

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y  
ENSEÑANZA

SUBDIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA

ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DEL FOLLAJE  
EN TRES ESPECIES DE Erythrina  
EN COSTA RICA

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico Académico del  
Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos  
Naturales del Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza, para  
optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

POR

Juan Carlos Chacón Espinoza

Turrialba, Costa Rica

1990

Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE, y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

COMITE ASESOR:



---

José Arze B., M.Sc.  
Profesor Consejero



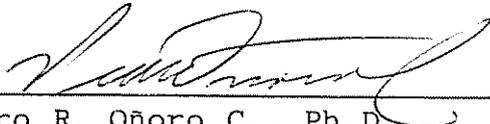
---

Germán A. Sánchez O., Ph.D.  
Miembro del Comité



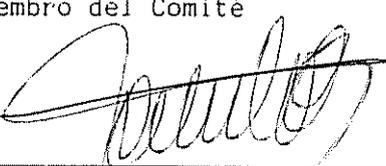
---

Edgar Viquez L., M.Sc.  
Miembro del Comité



---

Pedro R. Oñoro C., Ph.D.  
Miembro del Comité

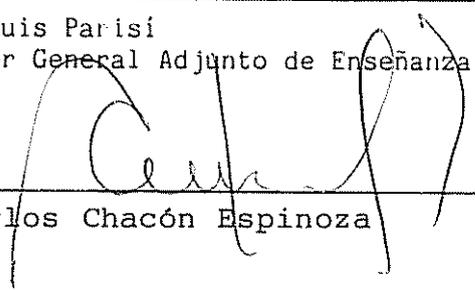


---

Ramón Lastra Rodríguez, Ph.D.  
Coordinador, Programa de Estudios de Posgrado

---

Dr. José Luis Parisi  
Subdirector General Adjunto de Enseñanza



---

Juan Carlos Chacón Espinoza  
Candidato

## DEDICATORIA

Como siempre a Marybel, mi esposa  
razón única de amor.

A Cintli y Carlos Alberto,  
mis adorados hijos fuente  
de vitalidad.

A mis queridos padres; Rafael y Martha  
y hermanos por sus ejemplos de lucha  
cotidiana.

A mis suegros; Arley y Gloria  
con especial aprecio y agradecimiento.

A los compañeros que defienden  
y creen en Latinoamérica.

## AGRADECIMIENTOS

A José Arze B., profesor consejero principal por sus enseñanzas en la concepción para estudiar la agricultura.

A Pedro R. Oñoro C., por su disponibilidad y orientación en el quehacer de la investigación agrícola.

A Edgar Víquez L., por sus aportes en la tesis y formación científica.

A Germán A. Sánchez O., por su decidido y atinado apoyo en la formación de estudiantes graduados.

A Adolfo Camacho S., por su fiel asistencia en la toma de datos y nobleza del trabajador rural costarricense.

A los compañeros del proyecto AFN por sus enseñanzas y amistad compartida.

A Pablo Ruíz M., Conrado Parraguirre, Carlos Ruíz F., Jorge Jiménez B. y Emilio Pérez C. por su disponibilidad y colaboración entusiasta durante el trabajo de tesis .

Por último, a las familias mexicanas en el CATIE por las múltiples atenciones y apoyos brindados.

CONTENIDO	Página
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 El género <u>Erythrina</u> en agroforestería.	3
2.2 Ecofisiología de árboles tropicales.	4
2.3 Análisis del crecimiento de plantas.	6
2.3.1 Factores fisiológicos de la producción agrícola	6
2.3.2 Componentes morfológicos del crecimiento	6
2.3.3 Componentes fisiológicos del crecimiento	7
2.4 Modelos de crecimiento de plantas	8
3. MATERIALES Y METODOS	10
3.1 Localización del estudio	10
3.2 Condiciones climáticas y edáficas	10
3.2.1 Clima	10
3.2.2 Suelos	11
3.3 Material vegetal utilizado	11
3.4 Unidades de estudio	15
3.5 Análisis del crecimiento	20
3.5.1 Características generales del crecimiento del follaje	20
3.5.1.1 del árbol	20
3.5.1.2 de las ramas	20
3.5.1.3 de las hojas	20
3.5.2 Tasas de crecimiento	20
3.5.3 Patrón de crecimiento	21
3.5.4 Cosecha de los árboles	21

4. RESULTADOS	22
4. 1. Condiciones climáticas	22
4. 2. Fertilidad del suelo	22
4. 3. Determinación de coeficientes	23
4. 3.1. Para área de folíolos	23
4. 3. 2. Para peso seco de folíolos	27
4. 4. Tasas de crecimiento	32
4. 4. 1. Del árbol	32
4. 4. 1. 1. número de ramas	32
4. 4. 2. De ramas	35
4. 4. 2. 1. longitud	35
4. 4. 2. 2. número de hojas/rama	44
4. 4. 2. 3. número de ramas secundarias	49
4. 4. 2. 4. diámetro	52
4. 4. 3. De hojas	55
4. 4. 3. 1. área de hojas.	55
4. 4. 3. 2. peso seco de hojas.	58
4. 5. Patrones de crecimiento	58
4. 5. 1. De clones.	58
4. 5. 2. De especies.	59
4. 6. Cosecha de árboles.	59
4. 6. 1. Biomasa aérea	59
5. DISCUSION	65
5. 1. Condiciones ambientales.	65
5. 2. Determinación de coeficientes para área y peso foliar.	67
5. 3. Tasas de crecimiento del follaje.	68
5. 4. Cosecha de árboles.	70
6. CONCLUSIONES.	72
7. RECOMENDACIONES.	73
8. BIBLIOGRAFIA.	75

CHACON, E. J. C. 1990. Análisis del crecimiento del follaje en tres especies de Erythrina en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, CATIE.

**Palabras claves:** Erythrina poeppigiana, E. berteriana, E. fusca, crecimiento foliar, producción de biomasa, variación clonal, modelo de simulación, tasas y patrón de crecimiento.

## RESUMEN.

El desarrollo de modelos de simulación es una opción para acelerar los procesos de investigación en la transferencia de sistemas agroforestales. El análisis de crecimiento foliar es un componente principal para la creación de un modelo de simulación del poró (Erythrina spp.). El presente trabajo se hizo con el propósito de determinar las tasas de crecimiento del follaje en clones contrastantes de: E. poeppigiana, (Walpers) O.F. Cook., E. fusca y E. berteriana Urban y describir sus patrones de crecimiento.

El trabajo se desarrolló en el ensayo clonal de Erythrina spp. en el Huerto Latinoamericano de Árboles Fijadores de Nitrógeno ubicado en el Campo Experimental del CATIE en San Juan Sur, Turrialba, C.R., durante el período noviembre de 1989 a agosto de 1990. Seleccionando a tres clones de cada especie por sus características contrastantes en altura, número de rebrotes, diámetro de copa y producción de biomasa.

La información se obtuvo mediante muestreos quincenales de número de ramas, hojas/rama, longitud y diámetro de ramas, largo y ancho de folíolos durante su ciclo de vida (caída de hojas) y poda de árboles.

Se calcularon diferentes coeficientes de regresión para la determinación del área y peso seco de cada folíolo en las tres especies estudiadas a través del largo y ancho de la lámina de cada uno de los folíolos.

