40	26	34	FA				
III	0-5	4,8	0,40	2,5	0,7	0,31	2	2,4	26	10,23	7,93	38	35	27	F-FA				
	5-20	4,9	0,20	3,0	0,6	2	2,6	18	33	4,99	5,47	44	32	24	F				
	20-40	4,8	0,20	2,5	0,3	2	4,2	14	42	6,17	2,49	45	30	25	F				
	80-100	4,7	0,30	1,0	0,3	2	4,8	11	57	16,57	1,98	40	26	34	FA				
IV	0-5	4,8	0,20	2,5	0,8	0,37	1	2,2	21	5,17	7,93	40	35	25	F				
	5-20	5,0	0,20	1,0	0,4	2	4,4	15	42	10,15	7,96	50	28	22	FAa-F				
	20-40	5,0	0,20	2,0	0,6	1	2,4	27	35	6,23	2,49	48	32	20	F				
	80-100	4,7	0,40	1,5	0,2	2	7,2	12	42	16,88	1,42	54	23	23	FAa				
V	0-5	4,8	0,20	3,5	0,8	0,32	2	2,8	30	4,15	9,41	46	33	21	F				
	5-20	5,0	0,20	3,0	0,7	1	3,8	19	19	4,77	7,05	48	32	20	F				
	20-40	4,9	0,20	1,0	0,4	1	4,6	14	38	10,05	2,36	48	31	21	F				
	80-100	4,8	0,25	1,0	0,4	2	5,4	10	40	12,69	2,12	56	27	17	Fa				
Promedio del Sitio	0-5	4,8	0,32	2,9	0,9	0,27	2	2,1	23	7,70	8,03	37	36	27	F-FA				
	5-20	5,0	0,22	2,3	0,6	2	2,9	16	30	6,97	5,88	41	33	26	F				
	20-40	4,9	0,21	1,6	0,4	2	3,4	16	37	8,92	2,46	43	32	25	F				
	80-100	4,8	0,39	1,1	0,3	2	5,8	12	43	19,24	1,31	46	26	28	FA-FAa				

\*F = Franco

FA= Franco arcilloso

Fa= Franco arenoso

FAa= Franco arcillo arenoso

Anexo 8. Diseños experimentales, variables evaluadas, metodología y análisis estadísticos empleados en la etapa de vivero.

a) Dimensiones de las semillas

Se midió la longitud, el ancho y el espesor de las semillas, con un calibrador (vernier) con divisiones de 0,1 mm. Las semillas fueron secadas previamente en estufa a 80°C hasta peso constante. Se empleó un diseño experimental irrestrictamente al azar (DIA) con cinco repeticiones y parcelas de 10 semillas.

Pra el análisis estadístico de los datos, se utilizó el Palmer's Statistical Package (PSP) con el Programa ANOVAR. Este programa realiza la prueba de Bartlett que establece si existe o no heterogeneidad de las variancias; realiza el análisis de variancia y aplica la prueba de Tuckey a los tratamientos al nivel de 0,05%.

b) Fase de germinación

Se evaluó el porcentaje de germinación, el período de días para germinar, la longitud del hipocótilo en milímetros y el período para formar hojas después de la germinación. Las semillas se colocaron en camas de germinación con 100% de arena. La arena fue previamente tratada con PCNB <sup>1/</sup>. El diseño experimental fue un DIA con 4 repeticiones y las parcelas constituidas por hileras de 50 semillas.

La germinación fue más baja de lo esperado y a la vez fue muy diferente entre las repeticiones. Esto hizo que no fuera posible utilizar el ANOVAR debido a que se superaba el número máximo de datos faltantes permitidos por el programa. Sin embargo, siempre se tomaron algunos datos que se presentan en el Anexo 11.

---

<sup>1/</sup> Pentacloronitobenzeno

c) Crecimiento a los tres meses en el vivero

1. Sobrevivencia: porcentaje de árboles vivos en la parcela
2. Diámetro: medido al nivel del cuello con calibrador con divisiones cada 0,1 mm
3. Altura: a partir del cuello. Se midió con regla graduada en centímetros
4. Peso seco aéreo: a partir del cuello. Las plantas se colocaron en bolsas de papel y se dejaron en cámara seca (0-3% de humedad relativa) durante ocho semanas
5. Peso seco radicular: Se lavaron las plantas con agua para evitar pérdidas grandes de raíces. Luego se colocaron en bolsas de papel y se siguió el mismo procedimiento que para la parte aérea
6. Peso seco total: suma de peso seco aéreo y el peso seco radicular

Se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con cuatro repeticiones. Para las primeras tres variables, las parcelas fueron de 25 plantas en bolsas de polietileno de 20 cm de altura y 7 cm de diámetro. Para las mediciones de peso seco, se muestrearon sistemáticamente cinco plantas dentro de cada parcela.

En el análisis estadístico de los datos se empleó el programa ANOVAR del PSP.

Anexo 9. Diseños experimentales, variables evaluadas, metodología y análisis estadístico empleados en la etapa de campo

1. Sobrevivencia: expresado como el porcentaje de plantas vivas en la parcela.
2. Diámetro basal (d): es el diámetro medido para cada brote a 5 cm sobre el nivel del suelo. Se utilizó un calibrador con divisiones cada milímetro. Para cada brote se calculó el "área basal", mediante la fórmula  $\frac{\pi d^2}{4}$  y la sumatoria del área basal de cada brote, representó el área basal de la planta.
3. Número de brotes: es el número de brotes por planta a los que se les midió el diámetro basal, o sea a 5 cm sobre el cuello.
4. Altura total: es la altura mayor de la planta. Para plantas menores a un metro se emplearon reglas graduadas en centímetros, luego se utilizaron varas telecópicas usando el decímetro como unidad mínima.
5. Diámetro de copa: promedio del diámetro de la proyección de la copa en dos sentidos; siguiendo la línea de plantas y el otro perpendicular a ella. Se midió con la misma vara de la altura y se expresó en decímetros.

El diseño experimental empleado en todos los sitios fue en bloques completos al azar, con cinco repeticiones y parcelas de 36 árboles con una hilera de borde, por lo tanto, la parcela útil quedó formada por los 16 árboles centrales.

El espaciamiento empleado fue de 2 m x 1 m, por lo que se formaron parcelas rectangulares (6 m x 12 m), que se orientaron paralelas a la pendiente. Cada experimento contó con una línea de borde general. Cada ensayo utilizó 3 200 m<sup>2</sup> (64 m x 50 m).

Se realizó una evaluación de las cuatro primeras variables a los 15 días de plantado el ensayo y se tomó como punto de partida. Posteriormente se realizaron evaluaciones a los 3, 6, 9 y 12 meses para todas las

variables a excepción de San Ramón, donde el diámetro de la copa, debido al crecimiento tan pobre, fue medido a partir de los seis meses.

Se realizó análisis individuales para cada sitio y cada edad, empleando el programa ANOVAR del PSP.

Para la última evaluación se empleó el programa JOYREG del PSP, el cual calcula el efecto de la interacción genotipo-ambiente, hace un análisis de variancia combinando los tres sitios y el análisis de regresión conjunta y de regresión individual. Más detalle sobre el procedimiento del JOYREG se encuentra en el Anexo 18.

Para todos los estudios de correlación tanto de la etapa de vivero, como de la etapa de campo, se empleó el Statistical Analysis System (SAS).



Anexo 10. Análisis de variancia y prueba de Tukey para las dimensiones de las semillas de seis procedencias de *C. calothyrus* y dos de *C. howstoniana*

Longitud (mm)				Ancho (mm)				Espesor (mm)				Largo x ancho x espesor			
gl	F	V(%)	Tukey (P<0,05)	gl	F	V(%)	Tukey (P<0,05)	gl	F	V(%)	Tukey (P<0,05)	gl	F	V(%)	Tukey (P<0,05)
Proced.	7	9,72***	64	Proced.	7	43,14***	89	Proced.	7	95,91***	95	Proced.	7	7,48***	56
Residuo	32	36	11	Residuo	32	11	11	Residuo	32	5	5	Residuo	32	46	46
Proced.	$\bar{X}$	CV%	Tukey (P<0,05)	Proced.	$\bar{X}$	CV%	Tukey (P<0,05)	Proced.	$\bar{X}$	CV%	Tukey (P<0,05)	Proced.	$\bar{X}$	CV%	Tukey (P<0,05)
Tejar	8,5	2		Sanarate	6,1	2		Jalapa*	2,6	3		Jalapa*	99	10	
Salit	8,4	4		Birri	6,0	3		San Raym*	2,5	4		Tejar	93	6	
Sanar	8,3	5		La Ceiba	6,0	3		Tejar	1,9	6		Birri	93	10	
La Ceiba	8,3	2		Salitrales	5,8	3		Birri	1,9	6		San Raym*	91	4	
Birri	8,2	2		Tejar	5,8	3		Salitrales	1,8	3		Salitrales	91	5	
Hojanc.	7,9	3		Hojancha	5,5	2		La Ceiba	1,8	0		Sanarate	88	6	
Jalapa*	7,7	7		Jalapa*	5,1	3		Sanarate	1,7	5		La Ceiba	88	2	
Sn Ray*	7,3	3		San Raym*	4,9	1		Hojancha	1,7	3		Hojancha	73	7	

\*= (P<0,05)

\*\*= (P<0,01)

\*\*\*= (P<0,001)

gl= grados de libertad

V(%)= componente de la variancia en porcentaje

CV(%)= coeficiente de variación de las medias de procedencias

Anexo 11. Porcentaje promedio de germinación, tiempo para germinar, longitud del hipocótilo y días para formar hojas después de la germinación en seis procedencias de *C. calothyrsus* y dos de *C. houstoniana*.

Procedencia	Porcentaje de germinación	Período de germinación (días)	Tiempo promedio para germinación (días)	Longitud del hipocótilo (mm)	Días para formación de hojas (después de germinar)
Tejar	36	5-25	12	27	4
Birrí	34	6-25	17	30	4
La Ceiba	32	5-18	7	31	4
Jalapa*	30	6-25	14	5	5
San Raymundo*	26	6-25	12	6	5
Salitrales	21	5-25	15	34	4
Hojancha	20	6-22	11	30	5
Sanarate	18	4-25	9	30	4

\**C. houstoniana*

Anexo 12. Análisis de variancia y prueba de Tukey para la sobrevivencia, diámetro al cuello, altura y peso seco aéreo, radicalar y total de las plántulas de *C. catrochytius* y *C. houliouana* a los tres meses en el vivero

Sobrevivencia (t)	Diámetro al cuello (mm)				Altura (cm)				Peso seco aéreo (g x 10 <sup>-1</sup> )				Peso seco radicalar (g x 10 <sup>-1</sup> )				Peso seco total (g x 10 <sup>-1</sup> )			
	g1	F	V(N)	g1	F	V(N)	g1	F	V(N)	g1	F	V(N)	g1	F	V(N)	g1	F	V(N)		
Biomasa	1	0,19 NS	0	3	1,56 NS	2	3	0,68 NS	0	3	0,80 NS	0	3	0,83 NS	0	3	0,83 NS			
Proced.	7	3,86 **	42	7	6,73 **	57	7	40,27 ***	89	7	2,71 *	7	2,71 *	42	7	3,93 ***	42			
Residuo	21		58	21		40	21		9	21		21		58	21		58			
Procedencia	$\bar{X}$	CVA	Tukey (P<0,05)	$\bar{X}$	CVA	Tukey (P<0,05)	$\bar{X}$	CVA	Tukey (P<0,05)	$\bar{X}$	CVA	Tukey (P<0,05)	$\bar{X}$	CVA	Tukey (P<0,05)	Procedencia	$\bar{X}$	CVA	Tukey (P<0,05)	
Jalapa $\bar{1}$	98	2		4,5	22		46	6		25	21		11,3	36		Birri	34	16		
La Ceiba	97	2		4,5	12		37	14		24	17		9,3	35		Salitral	33	21		
Salitral	97	4		4,2	17		37	10		24	31		9,3	12		Hojancha	33	32		
Sanarate	95	5		4,0	4		36	5		20	23		8,4	23		La Ceiba	29	21		
Tejlar	92	8		3,7	7		32	6		18	13		8,3	8		Sanarate	28	18		
Birri	91	8		3,2	9		30	6		18	30		7,8	42		Jalapa $\bar{1}$	26	34		
Hojancha	89	11		3,2	14		26	22		16	19		6,3	10		Tejlar	23	13		
San Raym $\bar{1}$	80	4		2,7	8		11	32		10	37		4,9	23		San Raym $\bar{1}$	14	36		

\* = (P<0,05)  
 \*\* = (P<0,01)  
 \*\*\* = (P<0,001)  
 NS = No significativo (P<0,05)  
 (N) = componente de la variancia en porcentaje  
 CV(N) = coeficiente de variación de las medias de procedencias  
 $\bar{1}$  / corresponde a la especie *C. houliouana*, las demás son *C. catrochytius*

Anexo 13. Matriz de correlación entre algunas características del origen de las procedencias y las variables evaluadas en la etapa de vivero para *C. calothyrsus* y *C. houstoniana*