Las tasas de crecimiento de longitud y diámetro de ramas, número de hojas/rama, área de la lámina foliar y producción de biomasa mostraron correspondencia directa con el porte de los clones seleccionados: altos, medios y bajos.

Los clones de E. poeppigiana alcanzaron la mayor área y peso de hojas, en un período más corto a la abscisión de la hoja (16 a 20 semanas); por el contrario, los árboles de E. fusca produjeron las hojas más pequeñas y con mayor tiempo en desprenderse del árbol (26 a más de 28 semanas), mientras que E. berteriana mostró un comportamiento intermedio.

El clon 2700 de E. poeppigiana destacó produciendo las hojas más grandes, superando en 10 % al clon 2687 de la misma especie, y en más de 100 % a los clones restantes.

El tiempo para que las hojas alcanzaran su tamaño máximo en las tres especies fue de 4 semanas. Todos los clones de porte bajo produjeron los mayores porcentajes relativos de biomasa foliar y comestible (62 % y 77 %).

CHACON, E. J.C. 1990. Analysis of leaf growth in three species of Erythrina in Costa Rica. Thesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales, CATIE.

Key words: Erythrina poeppigiana, E. berteriana, E. fusca, leaf growth, biomass production, clonal variation, growth rates, growth patterns, simulation model.

## SUMMARY

The development of simulation models is an option to accelerate research processes in the transference of agroforestry systems. The analysis of leaf growth is an essential component for the establishment of a simulation model of Coral Trees (Erythrina spp.). The objective of this research was to determine foliage growth rates in contrasting clones of E. poeppigiana, (Walpers) O.F. Cook, E. fusca and E. berteriana Urban, and to describe their growth patterns.

The experiment was carried out in the Erythrina spp. Clonal Trial at the Latin American Nitrogen Fixing Trees Orchard set at the Experimental Field of CATIE in San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, from November 1989 to August 1990. Three clones per species were selected according to their contrasting characteristics in terms of total height, number of shoots, crown diameter, and biomass production.

The information gathered was the result of a sampling, carried out on a bi-weekly basis, of the number of branches, leaves/branch, length and diameter of branches, length and wide of leaflets, during the life cycle (leafdrop), and pruning of trees.

Different coefficients of regression were calculated in order to determine the area and dry weight of each leaflet in the three species selected by measuring length and width of each leaflet.

Length and diameter growth rates, number of leaves/branch, leaf area, and biomass production showed direct correspondance with the size of the selected clones: high, medium, low.

E. poeppigiana clones reached their greater area and leaf weight in a shorter period of time after the abscission of the leaf (16-20 weeks); on the contrary, E. fusca trees produced the smallest leaves, which took more time for leafdropping (26 to more than 28 weeks). E. berteriana showed an intermediate behavior.

Clone 2700 of E. poeppigiana was promising since it produced bigger leaves, surpassing clone 2687 of the same species by 10% and the other clones by 100%.

It took four weeks for the leaves to reach their maximum size in the three species. All small-size clones produced the higher relative percentages of leaf and edible biomass (62% and 77%).

## LISTA DE CUADROS

## Página

Cuadro 1.	Condición de copa del árbol padre y procedencias de clones en tres especies de <u>Erythrina</u> , para el análisis del crecimiento de hojas. Turrialba, 1990. 12	
Cuadro 2.	Descripción de mediciones morfológicas en hojas de <u>Erythrina</u> spp para el análisis del crecimiento del follaje. Turrialba, 1990.	19
Cuadro 3.	Condiciones climáticas de San Juan Sur, Turrialba, C.R. Período de estudio del crecimiento del follaje en <u>Erythrina</u> spp, (datos quincenales) 1989-1990.	24
Cuadro 4.	Resultados del análisis químico de suelos del ensayo clonal a dos profundidades. Turrialba, 1990.	26
Cuadro 5.	Coefficientes de regresión para el factor de área de folíolos en tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	28
Cuadro 6.	Coefficientes de regresión para el factor de área de folíolos en tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	29
Cuadro 7.	Coefficientes de regresión para el factor de peso seco de folíolos en tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	30
Cuadro 8.	Coefficientes de regresión para el factor de peso seco de folíolos en tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	31
Cuadro 9.	Coefficientes de regresión para el factor de peso seco del pecíolo en tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	32

continua...

Cuadro 10.	Relación del número de yemas y ramas promedio/árbol emergidas en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> . Durante el análisis del crecimiento del follaje. Turrialba, 1990.	33
Cuadro 11.	Promedios de las tasas de crecimiento quincenal para el largo de ramas (cm/quincena) en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> . Durante el ciclo de vida promedio de hojas. Turrialba, 1990.	36
Cuadro 12.	Coefficientes de regresión para el factor de crecimiento quincenal de largo de rama en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	38
Cuadro 13.	Coefficientes de regresión para el factor de crecimiento quincenal de largo de rama en tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	38
Cuadro 14.	Coefficientes de regresión para el largo de rama en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	42
Cuadro 15.	Coefficientes de regresión para el largo de rama en tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	42
Cuadro 16.	Promedios de las tasas de crecimiento semanal para el largo de ramas (cm/semana) en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> durante el ciclo de vida promedio de hojas. Turrialba, 1990.	43
Cuadro 17.	Tasas de crecimiento quincenal para el número de hoja presentes por ramas en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> (Nº hojas/quincena). Durante el ciclo de vida promedio de hojas. Turrialba, 1990.	45

continua...

Cuadro 18.	Tasas de crecimiento semanal para número de hoja presentes por rama, en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> (N <sup>o</sup> de hojas/semana), durante el ciclo de vida promedio de hojas. Turrialba, 1990.	46
Cuadro 19. 50	Tasa quincenal para el número de ramas secundarias emergidas por rama en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> (número/quincena), durante el ciclo de vida promedio de las hojas. Turrialba, 1990.	50
Cuadro 20.	Tasa semanal para el número de ramas secundarias emergidas por rama en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> (número/semana), durante el ciclo de vida promedio de las hojas. Turrialba, 1990.	51
Cuadro 21.	Tasas de crecimiento semanal para el diámetro de ramas en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> (cm/semana), durante el ciclo de vida promedio de hojas. Turrialba, 1990.	53
Cuadro 22.	Coefficientes de regresión para estimar el factor de crecimiento quincenal de la lámina foliar en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	56
Cuadro 23.	Coefficientes de regresión para estimar el factor de crecimiento quincenal de la lámina foliar en tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	56
Cuadro 24.	Patrones de crecimiento para nueve clones de tres especies de <u>Erythrina</u> en Turrialba, Costa Rica. 1990.	61

continua...

Cuadro 25.	Características de nueve clones de tres especies de <u>Erythrina</u> medidas a la cosecha, Nov.89 a Ago.90. Turrialba, 1990.	62
Cuadro 26.	Valores promedio de algunas características morfológicas de las hojas en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	64

LISTA DE FIGURAS	Página
Figura 1. Croquis de la distribución de parcelas del ensayo clonal de <u>Erythrina</u> spp, en San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1990.	14
Figura 2. Ubicación de hojas de <u>Erythrina</u> sp para mediciones morfológicas en el análisis del crecimiento de hojas. Turrialba, 1990.	17
Figura 3. Mediciones morfológicas en hojas de <u>Erythrina</u> spp, para el análisis del crecimiento de hojas. Turrialba, 1990.	18
Figura 4. Condiciones climáticas de San Juan Sur, Turrialba, 1990.	25
Figura 5. Número de ramas y yemas producidas por clones de tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	34
Figura 6. Incremento quincenal del largo de ramas en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	39
Figura 7. Longitud de ramas en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	40
Figura 8. Tasa quincenal de número de hojas por rama en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	47
Figura 9. Número de hojas por rama presentes en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	48

Figura 10.	Incremento semanal del diámetro de ramas en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	54
Figura 11.	Incremento quincenal del área de la hoja en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	57
Figura 12.	Producción de biomasa en clones de tres especies de <u>Erythrina</u> . Turrialba, 1990.	63

## 1. INTRODUCCION

La productividad de los cultivos y de árboles dependen en alto grado de la intercepción de la luz por la superficie foliar. Por esto, el entendimiento de la generación de hojas, su persistencia en la planta, su senescencia y sus procesos fisiológicos son aspectos importantes para incrementar la productividad vegetal (Alvim y Kozłowski, 1997).

La agroforestería como forma sostenida de uso de la tierra promueve la utilización del componente árbol en los diferentes Agroecosistemas, prevee la necesidad de mejorar y/o crear nuevos sistemas agroforestales, resaltando el papel del follaje del componente arbóreo.

El desarrollo y crecimiento de la hojas, según Dale y Milthorpe (1983), puede dividirse para su estudio en tres etapas; 1) iniciación y crecimiento temprano: eventos estructurales y fisiológicos en las yemas del tallo; 2) crecimiento de hojas y el desarrollo de funciones: interrelaciones internas y ambientales que afectan la producción y expansión de hojas, y el desarrollo de la capacidad fotosintética y por último; 3) la madurez foliar y su significado: controles endógenos y exógenos de fotosíntesis, respiración, transporte y senescencia.

El papel de los modelos de simulación puede ser importante en la integración de conocimiento, promoviendo el entendimiento de este complejo proceso, sirviendo de puente entre diferentes niveles jerárquicos.

En agroforestería se necesita conocer los principales factores que controlan el crecimiento, tamaño y duración del dosel para "diseñar" la estructura arbórea acorde al sistema agroforestal en estudio.

Muchos trabajos fisiológicos sobre árboles y cultivos siguen estudiando tradicionalmente el proceso fotosintético, base para estudios del crecimiento, en su mayoría realizados en laboratorio. Se han desarrollado pocos estudios sobre fotosíntesis de cultivos en campo. Sin embargo, para el entendimiento y control del crecimiento y rendimiento, son esenciales las mediciones en campo sobre iniciación, crecimiento y muerte del follaje (Monteith y Elston, 1983).

Considerando el desarrollo del follaje del árbol de poró (Erythrina spp) como factor determinante en la productividad de los sistemas agroforestales con poró, un estudio del crecimiento foliar en condiciones de campo es valioso para la estructura del modelo de simulación de crecimiento del poró (Erythrina spp), con los siguientes objetivos:

- 1) Determinar las tasas de crecimiento del follaje en clones de Erythrina poeppigiana (walpers) O.F. Cook., E. fusca y E. berteroana Urban.
- 2) Describir el patrón de crecimiento del follaje en clones de tres especies de Erythrina a través del tiempo. ..

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 El género Erythrina en agroforestería.

Para el desarrollo de sistemas agroforestales bajo diferentes condiciones ambientales de Costa Rica, el género Erythrina, por su amplia gama de usos en agroecosistemas tradicionales y por sus cualidades agronómicas y fisiológicas, le confieren atributos para desplegar el potencial y ser utilizado en el diseño y/o mejoramiento de sistemas y técnicas agroforestales (Russo, 1984).

Algunas características para que una especie sea usada en sistemas agroforestales, según Budowski (1983) y Russo (1984) son: crecimiento vigoroso, alta capacidad de rebrote, resistencia a las podas y participación en la acumulación de abono verde con alto contenido en nitrógeno para el cultivo en asocio. El género Erythrina reúne estas y otras características, como la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y la posibilidad de utilizar el follaje para la alimentación animal.

Budowski (1987), describe las principales actividades y aportes en investigaciones agroforestales desarrolladas por el CATIE en América Central; sobresalen los trabajos con Erythrina spp asociados con la producción de café, cacao, frijol, maíz, pimienta negra y ñame; en la producción pecuaria como cercas vivas, proporcionando sombra y follaje para alimentación suplementaria.

En Costa Rica, la poda semestral de árboles de Erythrina poeppigiana plantados a 6 x 6 m como sombra en cafetales, produce cerca de 6 tn/ha de materia seca de hojas y ramas, de las cuales, 2 ton son hojas, con niveles de 4.2 a 4.6 % de nitrógeno que contribuyen a mantener la fertilidad del suelo (Russo, 1983).

También en Costa Rica, Erythrina berteriana Urban, es conocida como poró de cerca o poró criollo, es una especie frecuentemente utilizada como cerco vivo. Según Russo (1984), una cerca con estacas espaciadas a 60 cm, produce aproximadamente 320 kg de biomasa por 100 m de cerca, rebrotando vigorosamente después de la poda semestral.

Otra especie del género Erythrina, según Holdridge y Poveda (1975) es E. glauca Willd. Actualmente conocida como E. fusca, también se utiliza como árbol de sombra de cacao, de café y como cerca viva.

## 2.2 Ecofisiología de árboles tropicales

La diferenciación fenológica de los árboles en los trópicos húmedos se expresa con menor intensidad que en las regiones con régimen climático diferenciado y acentuado (zonas templadas), aunque los bosques tropicales húmedos no estén nunca defoliados y no sea común observar árboles que florescan y fructifiquen, existen ciertas épocas cuando estos procesos fenológicos se expresan en forma evidente (Larcher, 1977).

El desarrollo de las yemas, la formación de nuevas hojas y el crecimiento en longitud del vástago, culminan coincidiendo con los equinoccios y por tanto muchos árboles tropicales tienen dos épocas anuales de desarrollo (Larcher, 1977).

La caída de hojas puede observarse durante todo el año en los bosques tropicales, aunque existen épocas en que ésta se acentúa. Existen dos tipos de senectud de hojas, la senectud progresiva y la debida a la floración. Por lo general un crecimiento rápido acelera la senectud (Milthorpe y Moorby, 1982)

En las plantas siempre verdes de crecimiento intermitente la caída de hojas viejas sigue frecuentemente el ritmo de formación de nuevas hojas. Para Larcher (1977), juegan un papel importante la distribución de la precipitación a través del año y la duración del día. Estos factores ambientales, aunados a los factores endógenos, producen la sincronización en la caída de las hojas, debido a la disminución de agua (sequía) y la longitud de los días (fotoperíodo).

Muchos de los fenómenos periódicos en plantas tropicales pueden ser atribuidos a "ritmos internos", en que los cambios en las plantas se dan independientemente de factores externos (Borchert, 1980). Alvim (sf), resalta que el conocimiento y entendimiento de la periodicidad del crecimiento deriva

de observaciones empíricas de campo, reconociendo la necesidad de estudios del crecimiento bajo condiciones del trópico.