	Elevac	Latit	Precip	Déficit	T max	T min	T med	Long Sem (l)	Ancho (a)	Espesor (e)	Lxaxe	Germ	Tiempo	Hipo	Hojas	Sobre	Altura	Diámetro	PSAE	PSRADI	PSTOTA
Elevac	1,00																				
Latit	-0,27	1,00																			
Precip	0,21	-0,91**	1,00																		
Déficit	-0,51	0,89**	-0,86**	1,00																	
T max	-0,55	0,31	-0,25	0,59	1,00																
T min	-0,47	-0,04	0,25	0,21	0,79*	1,00															
T med	-0,38	-0,06	0,20	0,21	0,81*	0,91**	1,00														
Long Sem	-0,20	-0,65	0,44	-0,36	-0,23	-0,05	0,01**	1,00													
Ancho	-0,33	-0,52	0,36	-0,23	-0,12	0,11	-0,13	0,90**	1,00												
Espesor	0,33	0,64	-0,53	0,25	-0,23	-0,45	-0,35	-0,78*	-0,85**	1,00											
Lxaxe	0,13	0,30	-0,36	0,03	-0,71*	0,81*	-0,73*	-0,00	-0,13	0,59	1,00										
Germ	0,65	-0,30	0,09	-0,57	-0,78*	-0,75*	-0,67	0,14	0,04	0,27	0,54	1,00									
Tiempo	0,56	-0,14	0,30	-0,37	-0,70	-0,41	-0,46	-0,08	-0,18	0,29	0,41	0,20	1,00								
Hipo	-0,28	-0,74*	0,65	-0,40	0,64	0,34	0,24	0,84**	0,89**	-0,97***	-0,46	-0,16	-0,14	1,00							
Hojas	0,40	0,48	-0,30	0,34	0,23	0,09	0,16	-0,76*	-0,82*	0,58	-0,11	-0,30	0,36	-0,66	1,00						
Sobre	-0,32	-0,21	0,21	-0,07	-0,13	0,13	0,26	0,63	0,52	-0,29	0,26	0,04	-0,07	0,37	-0,50	1,00					
Altura	-0,03	-0,78*	0,83*	-0,61	-0,20	0,29	0,33	0,71*	0,58	-0,61	-0,18	-0,01	0,19	0,72*	-0,44	0,70	1,00				
Diámetro	0,22	-0,90**	0,92**	-0,72*	-0,17	0,27	0,27	0,61	0,49	-0,68	-0,42	0,01	0,30	0,76*	-0,24	0,30	0,88**	1,00			
PSAE	-0,06	-0,55	0,70	-0,35	-0,60	0,47	0,36	0,54	0,57	-0,65	-0,34	-0,29	0,34	0,72*	-0,19	0,50	0,84**	0,82*	1,00		
PSRADI	-0,27	-0,46	0,55	-0,32	0,07	0,54	0,42	0,47	0,62	-0,58	-0,33	-0,02	-0,26	0,62	-0,59	0,61	0,69	0,49	0,65	1,00	
PSTOTA	-0,12	-0,57	0,71*	-0,38	-0,04	0,52	0,40	0,58	0,64	-0,68	-0,35	-0,20	0,18	0,75*	-0,34	0,59	0,87**	0,79*	0,97***	0,81*	1,00

Elevac = elevación  
 Latit = latitud  
 Precip = precipitación  
 N° de meses con déficit hídrico  
 Temperatura máxima promedio  
 Temperatura mínima promedio  
 T med = temperatura media  
 Long Sem = longitud de semillas  
 Ancho = ancho de semillas  
 Espesor = espesor de semillas  
 Lxaxe = longitud x ancho x espesor de semillas  
 Germ = germinación (%)  
 Tiempo = tiempo para germinar  
 Hipo = longitud del hipocótilo  
 Hojas = tiempo para formar hojas  
 Sobre = sobrevivencia a tres meses  
 Altura = altura a tres meses  
 Diámetro = diámetro a tres meses  
 PSAE = peso seco aéreo a tres meses  
 PSRADI = peso seco radicular a tres meses  
 PSTOTAL = peso seco total a tres meses  
 \*\*\* = significante P < 0,001  
 \*\* = significante P < 0,01  
 \* = significante P < 0,05

Anexo 14. Porcentaje de sobrevivencia para *C. calothyrsus* y *C. houstoniana* en los tres sitios a los 12 meses de edad.

Procedencia Sitio	Birrí	La Ceiba	Salitrales	Hojancha	Sanarete	Tejar	Jalala*	San Raymundo*	Promedio por sitio
Turrialba	98	99	96	96	89	78	90	90	92
Turrialba	100	100	96	95	98	95	75	86	93
San Ramón	99	96	98	94	90	96	95	80	94
Promedio por procedencia	99	98	97	95	92	90	87	85	93

\* *C. houstoniana*

anexo 15 a. Análisis de variancia y prueba de Tukey para el número de brotes por planta en C. cataglyphis y C. householdiana a todas las edades en los tres sitios.

Sitio	0,5 meses			3 meses			6 meses			9 meses			12 meses			
	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	
	Bloques			Bloques			Bloques			Bloques			Bloques			
Hojancha	Proced.	4	0,48 NS	0	4	2,65 NS	5	4	1,93 NS	3	4	2,40 NS	3	4	1,42 NS	
	Proced.	7	2,84*	27	7	14,17**	69	7	14,00***	70	7	30,59***	83	7	14,75***	
	Residuo	28	73	26	28	26	26	28	27	27	28	14	14	28	26	
	Proced.	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)
	Tejar	1,2	19		3,4	10		3,5	9		3,7	7		3,5	5	
	Birri	1,1	9		3,3	5		3,2	9		3,5	3		3,5	10	
	Sn Raym*	1,1	8		2,3	41		2,2	40		2,7	22		2,5	25	
	Salitra	1,1	5		2,1	22		2,0	20		2,6	12		2,3	36	
	Hojancha	1,0	8		2,0	23		1,9	22		2,0	16		1,9	25	
	Jalapa*	1,0	5		1,7	14		1,7	15		1,7	24		1,7	14	
	Sanarate	1,0	0		1,7	13		1,7	26		1,7	19		1,7	28	
	La Ceiba	1,0	0		1,6	21		1,6	23		1,7	15		1,6	15	
Turrialba	Proced.	4	0,41 NS	0	4	21,09**	66	4	18,18***	64	4	4,19**	18	4	4,33**	
	Proced.	7	1,42 NS	8	7	2,41 NS	7	7	2,01 NS	6	7	5,23***	38	7	5,73***	
	Residuo	28	92	26	28	26	26	28	30	30	28	44	44	28	42	
	Proced.	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)
	Birri	1,1	9		1,4	16		1,9	34		3,3	14		3,3	13	
	Sn Raym*	1,1	7		1,3	23		1,8	48		2,9	8		3,0	7	
	Jalapa*	1,0	4		1,3	18		1,7	39		2,8	20		2,8	21	
	Tejar	1,0	5		1,2	16		1,6	32		2,8	22		2,8	23	
	La Ceiba	1,0	3		1,2	15		1,6	30		2,7	12		2,7	11	
	Sanarate	1,0	3		1,2	14		1,5	28		2,6	19		2,6	18	
	Salitra	1,0	3		1,2	17		1,4	36		2,5	10		2,5	10	
	Hojancha	1,0	0		1,1	7		1,3	16		2,0	15		2,0	18	
San Ramón	Proced.	4	2,31 NS	10	4	1,04 NS	0	4	0,48*	0	4	3,68*	14	4	1,10 NS	
	Proced.	7	3,31*	28	7	4,60**	52	7	6,50***	52	7	6,48***	45	7	5,34***	
	Residuo	28	62	48	28	48	48	28	48	48	28	41	41	28	53	
	Proced.	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)
	Birri	1,2	14		3,0	4		2,8	6		3,0	7		3,4	15	
	Tejar	1,1	8		2,6	12		2,5	14		2,6	22		3,3	10	
	Sn Raym*	1,1	5		2,6	18		2,4	14		2,3	7		3,0	5	
	Hojancha	1,1	8		2,6	18		2,1	13		2,2	19		3,0	18	
	Jalapa*	1,0	3		2,2	22		2,1	13		2,1	30		2,8	13	
	Sanarate	1,0	5		2,1	17		2,1	7		2,1	11		2,8	18	
	Salitra	1,0	5		2,1	20		2,0	7		2,0	10		2,5	18	
	La Ceiba	1,0	0		2,1	16		1,8	12		1,8	12		2,5	26	
Hojancha	1,0	0		2,1	16		1,8	12		1,8	12		2,0	14		

gl = grados de libertad  
 V(%) = porcentaje de la variancia en el componente  
 CV(%) = coeficiente de variancia de las medias de procedimientos  
 \* = significativo P ≤ 0,05  
 \*\* = significativo P ≤ 0,01  
 \*\*\* = significativo P ≤ 0,001  
 NS = no significativo P > 0,05