Borchert (1980), al estudiar durante un año la fenología y la ecofisiología en árboles de Erythrina poeppigiana sin podar, en el Valle Central de Costa Rica, encontró dos ciclos de caída de hojas y aparición de renuevos; la caída de hojas se produce en la época de déficit de agua. En sitios siempre húmedos las fases fenológicas ocurren simultáneamente en el árbol y el desarrollo periódico del poró está determinado fundamentalmente por la edad de las hojas y el tamaño del árbol.

La principal función de las hojas es interceptar y absorber la radiación solar incidente y transitoria para convertirla en energía estable, químicamente almacenable a través del proceso de fotosíntesis. En general la tasa de crecimiento de las plantas, depende de la eficiencia con la cual las hojas son capaces de utilizar energía lumínica en la síntesis de nuevo material para la planta (Rojas, 1979).

Al respecto Larcher (1977), denota que la eficiencia de las plantas en el aprovechamiento de la radiación depende fundamentalmente de su metabolismo y eficiencia (plantas  $C_3$  o  $C_4$ ) fotosintética, la arquitectura de la planta y el desarrollo del área foliar destacando la tasa fotosintética de hojas individuales diferente al de la comunidad.

En la definición de criterios para la evaluación de germoplasma en agroforestería, Burley (1987), describe la necesidad de desarrollar métodos de predicción estadística para la partición de la biomasa entre tallos, raíces, ramas y hojas, dirigido a la extrapolación de pequeñas parcelas o árboles individuales para grandes regiones.

## 2.3. Análisis del crecimiento de plantas

### 2.3.1 Factores fisiológicos de la producción agrícola

Considerando que existe una fuerte relación entre la acumulación de materia seca con la productividad agrícola y que la primera está influenciada por el balance entre los procesos de fotosíntesis y respiración de las plantas, Arze (1975), señala como factores fisiológicos de la producción agrícola a los que afectan ese balance, influyendo en la eficiencia de la planta para acumular materia seca o capacidad de producción.

El análisis del crecimiento de las plantas muestra la descripción y cuantificación de su crecimiento o el de sus órganos durante un período determinado o su ciclo de vida, permitiendo detectar el efecto de los factores ambientales (Fargas, sf) y de los factores responsables del crecimiento a través del tiempo (Arze, 1977).

Estos efectos, agrupados en componentes, pueden cuantificarse mediante relaciones y formulaciones ayudando a comprender mejor el crecimiento. Para interpretar la cinética del crecimiento, Radford (1967) y Hunt (1982), sugieren utilizar índices y fórmulas que aunque diseñados para plantas, pueden extenderse a sus partes.

### 2.3.2 Componentes morfológicos del crecimiento

Entre los componentes morfológicos comúnmente utilizados se destacan:

Índice de Area Foliar (IAF), definido como el área de hojas de una planta por unidad de superficie, calculándose por la siguiente expresión:

$$\text{IAF} = \frac{\text{Area foliar por planta (cm}^2\text{)}}{\text{Area de suelo por planta (cm}^2\text{)}}$$

Razón de Peso Foliar (RPF) indica la proporción del peso seco de las hojas con relación al peso seco total de la planta y se obtiene:

$$\text{RPF} = \frac{\text{Peso seco de hojas (gr)}}{\text{Peso seco total (gr)}}$$

Así también puede calcularse la relación para área foliar, denominada Razón de Area Foliar. (RAF).

$$\text{RAF} = \frac{\text{Area foliar total (cm}^2\text{)}}{\text{Peso seco total (gr)}}$$

El Area Foliar Específica (AFE) indica la superficie de hoja por gramo de peso seco de hojas.

$$\text{AFE} = \frac{\text{Area foliar total (cm}^2\text{)}}{\text{Peso seco foliar total (gr)}}$$

Los componentes morfológicos describen el estado de distribución de la biomasa en la planta a través del tiempo o en relación con el área foliar (Fargas, sf; Arze, 1977).

### 2.3.3 Componentes fisiológicos del crecimiento.

Describen un proceso fisiológico de la planta y pueden ser estimados mediante las siguientes expresiones (Fargas, sf y Arze 1977):

El Índice de Crecimiento Relativo (ICR)

$$\text{ICR} = \frac{\log e W_2 - \log e W_1}{t_2 - t_1}$$

donde:  $W_1$  = Peso seco inicial (gr)  
 $W_2$  = Peso seco final (gr)  
 $T_2 - T_1$  = Intervalo de tiempo. (semana o quincena)

Permite conocer la capacidad de producción de materia seca en un período determinado, a partir de la materia seca existente al iniciarse el período.

Indice de Crecimiento Relativo del Area Foliar (ICRF).

$$\text{ICRF} = \frac{\log e A_2 - \log e A_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:  $A_2$   $A_1$  son el Area Foliar final e inicial, ayuda a evaluar el incremento o disminución del área foliar por cada unidad de área foliar ya existente en un período determinado.

## 2.4 Modelos de crecimiento de plantas

Comúnmente se define un modelo como una representación simplificada de la realidad (Hart 1979), así cualquier teoría es por naturaleza una abstracción del mundo real. Los modelos son descripciones selectivas y no pueden contener todo lo que está presente en el sistema real (Spedding, 1975); sin embargo, representan un modo de seleccionar los factores más importantes y sus interrelaciones para estudiar la esencia del problema, acorde a los objetivos y precisión deseados.

Para Hunt (1982), el tratamiento funcional en el análisis de crecimiento de plantas es una rama de la modelación matemática, trata sobre los modelos matemáticos aplicados a la fisiología vegetal, reconociendo dos divisiones; los modelos mecanísticos concebidos en términos de mecanismo del sistema o como las partes de un sistema que trabaja como una máquina, y los modelos empíricos.

Tradicionalmente, el crecimiento de las plantas puede ser discutido en términos de curvas y ecuaciones de crecimiento, útiles para la predicción y estimación (Erikson, 1976).

El análisis de regresión es una de las técnicas estadísticas para ajustar datos experimentales a modelos o curvas, que se usan con fines analíticos y predictivos. Los análisis de regresión son simples y útiles en la descripción matemática del crecimiento y desarrollo de plantas (Rimington y Charles-Edwards 1987).

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Localización del estudio

El trabajo se desarrolló en algunas de las unidades experimentales del ensayo clonal del Huerto Latinoamericano de Arboles Fijadores de Nitrógeno, ubicado en San Juan Sur, Turrialba (CATIE-CIID,1989) situado a 09° 53' de Latitud Norte y 83° 42' Longitud Oeste, con una elevación de 930 msnm. El ensayo se estableció en 1985 para coleccionar, mantener y seleccionar los clones superiores de Erythrina poeppigiana, E. berteorana, E. fusca y E. costarricensis, bajo la responsabilidad del Proyecto Arboles Fijadores de Nitrógeno (AFN) del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

#### 3.2 Condiciones climáticas y edáficas

##### 3.2.1 Clima

Con el objeto de registrar las condiciones climáticas y establecer las relaciones entre el medio ambiente y el crecimiento foliar de los clones durante el estudio, se realizaron observaciones de los siguientes factores: Precipitación, se dispuso de un pluviómetro de bureta; Temperaturas máximas y mínimas, registrándose mediante un termógrafo de registro semanal y Radiación Solar, cuyos valores fueron extrapolados de la estación climatológica del CATIE ubicada a 9° 53' Latitud Norte y a los 83° 38' Longitud Oeste a 602 msnm, a una distancia aproximada de 3 km del ensayo.

### 3.2.2 Suelos

Se tomaron muestras de suelo de 0-25 y 25-55 cm de profundidad para realizar el análisis químico, determinándose pH, M.O., N, P, K cationes y acidez extraíble. Los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos del CATIE.

### 3.3 Material vegetal utilizado

Para la selección de los clones a estudiar, se consideraron dos aspectos; especie y estructuras contrastantes. Considerando el grado de avance en las evaluaciones del germoplasma del ensayo clonal (Viquez y Pérez 1989)<sup>1/</sup> se tomaron aquellos clones de cada especie que han expresado ser los más altos, los más bajos y los intermedios en cuanto a: tamaño, número de rebrotes, diámetro de copa y producción de biomasa; para obtener información de los ámbitos de variación del fenómeno a estudiar, como base para la construcción de modelos (Arze, 1989).

El cuadro 1 muestra la condición de copa del árbol padre y procedencia de los clones seleccionados en el estudio.

---

1/Comunicación personal, responsables del Proyecto Ensayo Clonal CATIE/AFN. San Juan Sur, Turrialba, C.R. 1989.

Cuadro 1. Condición de copa del árbol padre y procedencias de clones en tres especies de Erythrina, para el análisis del crecimiento de hojas. Turrialba, 1990.

IDENTIFICACION	NUMERO DE CLON*	CONDICION DE COPA DE ARBOL PADRE	PROCEDENCIA
<u>Erythrina poeppigiana</u>			
P1	2687	Podada	Santa María de Dota, San José
P2	2700	Podada	San Pablo, Heredia
P3	2693	Podada	San Marcos de Tarrazú, San José
<u>Erythrina berteroana</u>			
B1	2674	Podada	Horquetas, Sarapiquí
B2	2439	Crec. libre	Zarcelero, Alajuela
B3	2696	Podada	Aserrí, San José
<u>Erythrina Fusca</u>			
F1	2701	Crec. libre	La Garita, Alajuela
F2	2678	Podada	San Isidro del General
F3	2432	Crec. libre	La Lola, Limón

\* El número corresponde a la accesión del Banco Latinoamericano de Semillas Forestales (BLSF) del CATIE, Turrialba.

Las unidades de estudio fueron:

Erythrina poeppigiana

Espécimen alto (P1) parcela 33 clon 2687  
 Espécimen intermedio (P2) parcela 36 clon 2700  
 Espécimen bajo (P3) parcela 34 clon 2693

Erythrina berteroana

Espécimen alto (B1) parcela 21 clon 2674  
 Espécimen intermedio(B2) parcela 8 clon 2439  
 Espécimen bajo (B3) parcela 39 clon 2696

Erythrina Fusca

Espécimen alto (F1) parcela 24 clon 2701  
 Espécimen intermedio(F2) parcela 16 clon 2678  
 Espécimen bajo (F3) parcela 2 clon 2432

La ubicación en el campo se muestra en la figura 1 que corresponde a la distribución de parcelas y árboles del ensayo clonal del CATIE en San Juan Sur, Turrialba, C.R., el cual es evaluado y cosechado (poda total de ramas a 1 metro de altura) cada seis meses.

El período del estudio comprendió de noviembre de 1989 a agosto de 1990. Dividido en dos fases: I)- de noviembre hasta febrero de 1990, tiempo en que se afinó la metodología (mediciones y muestreos en parcelas, árboles, ramas y hojas) y se realizaron las mediciones morfológicas de hojas, para la obtención de coeficientes para determinar indirectamente el área y peso de hojas. Información necesaria para la segunda fase: II)- de febrero a agosto, que consistió en el desarrollo y logro de objetivos planteados.

BLOQUE # 3

24 34 10 18 13 09 42 07 02 17 39 03 23 36 29 11 41 21 25 01 12 43 44

20 22 35 04 05 19 31 26 06 37 32 38 08 15 30 27 33 14 40 16 28

BLOQUE # 1

28 37 13 12 05 04 11 18 36 43 30 34 44 10 29 17 24 14 09 03 39 08

02 41 25 06 38 33 26 32 07 15 35 01 21 27 19 23 40 31 42 16 22 20

BLOQUE # 2

06 27 36 13 40 41 10 11 29 02 16 05 09 26 28 07 24 04 14 35 22 39

30 18 44 23 08 38 17 20 32 43 37 33 15 21 42 19 01 03 31 34 12 25



E. poeppigiana

E. berteriana

E. fusca

33

08

02

34

21

16

36

39

24

Parcelas seleccionadas para el análisis del crecimiento de hojas.

Figura 1. Croquis de la distribución de parcelas del ensayo clonal de *Erythrina* spp, en San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica, 1990.

### 3.4 Unidades de estudio

Para el estudio se utilizaron un total de 81 árboles; tres árboles de cada clon en cada una de las tres repeticiones.

De cada árbol se seleccionaron al azar dos ramas desde su emergencia y se marcaron con cintas plásticas de colores. Registrando cada 15 días las siguientes variables; largo de ramas marcadas y número de hojas presentes en cada rama; además número de yemas y ramas por árbol. En el estudio se consideraron 2 fases. La primera de octubre de 1989 a 13 de febrero de 1990 y la segunda del 21 de febrero al 28 de agosto de 1990.

En la última semana de octubre (fase I), un mes antes de ser podados (cosechados) los árboles para la segunda evaluación de 1989, en los árboles seleccionados, se tomó de la rama más alta tres hojas: una de la parte basal, la cuarta hoja presente, considerando que es una hoja "adulta"; otra hoja de la parte media de la rama referida, asumiendo que es una hoja "joven" y la tercera hoja fue tomada de la parte apical (la hoja número tres en relación al ápice) considerándosele como una hoja "tierna" o recién formada. La figura. 2 muestra la ubicación de las hojas referidas.

Las 243 hojas colectadas fueron medidas según se muestra en la figura 3 y cuadro 2, posteriormente se les determinó el área a cada folíolo mediante un planímetro polar, y puestos a secar en estufa a temperatura de 70°C hasta obtener peso constante (aproximadamente 72 horas), para determinar el peso seco de cada folíolo y de pecíolos.

Con estos datos, se estimó mediante correlación y regresión lineal el mejor factor de forma y peso, para predecir mediante medidas morfológicas sencillas en campo, el área y peso seco de cada folíolo, considerando al menos tres estados fisiológicos de las hojas ("tierno", "juvenil" y "adulto") para cada especie y clon.

Después de 13 semanas de la poda (21 de febrero de 1990) iniciando la fase II. En las ramas marcadas se seleccionaron las últimas tres hojas emergidas, para registrar en cada hoja, el largo y ancho máximo del folíolo

derecho y apical más la longitud del pecíolo, hasta completar el ciclo de vida de tales hojas. Las observaciones en las tres repeticiones fueron realizadas cada 15 días, adicionalmente estas observaciones fueron intensificadas en la repetición I con intervalos semanales.