Anexo 15b. Análisis de variancia y prueba de Tukey para el área basal por planta en *C. entolymphus* y *C. heustoumianus* a todas las edades y en los tres sitios

Sitio	0,5 meses			3 meses			6 meses			9 meses			12 meses			
	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	
	Bloques	Proced.	Residuo	Bloques	Proced.	Residuo	Bloques	Proced.	Residuo	Bloques	Proced.	Residuo	Bloques	Proced.	Residuo	
Hojancha	4	7,99***	13	4	1,38 NS	1	4	4,15**	7	3,12**	4	3,12**	4	4,94**	11	
	7	25,80***	72	7	16,06***	74	7	23,25***	76	7	18,90***	7	18,90***	7	16,84***	68
	28	15	15	28	25	25	28	17	17	28	21	21	28	21	21	21
	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	
	Hojancha	26	18	Birri	517	16	2012	22	22	Salitra	2245	22	22	Salitra	2410	20
	Birri	26	21	Hojancha	515	19	1689	18	18	Birri	1886	18	18	Birri	2031	17
	Salitra	26	25	Salitra	450	5	1665	22	22	Hojancha	1773	18	18	Hojancha	2030	20
	La Ceiba	23	14	La Ceiba	426	16	1419	17	17	Tejar	1580	24	24	Tejar	1799	26
	Tejar	22	11	Tejar	409	29	1237	15	15	La Ceiba	1462	15	15	La Ceiba	1605	17
	Sanarate	13	20	Sanarate	263	16	896	20	20	Sanarate	1081	19	19	Sanarate	1226	23
	Jalapa*	12	39	Sn Raym*	235	8	726	7	7	Jalapa*	784	31	31	Jalapa*	1019	33
	Sn Raym*	9	31	Jalapa*	212	26	689	27	27	Sn Raym*	776	7	7	Sn Raym*	907	11
Turrialba	4	1,39 NS	1	4	35,77***	64	4	32,47***	70	4	22,78***	4	13,67***	48		
	7	15,72***	74	7	8,38***	21	7	4,47**	12	7	3,41**	7	4,50**	21		
	28	25	25	28	15	15	28	18	18	28	24	24	28	31		
	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	
	Hojancha	28	6	Salitra	131	26	527	54	54	Hojancha	994	43	43	Hojancha	1370	22
	Tejar	24	9	Hojancha	123	34	535	74	74	Salitra	949	33	33	Salitra	1171	26
	Birri	23	14	La Ceiba	116	27	494	57	57	La Ceiba	871	33	33	La Ceiba	1106	24
	La Ceiba	20	35	Salitra	115	34	413	66	66	Sanarate	753	35	35	Jalapa*	1019	29
	Jalapa*	13	10	Tejar	113	27	403	56	56	Jalapa*	747	36	36	Tejar	978	27
	Sn Raym*	12	41	Jalapa*	63	31	308	56	56	Tejar	738	37	37	Sanarate	952	23
	Sanarate	11	8	Sanarate	59	18	286	55	55	Birri	727	41	41	Birri	923	33
	San Ramón	4	1,58 NS	1	4	1,53 NS	2	4	2,80*	6	4	2,23 NS	4	2,79*	6	
7		36,55***	87	7	13,39***	70	7	14,32***	68	7	12,82***	7	12,75***	66		
28		12	12	28	28	28	28	26	26	28	29	29	28	28		
Media		CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	
Hojancha		21	11	La Ceiba	43	17	171	9	9	Salitra	223	15	15	Salitra	297	14
Salitra		18	10	Salitra	37	17	156	21	21	La Ceiba	216	23	23	La Ceiba	261	26
La Ceiba		18	3	Hojancha	35	27	132	14	14	Birri	175	14	14	Birri	227	7
Birri		17	9	Tejar	34	26	122	41	41	Hojancha	156	49	49	Hojancha	208	40
Tejar		17	12	Birri	30	12	116	25	25	Tejar	146	32	32	Tejar	194	33
Jalapa*		10	23	Jalapa*	18	27	61	28	28	Jalapa*	78	25	25	Jalapa*	122	29
Sanarate		8	36	Sanarate	16	47	60	73	73	Sanarate	75	70	70	Sanarate	98	59
Sn Raym*		7	30	Sn Raym*	15	31	46	34	34	Sn Raym*	50	36	36	Sn Raym*	87	12

gl = grados de libertad  
 V(%) = componente de la variancia en porcentaje  
 CV(%) = coeficiente de variancia de las medias de procedencias  
 \* = C. heustoumianus  
 \*\*\* = significativo P ≤ 0,001  
 \*\* = significativo P ≤ 0,01  
 \* = significativo P ≤ 0,05  
 NS = no significativo P > 0,05

Anexo 15c. Análisis de variancia y prueba de Tukey para la altura total en *C. canfoliatus* y *C. bonifantiana* a todas las edades en los tres sitios

Sitio	0,5 meses			3 meses			6 meses			9 meses			12 meses			
	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	
Hojancha	Bloques	4	1,30 NS	4	7,98 NS	4	5,38**	4	4,54**	4	4,54**	4	4,54**	4	0,81 NS	
	Proced.	7	44,67***	7	11,63***	7	20,91***	7	20,91***	7	14,29***	7	14,29***	7	13,40***	
	Residuo	28	10	31	28	18	28	18	28	24	24	28	24	28	29	
	Proced.	Media	CV%	Tukey (P<0,05)	Media	CV%	Tukey (P<0,05)	Media	CV%	Tukey (P<0,05)	Media	CV%	Tukey (P<0,05)	Media	CV%	Tukey (P<0,05)
	Birri	5,5	4	—	Hojancha	21,4	11	—	Hojancha	35,1	8	—	Hojancha	34,9	7	—
	Salitra	5,4	11	—	Salitra	19,6	16	—	Salitra	34,8	8	—	Salitra	34,8	6	—
	Hojancha	5,2	7	—	La Ceiba	17,3	5	—	La Ceiba	30,0	4	—	Tejar	29,2	5	—
	La Ceiba	5,1	8	—	Birri	17,1	11	—	Birri	29,1	6	—	Birri	29,0	11	—
	Tejar	4,3	7	—	Tejar	15,9	9	—	Tejar	29,4	8	—	Sanarate	28,5	6	—
	Jalapa*	4,0	11	—	Jalapa*	15,5	8	—	Sn Raym*	27,4	4	—	La Ceiba	28,1	7	—
Sanarate	3,4	9	—	Sn Raym*	15,1	6	—	Sanarate	26,8	9	—	Jalapa*	27,4	4	—	
Sn Raym*	2,2	17	—	Sanarate	13,8	8	—	Jalapa*	24,5	10	—	Sn Raym*	26,4	5	—	
Turrialba	Bloques	4	3,18*	4	16,15***	4	15,42***	4	9,49***	4	9,49***	4	0,74 NS	4	0,74 NS	
	Proced.	7	44,54***	7	10,38***	7	6,02***	7	6,02***	7	15,59***	7	15,59***	7	22,16***	
	Residuo	28	10	21	28	26	28	26	28	21	28	21	28	21	19	
	Proced.	Media	CV%	Tukey (P<0,05)	Media	CV%	Tukey (P<0,05)	Media	CV%	Tukey (P<0,05)	Media	CV%	Tukey (P<0,05)	Media	CV%	Tukey (P<0,05)
	Hojancha	5,8	5	—	Salitra	13,1	12	—	Salitra	21,0	12	—	Hojancha	28,6	7	—
	Salitra	5,6	11	—	Tejar	13,0	20	—	Hojancha	20,7	24	—	Salitra	25,7	7	—
	Birri	5,4	3	—	Hojancha	12,6	29	—	Tejar	24,5	13	—	Tejar	24,5	10	—
	La Ceiba	5,1	5	—	La Ceiba	12,5	17	—	Sanarate	24,4	9	—	La Ceiba	31,6	2	—
	Tejar	5,0	8	—	Birri	12,2	21	—	Birri	18,6	16	—	Sanarate	30,1	7	—
	Jalapa*	4,4	8	—	Jalapa*	9,4	19	—	Jalapa*	17,4	18	—	Jalapa*	28,9	3	—
Sanarate	3,8	12	—	Sanarate	8,5	6	—	Sanarate	16,1	15	—	Birri	28,0	7	—	
Sn Raym*	2,7	15	—	Sn Raym*	8,4	39	—	Sn Raym*	15,2	32	—	Sn Raym*	25,2	7	—	
San Ramón	Bloques	4	2,18 NS	4	0,55 NS	4	3,82 NS	4	2,01 NS	4	2,01 NS	4	3,13*	4	3,13*	
	Proced.	7	37,96***	7	16,47***	7	8,75***	7	8,75***	7	7,35***	7	7,35***	7	6,08***	
	Residuo	28	12	24	28	35	28	35	28	42	28	42	28	44		
	Proced.	Media	CV%	Tukey (P<0,05)	Media	CV%	Tukey (P<0,05)	Media	CV%	Tukey (P<0,05)	Media	CV%	Tukey (P<0,05)	Media	CV%	Tukey (P<0,05)
	Salitra	4,4	4	—	La Ceiba	6,7	3	—	Salitra	9,3	15	—	Salitra	9,7	12	—
	Hojancha	4,3	7	—	Salitra	6,3	10	—	Hojancha	8,5	19	—	Hojancha	8,7	25	—
	La Ceiba	4,0	9	—	Birri	6,1	5	—	La Ceiba	8,3	24	—	La Ceiba	10,1	23	—
	Birri	3,9	8	—	Tejar	6,0	8	—	Hojancha	8,1	23	—	Tejar	8,8	25	—
	Tejar	3,7	8	—	Hojancha	5,5	9	—	Birri	7,5	11	—	Birri	8,4	11	—
	Jalapa*	3,0	15	—	Jalapa*	4,5	15	—	Jalapa*	6,7	25	—	Jalapa*	8,2	24	—
Sanarate	2,7	18	—	Sanarate	3,6	39	—	Sn Raym*	4,9	23	—	Sn Raym*	5,2	31	—	
Sn Raym*	1,7	24	—	Sn Raym*	3,2	24	—	Sanarate	3,9	57	—	Sanarate	3,9	56	—	

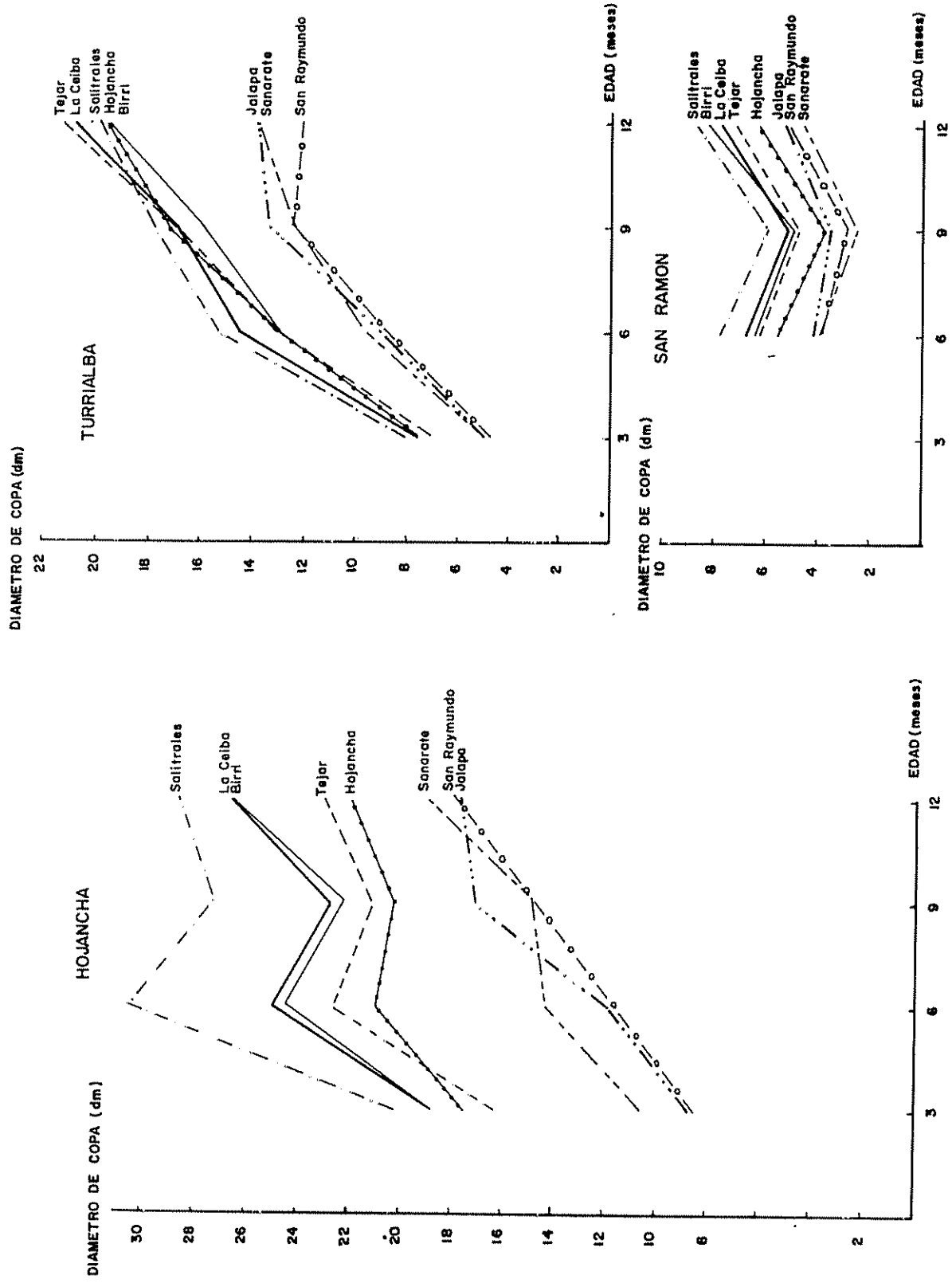
gl = grados de libertad  
V(%) = componentes de la variancia en porcentaje  
CV(%) = coeficiente de variación de las medias de procedencias  
\* = C. bonifantiana  
\*\*\* = significativo P < 0,001  
\*\* = significativo P < 0,01  
\* = significativo P < 0,05  
NS = no significativo P > 0,05