El crecimiento en el diámetro de las ramas se estudió en la repetición I con observaciones semanales en dos diámetros; el diámetro uno se designó donde se marcó la hoja N<sup>o</sup> 1 y el diámetro dos quedó ubicado al término anterior del ciclo de filotaxia en la rama, con referencia a la hoja denominada número uno.

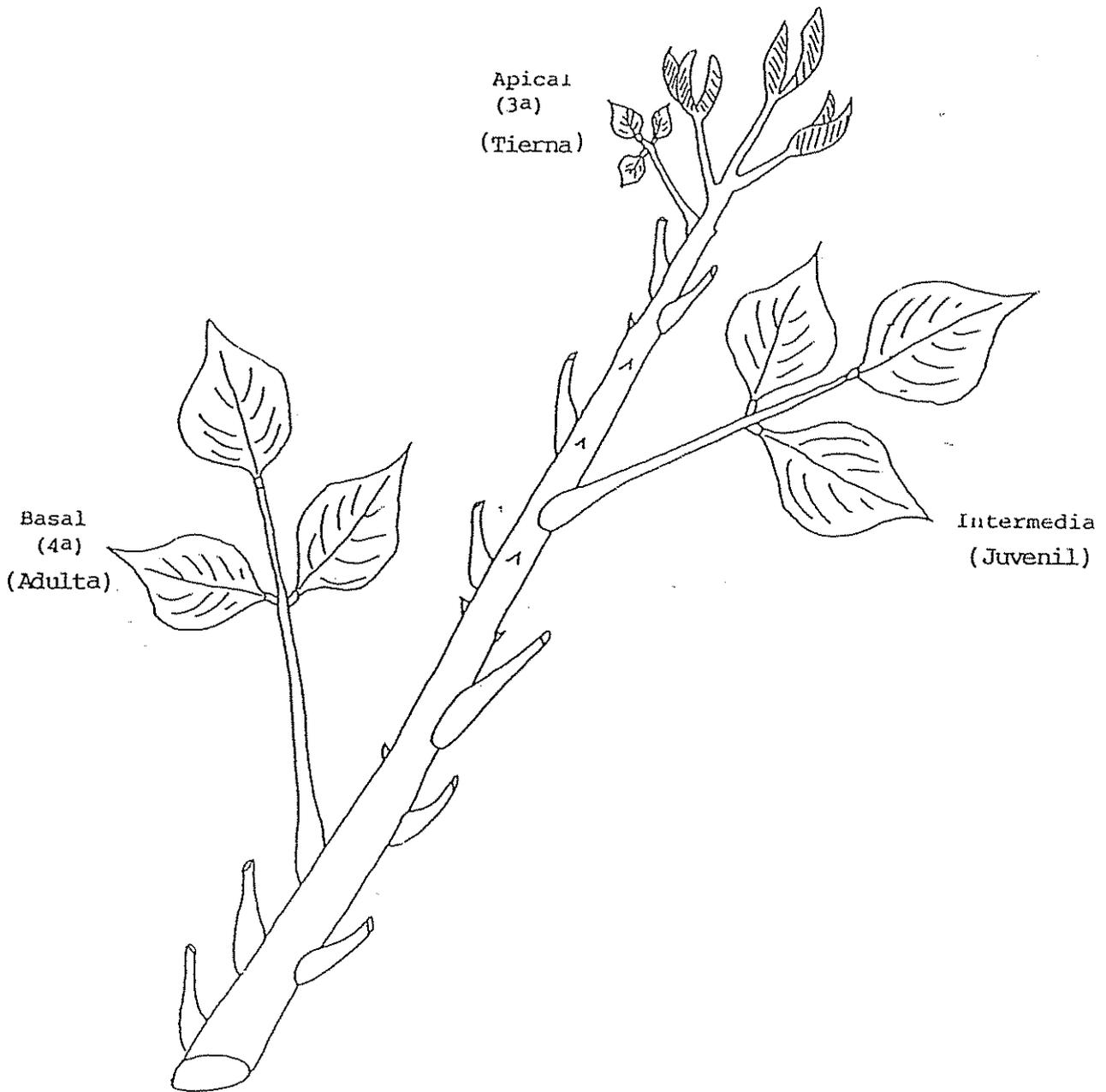


Figura 2. Ubicación de hojas de *Erythrina* sp para mediciones morfológicas en el análisis del crecimiento de hojas. Turrialba, 1990.

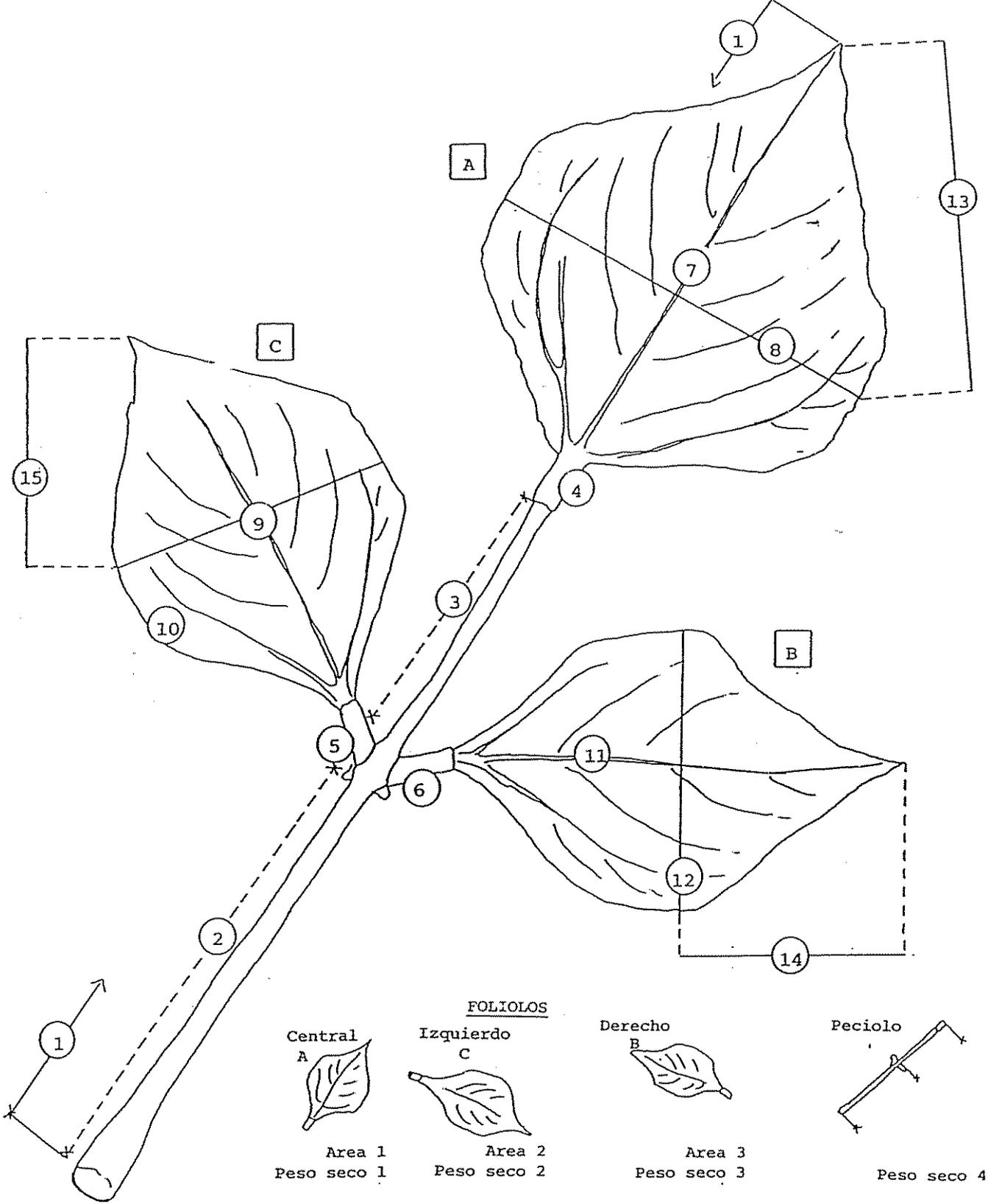


Figura 3. Mediciones morfológicas en hojas de *Erythrina* spp, para el análisis del crecimiento de hojas. Turrialba, 1990.