Anexo 15d. Análisis de variancia y prueba de Tukey para el diámetro de copa en *C. howstoniana* a todas las edades en los tres sitios

Sitio	3 meses			6 meses			9 meses			12 meses			
	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	gl	F	V(%)	
Hojancha	Bloques	4	1,20 NS	0	1,20 NS	0	4	1,20 NS	0	4	5,07**	23	
	Proced.	7	39,70***	88	58,54***	92	7	4,61**	32	7	3,89*	15	
	Residuo	28	12	12	28	8	28	28	45	28	7	5,75***	41
	Proced.	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)
	Salitral	20,3	11		30,5	9		25,2	16		28,6	7	
	Birri	18,8	6		25,0	6		22,7	13		26,5	12	
	La Ceiba	18,7	10		24,5	4		22,3	19		26,5	12	
	Tejar	17,5	11		22,6	10		21,1	9		25,0	10	
	Hojancha	16,3	10		21,0	6		20,3	40		21,9	38	
	Sanarate	10,6	16		14,3	19		17,1	29		19,0	17	
	Jalapa*	8,7	27		11,9	24		14,9	37		17,9	30	
	Sn Raym*	8,5	8		11,6	4		14,6	37		17,7	30	
Turrialba	Bloques	4	28,32***	59	15,78***	37	4	15,38***	39	4	6,38**	6	
	Proced.	7	7,99***	24	12,01***	43	7	10,37***	40	7	47,87***	85	
	Residuo	28	17	20	28	20	28	21	21	28	9	9	
	Proced.	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)
	Salitra	8,1	28		15,3	19		17,8	15		21,4	6	
	Hojancha	7,5	42		14,4	23		17,2	16		20,9	7	
	Birri	7,5	42		13,0	25		17,0	19		19,9	9	
	La Ceiba	7,4	31		12,9	29		16,9	17		19,6	7	
	Tejar	7,0	34		12,8	25		16,0	22		19,6	9	
	Jalapa*	4,9	40		9,6	12		13,4	15		13,9	12	
	Sanarate	4,9	15		9,0	15		12,4	17		13,8	4	
	Sn Raym*	4,7	39		8,8	19		12,4	12		12,2	16	
San Ramón	Bloques	4	3,06*	6	2,22 NS	6	4	2,22 NS	6	4	2,65 NS	6	
	Proced.	7	15,37***	70	8,00***	55	7	8,00***	55	7	11,28***	63	
	Residuo	28	24	39	28	39	28	31	31	28	31	31	
	Proced.	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)	Media	CV%	Tukey (P≤0,05)
	Salitra	7,8	7		5,9	12		5,9	12		8,6	7	
	La Ceiba	6,8	16		5,2	18		5,2	18		8,2	5	
	Birri	6,5	6		5,0	26		4,8	30		7,8	17	
	Tejar	6,3	17		4,8	30		3,8	26		7,2	18	
	Hojancha	5,6	22		3,8	26		3,5	15		6,3	20	
	Jalapa*	4,2	13		2,9	22		2,9	22		5,3	9	
	Sanarate	3,9	39		2,5	41		2,5	41		5,1	27	
	Sn Raym*	3,8	19		2,5	41		2,5	41		4,5	33	

gl = grados de libertad  
V(%) = componente de la variancia  
CV(%) = coeficiente de variación de las medias de procedencias  
\* = *C. howstoniana*  
\*\*\* = significativo P < 0,001  
\*\* = significativo P < 0,01  
\* = significativo P < 0,05  
NS = no significativo P < 0,05



Anexo 16. Diámetro de copa de ocho procedencias de *Calliandra spp.* hasta 12 meses de edad en tres sitios en Costa Rica.

Anexo 17a. Efectos de la interacción genotipo-ambiente y análisis de regresión individual para el número de brotes por planta a los 12 meses de edad

a) Efectos de la interacción genotipo-ambiente

- .Sitios clasificados según su efecto ambiental
- .Procedencias clasificadas según su efecto genotípico
- .Media general= 2,66
- .Entre paréntesis la media del genotipo en cada ambiente

Procedencia	Ambientes			San Ramón (2,79) = M+E	di	mí+di	Donde=
	Hojancha (2,49) = M+E	Turrialba (2,72) = M+E	Turrialba (2,79) = M+E				
Hojancha	0,0203 (1,76)	-0,0027 (1,96)	-0,0177 (2,02)	-0,7508	1,91	Ej=	Efecto del ambiente, en la media general
Sanarate	-0,0537 (2,17)	0,0939 (2,54)	-0,0475 (2,48)	-0,2649	2,40	di=	Efecto de la procedencia i en la media general
San Raymundo*	-0,5875 (1,70)	0,2736 (2,79)	0,3138 (2,40)	-0,2024	2,46	mí+di=	Media de la procedencia i + el efecto genotípico
Jalapa*	-0,4886 (1,82)	0,1397 (2,68)	0,3488 (2,96)	-0,1774	2,49	M+E=	valores ambientales (promedio del sitio)
La Ceiba	0,0143 (2,51)	0,2599 (2,99)	-0,2743 (2,52)	0,0116	2,67		
Tejar	0,2320 (2,78)	-0,0712 (2,62)	-0,1609 (2,78)	0,0626	2,73		
Salitrales	0,5607 (3,68)	-0,5133 (2,84)	-0,0475 (3,38)	0,6348	3,30		
Birrí	0,3023 (3,47)	-0,0904 (3,31)	-0,2120 (3,26)	0,6868	3,35		
Ej	-0,1778	0,0529	0,1249				

b) Análisis de regresión individual

Procedencia	b	SCINTER	SCINTER (%)	CM regresión	CM Sobrante	F	Significancia
Hojancha	0,88	0,0037	0,0	0,0036	0,0001	32,76	N.S.
Sanarate	1,19	0,0666	0,7	0,0090	0,0576	0,16	N.S.
San Raymundo*	4,17	2,5927	27,8	2,5005	0,0922	27,13	N.S.
Jalapa*	3,76	1,8996	20,4	1,8993	0,0003	5909,52	**
La Ceiba	0,54	0,7149	7,7	0,0529	0,0620	0,08	N.S.
Tejar	-0,18	0,4240	4,5	0,3441	0,0799	4,31	N.S.
Salitrales	-0,66	2,9005	31,1	1,7638	1,1368	1,55	N.S.
Birrí	-0,70	0,7226	7,8	0,7226	Muy bajo		***

1/ Pruebas de significancia de CM Reg/CM sobrante con 1,1 gl  
\* C. *houstoniana*

b= Coeficiente de la regresión lineal de cada procedencia  
SCINTER= suma de cuadrados de la interacción  
CM Regresión= cuadrado medio de la regresión  
CM Sobrante= cuadrado medio del sobrante