Cuadro 2. Descripción de mediciones morfológicas en hojas de Erythrina spp para el análisis del crecimiento del follaje. Turrialba, 1990.

Descriptor	Mediciones morfológicas
1	longitud total de la hoja
2	largo del pecíolo desde la base hasta peciolulos de folíolos laterales
3	largo del pecíolo desde peciolulos laterales hasta el peciólulo apical
4	longitud del peciólulo apical (central)
5	longitud del peciólulo lateral izquierdo
6	longitud del peciólulo lateral derecho
A	folíolo apical (central)
7	largo del folíolo central (desde la base hasta el ápice)
8	ancho del folíolo central (de la parte más ancha)
C	folíolo lateral izquierdo
9	largo del folíolo lateral izquierdo (desde la base hasta el ápice)
10	ancho del folíolo lateral izquierdo (de la parte más ancha)
B	folíolo lateral derecho
11	largo del folíolo lateral derecho (desde la base hasta el ápice)
12	ancho del folíolo lateral derecho (de la parte más ancha)
13, 14 y 15	longitud de la parte más ancha de cada folíolo hasta el ápice ( central, derecho e izquierdo respectivamente)

### **3.5 Análisis del crecimiento**

Para evaluar el crecimiento de las hojas se realizaron las siguientes mediciones y cálculos de índices.

#### **3.5.1 Características generales del crecimiento del follaje**

##### **3.5.1.1 Del árbol**

De cada clon (árbol) se evaluó el número de ramas que produjo y se determinó su relación con el número de yemas emitidas a través del tiempo (fase II).

##### **3.5.1.2 de las ramas**

De dos ramas por árbol seleccionadas al azar, se registró: el largo de la rama, número de ramas secundarias, el diámetro (en un solo bloque) y el número de hojas presentes por rama.

##### **3.5.1.3 de las hojas**

Se midió en cada una de las dos ramas seleccionadas, a tres hojas en sus folíolos lateral derecho y en el central: el largo, el ancho de la hoja y la longitud del pecíolo, así como el tiempo transcurrido a la abscisión de las hojas (duración del crecimiento de la hoja). Con los datos de largo y ancho y el factor de forma se determinó para cada muestreo el área de la lámina foliar y el peso seco de cada folíolo, incluyendo el peso del pecíolo.

#### **3.5.2 Tasas de crecimiento**

Para la obtención de estas tasas se realizaron mediciones desde el 16 de diciembre de 1989 hasta el 28 de agosto de 1990 (14 muestras quincenales y 28 semanales). El ordenamiento y procesamiento de los datos se realizó con el uso de diferentes "softwares" de computación como: Hoja electrónica Lotus (1-2-3), Statistical Analysis System (SAS/STAT, 1987), Procesador de textos (Word 5) y un graficador (Harvard).

Las tasas de crecimiento fueron estimadas con base en los promedios de los tres bloques por especie y por clon, referidos a dos períodos (quincenal y semanal) de las variables: del árbol, de las ramas y de las hojas.

### **3.5.3 Patrón de crecimiento.**

Con base en los datos y conocimientos generados, se observó el patrón de crecimiento de los clones dentro de cada especie, así como los valores observados entre especies, para comparar y distinguir entre ellos, las diferencias y/o similitudes en el crecimiento del follaje.

### **3.5.4 Cosecha de los árboles**

Para tener referencia e integrar el conocimiento del crecimiento del follaje con otras variables del árbol, utilizadas en la evaluación del germoplasma en el ensayo clonal, se registró en cada uno de los clones estudiados: la altura del árbol, longitud de la rama más larga y su diámetro basal y de la copa, la biomasa total fue fraccionada en tallos tiernos, tallos leñosos y biomasa de hojas.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Condiciones climáticas

El Cuadro 3 muestra los valores de los factores climáticos registrados durante el estudio del crecimiento del follaje en Erythrina. Se da énfasis a la segunda fase del estudio (28 feb. al 28 ago. de 1990) por corresponder al período de obtención de mayor información y datos. Durante esta etapa se presentó la menor precipitación anual (época seca) por los bajos valores presentados en febrero y abril (56.1 y 96.8 mm de lluvia), su distribución se caracterizó por los altibajos presentados figura 4.

En general, la radiación solar mostró correspondencia con la columna de Grados-Día (figura 4), al aumentar en su escala, los Grados-Día también se incrementaron o disminuyeron.

### 4.2 Fertilidad del suelo

En el cuadro 4 se presenta la información básica de los principales componentes de la fertilidad del suelo en el área experimental. En este cuadro puede notarse, los altos niveles de materia orgánica (de 7.4 a 11.2%) y acidez extraíble (de 2.0 a 3.7 Cmol (+) l), en los primeros 25 cm que sumada a la baja concentración de cationes inciden en los altos porcentajes de saturación ácida (48 a 82%), indicadores de la baja fertilidad agrícola de estos suelos.

La repetición dos del ensayo clonal se encuentra ubicada en los suelos de más baja fertilidad, con un pH más ácido con respecto a las otras repeticiones.

### 4.3 Determinación de coeficientes.

#### 4.3.1 Para área de folíolos.

En los cuadros 5 y 6 se presentan los coeficientes de regresión y de ajuste del factor de forma para estimar el área de folíolos en las tres especies de Erythrina. Los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) son mayores si se utiliza el producto de largo por ancho de los folíolos, en comparación de utilizar solo el largo, por ejemplo; 0.93 VS 0.99 para el folíolo central de E. poeppigiana, conservando una diferencia promedio de cinco puntos porcentuales en especies y folíolos.

Entre clones dentro de cada especie no se encontró diferencias para el factor de forma de área en la lámina foliar; entre especies se mostraron diferencias, para los valores de folíolos laterales (derecho e izquierdo) pueden considerarse similares (para E. poeppigiana 0.578 y 0.575).

Cuadro 3. Condiciones climáticas de San Juan Sur, Turrialba, C.R..  
 Período de estudio del crecimiento del follaje en Erythrina  
 spp, (datos quincenales) 1989-1990.