Anexo 17b. Efectos de la interacción genotipo-ambiente y análisis de regresión individual para el área basal por planta en cm<sup>2</sup> a los 12 meses de edad

a) Efectos de la interacción genotipo-ambiente

- .Sitios clasificados según su efecto ambiental
- .Procedencias clasificadas según su efecto genotipo
- .Media general= 9,5322 cm<sup>2</sup>
- .Entre paréntesis la media del genotipo en cada ambiente

Procedencia	Ambientes			mi+di	Donde:
	San Ramón (1,86)= M+E	Turrialba (10,46)= M+E	Hojancha (16,28)= M+E		
San Raymundo*	2,3972 (0,86)	1,4219 (8,48)	-3,8191 (9,06)	6,1345	Ej= efecto del ambiente j en la media general
Jalapa*	1,6943 (1,22)	2,0615 (10,18)	-2,3411	7,1911	di= efecto de la procedencia i en la media general
Sanarate	1,0617 (0,98)	1,0102 (9,52)	-2,0719 (12,26)	7,5839	mi+di= media de la procedencia i + el efecto genotípico
Tejar	-0,2913 (1,94)	-1,0435 (9,78)	1,3368 (17,99)	9,9028	M+E= valores ambientales (Promedio del sitio)
La Ceiba	0,3729 (2,60)	0,2269 (11,05)	-0,5999 (16,05)	9,9014	
Birrí	-0,6643 (2,26)	-2,2917 (9,23)	2,9560 (20,30)	10,5988	
Hojancha	-2,2821 (2,07)	0,7494 (13,69)	1,5326 (13,69)	12,0227	
Salitrales	-2,2887 (2,96)	-2,1328 (11,71)	4,4215 (24,09)	12,9231	
Ej	-7,6703	0,9229	6,7475		

b) Análisis de regresión individual

Procedencia	b	SC Inter	SC Inter (%)	CM Regresión	CM sobrante	F <sub>1/</sub>	Significancia <sub>1/</sub>
San Raymundo*	0,59	111,7680	21,2	87,2331	24,5349	3,56	N.S.
Jalapa*	0,65	106,1362	20,2	63,0898	43,0464	1,47	N.S.
Sanarate	0,80	32,2034	6,1	21,3416	10,8618	1,96	N.S.
Tejar	1,10	14,8240	2,8	5,0311	9,7929	0,15	N.S.
La Ceiba	0,94	2,7522	0,5	2,1325	0,6197	3,44	N.S.
Birrí	1,22	72,1547	13,7	24,9779	47,1767	0,53	N.S.
Hojancha	1,27	40,5915	7,7	38,7000	1,8914	20,46	N.S.
Salitrales	1,43	146,6833	27,8	98,0417	48,6416	2,02	N.S.

1/ Pruebas de significancia de CM Reg/CM sobrante con 1,1 gl  
\* C. HOJANCHANA

b= coeficiente de la regresión lineal de cada procedencia

SC Inter= Suma de cuadrados de la interacción

CM Regresión= Cuadrado medio de la regresión

CM sobrante= Cuadrado medio del sobrante

Anexo 17c. Efectos de la interacción genotipo-ambiente y análisis de regresión individual para la altura total en dm a los 12 meses de edad

- a) Efectos de la interacción genotipo-ambiente  
 .Sitios clasificados según su efecto ambiental  
 .Procedencias clasificadas según su efecto genotipo  
 .Media general= 23,1 dm  
 .Entre paréntesis la media del genotipo en cada ambiente

Procedencia	San Ramón (8,4)	Ambientes Hojancha (29,8)	Turrialba (31,2)	di	mi+di	Donde:	
						Ej= efecto del ambiente j en la media general	di= efecto de la procedencia i en la media general mi+di= media de la procedencia + el efecto genotípico M±E= valores ambientales (promedio del sitio)
San Raymundo*	1,4987 (5,98)	0,5314 (26,40)	-2,0306 (22,25)	-3,9207	19,2		
Sanarate	-1,4250 (5,07)	0,6524 (28,54)	0,7721 (30,07)	-1,9041	21,2		
Jalapa*	1,466 (8,23)	-0,7759 (27,38)	-0,7911 (28,88)	-1,6399	21,5		
Birrí	1,3505 (8,46)	0,5380 (29,04)	-1,8890 (28,02)	-1,2921	21,8		
La Ceiba	1,5629 (10,10)	-1,8487 (28,08)	0,2852 (31,63)	0,1337	23,3		
Tejar	-0,1262 (8,78)	-1,1126 (29,18)	1,2383 (32,95)	0,5028	23,6		
Salitrales	-1,1187 (10,50)	1,8194 (34,83)	-0,7011 (33,72)	3,2162	26,3		
Hojancha	-3,2102 (10,10)	0,1949 (34,89)	3,0149 (39,13)	4,9057	28,0		
Ej	-14,7322	6,6587	8,0740				

b) Análisis de regresión individual

Procedencia	b	SC Int	SC int (%)	CM Reg.	CM Sobrante	F	I/	Sig
San Raymundo*	0,89	33,2586	12,8	18,6863	14,5723	1,28		N.S.
Sanarate	1,10	15,2629	5,9	15,2622	0,0007	20,386,70		**
Jalapa*	0,90	16,1527	6,2	16,0257	0,1270	126,19		N.S.
Birrí	0,90	28,4074	11,0	15,2552	13,1522	1,16		N.S.
La Ceiba	0,90	29,7081	11,5	16,7058	13,0023	1,28		N.S.
Tejar	1,01	13,9361	5,4	0,3029	13,6332	0,02		N.S.
Salitrales	1,07	25,2659	9,7	8,0532	17,2127	0,47		N.S.
Hojancha	1,22	97,1628	37,5	81,4402	15,7226	5,18		N.S.

I/ Pruebas de significancia de CM Reg/CM sobrante con I, I gl

\* C. Houstoniana

Anexo 18. Explicación del procedimiento en el análisis de regresión conjunta según el Programa JOYREG (PSP)

El análisis de regresión conjunta se realiza mediante el programa JOYREG (Joint Regression Analysis) del Palmer's Statistical Package (PSP).

El JOYREG se basa en el modelo

$$Y_{ij} = m + d_i + E_j + g_{ij} + e_{ij}$$

donde:  $Y_{ij}$  = respuesta del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$

$m$  = media general de todos los genotipos en todos los ambientes

$d_i$  = contribución genética del genotipo  $i$

$E_j$  = contribución ambiental del ambiente  $j$

$g_{ij}$  = interacción genotipo-ambiente del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$

$e_{ij}$  = error experimental del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$

El programa realiza los siguientes cálculos:

- . Media de cada genotipo en cada ambiente ( $Y_{ij}$ )
- . Media general de todos los genotipos en todos los ambientes ( $M$ )
- . Los valores ambientales ( $M + E$ ) que corresponden a la media de todos los genotipos en cada ambiente. Este valor es usado para medir cada ambiente.
- . Contribución ambiental de cada uno de los ambientes ( $E$ ). Como se puede apreciar esta cifra corresponde a las desviaciones de cada ambiente con respecto a la media general, por lo tanto la sumatoria de estos es igual a cero.
- . Los valores genéticos ( $M + D$ ) que corresponden a la media de cada genotipo en todos los ambientes.
- . Contribución genética de cada uno de los genotipos ( $D$ ). Igualmente, ésta corresponde a las desviaciones de cada genotipo con respecto a la media general y por lo tanto su sumatoria es igual a cero.
- . Las interacciones genotipo-ambiente para cada genotipo en cada ambiente ( $g_{ij}$ ).

Estos valores se calculan entonces mediante la ecuación

$$g_{ij} = Y_{ij} - M - D_i - E_j$$

El programa realiza el análisis de regresión conjunta, donde se presenta el análisis de variancia combinado (incluye todos los sitios). En este análisis de variancia combinado, el efecto de la interacción genotipo-ambiente se divide en dos componentes según la metodología de Perkins y Jinks (63). Esta metodología ha sido utilizada en investigaciones de procedencias de *Pinus caribaea* por Gibson (35). El primer componente es la "heterogeneidad de la regresión", que indica que la interacción es explicada por una relación lineal entre los genotipos y el ambiente, por lo tanto este componente es de gran utilidad en la predicción de la respuesta de los genotipos según el ambiente. El segundo componente es el "sobranante", que corresponde a la porción no explicable. Si solamente el primero fuera significativo, la interacción obedece a una relación lineal de los genotipos con el ambiente. Si solamente el segundo fuera significativo, la interacción no puede ser explicada y por lo tanto no sería de utilidad en la predicción de las respuestas de los genotipos. Si ambos fueran significativos, debe calcularse de nuevo el cociente de F de la heterogeneidad de la regresión contra el sobranante ( $\frac{CM \text{ Reg}}{CM \text{ Sob}}$ ) con sus respectivos grados de libertad, si éste fuera significativo, todavía podría ser de alguna utilidad en la predicción de las respuestas.

Luego el programa realiza el análisis de regresión individual de las medias individuales de cada genotipo ( $Y_{ij}$ ), sobre el valor ambiental ( $M+E$ ). Este permite hacer conclusiones sobre el comportamiento de cada procedencia individualmente. Este análisis calcula el coeficiente  $b_1'$  y por la fórmula  $(1 + b_1')$  se encuentra el valor "b" de la pendiente para cada regresión. El efecto de interacción se divide en sus dos componentes: la heterogeneidad de la regresión de cada genotipo sobre los valores ambientales y el residuo o sobranante. La primera dice que la interacción obedece a una relación lineal entre el genotipo y el ambiente, y la segunda es el componente no explicable. Para cada genotipo se calcula el cociente de F,

dividiendo el Cuadrado Medio de la Regresión entre el Cuadrado Medio del Sobrante. Para calcular la significancia de F se utiliza 1 grado de libertad para la regresión y (sitios-2) para el sobrante.

El valor de "b" es usado para medir la estabilidad de cada genotipo. Así, los genotipos con valores altos (pendiente alta), tienen poca estabilidad y están adaptados a ambientes de alto rendimiento. Lo contrario ocurre con genotipos que presentan valores bajos, ya que poseen una alta estabilidad y adaptación a ambientes de bajo rendimiento.

El esquema general que se presenta en el análisis de regresión conjunta es el siguiente:

F.V.	SC	CM	Prueba de F	sig	CV (%) <sup>1/</sup>
1. Sitios (s-1)			2		
2. Repeticiones sitios s(r-1)			7		
3. Procedencias (p-1)			4		
4. Interacción Genotipo-Ambiente (p-1) (s-1)			7		
5. Heterogeneidad de la regresión (p-1)			7 (6) <sup>2/</sup>		
6. Sobrante (p-1) (s-1)			7 <sup>2/</sup>		
7. Residuo s(p-1) (r-1)					
Total (prs-a)					

<sup>1/</sup> CV(%) = componente de la variancia

<sup>2/</sup> Cuando el cociente de F del sobrante resulta significativo (interacción no explicable), debe calcularse el F de la heterogeneidad de la regresión de la siguiente manera  $\frac{\text{CM Regresión}}{\text{CM Sobrante}}$



Anexo 19. Matriz de correlación entre las variables climáticas del origen de las ocho procedencias y el área basal y altura en los tres sitios a los 12 meses

	Elevac.	Latit.	Precip.	Deficit	Temp.max.	Temp.min.	Temp.med.
Elevac.	1,00						
Latit.	0,06	1,00					
Precip.	-0,20	-0,91**	1,00				
Deficit	-0,26	0,89**	-0,86**	1,00			
Temp.max.	-0,88**	0,31	-0,25	0,59	1,00		
Temp.min.	-0,96***	-0,04	0,25	0,21	0,79*	1,00	
Temp.med.	-0,91**	-0,06	0,20	0,21	0,81*	0,91*	1,00
Area basal Hojan.	-0,20	-0,90**	0,92**	-0,73*	-0,24	0,20	0,16
Altura Hojan.	-0,61	-0,61	0,75*	-0,36	0,25	0,57	0,60
Area basal Turri.	-0,76*	-0,52	0,65	-0,29	0,46	0,77*	0,86**
Altura Turri.	-0,69	-0,62	0,61	-0,30	0,42	0,62	0,76*
Area basal Sn Ra.	-0,09	-0,91**	0,94***	-0,83*	-0,30	0,16	0,14
Altura Sn Ra.	-0,16	-0,83**	0,89**	-0,81*	-0,19	0,22	0,34

\*\*\* = Significante  $P \leq 0,001$

\*\* = Significante  $P \leq 0,01$

\* = Significante  $P \leq 0,05$

Anexo 20. Matriz de correlación entre cinco variables de vivero y dos variables de crecimiento en el campo (correlación juvenil-maduro)

Variable de vivero	Sitio	Area basal			Altura total		
		6 meses	9 meses	12 meses	6 meses	9 meses	12 meses
Diámetro cuello	Hojancha	0,96***	0,95***	0,97***	0,90**	0,87**	0,84**
	Turrialba	0,90**	0,78*	0,64	0,89**	0,60	0,76*
	San Ramón	0,85**	0,82*	0,84**	0,81*	0,80*	0,80*
Altura	Hojancha	0,82*	0,84**	0,86**	0,76*	0,70	0,72*
	Turrialba	0,86**	0,82*	0,67	0,87**	0,55	0,66
	San Ramón	0,88**	0,88**	0,89**	0,82*	0,80*	0,83*
Peso seco aéreo	Hojancha	0,76*	0,78*	0,74*	0,72*	0,65	0,76*
	Turrialba	0,70	0,73*	0,62	0,58	0,53	0,54
	San Ramón	0,64	0,63	0,64	0,84**	0,48	0,53
Peso seco radicular	Hojancha	0,40	0,44	0,44	0,50	0,37	0,31
	Turrialba	0,66	0,65	0,54	0,52	0,31	0,42
	San Ramón	0,63	0,68	0,17	0,43	0,43	0,54
Peso seco total	Hojancha	0,71*	0,74*	0,75*	0,69	0,59	0,66
	Turrialba	0,73*	0,74*	0,61	0,17	0,49	0,58
	San Ramón	0,69	0,70	0,68	0,52	0,51	0,57

\*\*\* =  $\text{significante } P < 0,001$

\*\* =  $\text{significante } P < 0,01$

\* =  $\text{significante } P < 0,05$