Muestreo (quincenal)	Fecha	Radiación * cal/cm <sup>2</sup>	Precipitación mm	Grados-Día** °C
FASE I				
1	16-12-89	6786	113.5	201.9
2	29-12-89	4132	161.3	109.6
3	15-01-90	5760	87.6	151.0
4	29-01-90	4143	106.2	129.6
5	13-02-90	4170	44.9	138.3
FASE II				
1	28-02-90	6724	11.2	139.1
2	14-03-90	4523	183.9	129.4
3	28-03-90	4949	89.9	140.3
4	11-04-90	6957	56.4	147.9
5	25-04-90	5438	40.4	143.5
6	09-05-90	5561	46.7	153.2
7	23-05-90	4540	181.6	161.0
8	06-06-90	5002	156.5	166.4
9	20-06-90	4565	124.5	162.3
10	04-07-90	3968	165.8	159.4
11	18-07-90	4083	96.8	147.8
12	01-08-90	5271	163.6	156.8
13	15-08-90	4621	143.0	151.7
14	28-08-90	4397	129.8	140.4

\* extrapolada de la Estación Climatológica del CATIE.

\*\* Grados-Día = (T max - T min)/2-10.



Cuadro 4. Resultados del análisis químico de suelos del ensayo clonal a dos profundidades. Turrialba, 1990.

Bloque	Profundidad (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	M.O. %	N %	P (mg/L)	K	Ca (Cmol(+)/L)	Mg	Acidez extraíble	Saturación de acidez (%)
1	0 - 25	4.3	10.5	0.44	2.5	0.27	1.27	0.62	2.0	48
	25 - 55	4.4	7.7	0.21	1.7	0.12	0.51	0.21	1.4	62
2	0 - 25	4.1	7.5	0.37	2.5	0.21	0.35	0.25	3.7	82
	25 - 55	4.3	5.9	0.25	1.7	0.12	0.36	0.14	1.4	69
3	0 - 25	4.4	11.2	0.39	2.5	0.20	1.09	0.48	2.1	54
	25 - 55	4.5	9.3	0.39	1.7	0.11	0.44	0.14	1.2	64

#### 4.3.2 Para peso seco de folíolos.

Los coeficientes de regresión y ajuste del factor de peso seco de folíolos en las tres especies de Erythrina, se muestran en los cuadros 7 y 8. Para los dos modelos generados se obtuvieron valores similares en el  $R^2$ , como ejemplo: para E. berteroana se obtuvo 0.950, 0.938 y 0.939 para los folíolos central, derecho e izquierdo respectivamente, si se usa el modelo de largo por ancho de folíolos, y valores de 0.959, 0.919 y 0.908 para la misma especie y folíolos con el modelo de área foliar.

Como en el caso del factor de forma para área foliar, para el factor de peso seco solo hubo diferencias entre especies

El cuadro 9 muestra los valores de coeficientes de regresión para predecir el peso seco del pecíolo por especie, los valores del  $R^2$  son comparativamente bajos con respecto a los otros coeficientes calculados, probablemente originados por las variaciones en las dos mediciones hechas al pecíolo (cuadro 2 y figura 3).

Cuadro 5. Coeficientes de regresión para el factor de área de folíolos en tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.  
 Modelo: área del folíolo(cm<sup>2</sup>)=largo x ancho folíolo(cm) x factor.

FOLIOLO	FACTOR	R <sup>2</sup>
<u>Erythrina poeppigiana</u>		
CENTRAL	0.586	0.995
DERECHO	0.578	0.989
IZQUIERDO	0.575	0.986
<u>Erythrina berteroana</u>		
CENTRAL	0.632	0.994
DERECHO	0.601	0.995
IZQUIERDO	0.619	0.995
<u>Erythrina fusca</u>		
CENTRAL	0.691	0.973
DERECHO	0.701	0.974
IZQUIERDO	0.710	0.976

Sin intercepto. 81 observaciones por especie y folíolo.

Cuadro 6. Coeficientes de regresión para el factor de área de folíolos en tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.

Modelo: área de folíolo (cm<sup>2</sup>) = largo del folíolo(cm) x factor.

FOLIOLO	FACTOR	R <sup>2</sup>
<u>E. poeppigiana</u>		
CENTRAL	12.579	0.931
DERECHO	9.227	0.939
IZQUIERDO	8.992	0.937
<u>E. berteroana</u>		
CENTRAL	9.360	0.944
DERECHO	7.098	0.916
IZQUIERDO	6.573	0.924
<u>E. fusca</u>		
CENTRAL	8.360	0.938
DERECHO	6.840	0.943
IZQUIERDO	6.735	0.948

Sin intercepto. 81 observaciones por especie y folíolo

Cuadro 7. Coeficientes de regresión para el factor de peso seco de folíolos en tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.

Modelo: peso seco folíolo(gr)=largo x ancho folíolo(cm) x factor.

ESPECIE	FOLIOLO	FACTOR	R <sup>2</sup>
<u>E. poeppigiana</u>	CENTRAL	0.00349	0.944
	DERECHO	0.00309	0.939
	IZQUIERDO	0.00301	0.946
<u>E. berteroana</u>	CENTRAL	0.00473	0.950
	DERECHO	0.00432	0.938
	IZQUIERDO	0.00437	0.939
<u>E. fusca</u>	CENTRAL	0.00653	0.965
	DERECHO	0.00631	0.959
	IZQUIERDO	0.00637	0.958

Sin intercepto. 81 observaciones por especie y folíolo

Cuadro 8. Coeficientes de regresión para el factor de peso seco de folíolos en tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.

Modelo: peso seco folíolo(gr) = área de folíolo(cm<sup>2</sup>) x factor.

FOLIOLLO	FACTOR	R <sup>2</sup>
<u>Erythrina poeppigiana</u>		
CENTRAL	0.00596	0.949
DERECHO	0.00530	0.936
IZQUIERDO	0.00518	0.941
<u>Erythrina berteroana</u>		
CENTRAL	0.00753	0.959
DERECHO	0.00694	0.919
IZQUIERDO	0.00650	0.908
<u>Erythrina fusca</u>		
CENTRAL	0.00920	0.938
DERECHO	0.00876	0.930
IZQUIERDO	0.00876	0.932

Sin intercepto. 81 observaciones por especie y folíolo

Cuadro 9. Coeficientes de regresión para el factor de peso seco del pecíolo en tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.  
Modelo: peso seco pecíolo (g)=largo pecíolo (cm) x factor.

PECIOLO	FACTOR	R <sup>2</sup>
<u>E. poeppigiana</u>	0.0252	0.869
<u>E. berteroana</u>	0.0221	0.842
<u>E. fusca</u>	0.0232	0.880

Sin intercepto. 81 observaciones por especie.

#### 4.4. Tasas de crecimiento.

##### 4.4.1. Del árbol.

##### 4.4.1.1. Número de ramas por árbol.

En el cuadro 10 se muestra el número de yemas y ramas promedio desarrollados en los clones seleccionados. De manera general, se aprecia una tendencia de producción de ramas en relación al porte de los árboles: los árboles más altos (P1, B1 y F1) producen más ramas. El número de yemas emergidas mostró una relación directa con el número de rebrotes producidos en todos los clones (figura 5).

El clon B1 (2674) de E. berteroana con 21 rebrotes mostró ser el árbol con mayor capacidad para producir ramas, contrastando con los 9 rebrotes producidos por el clon B3 (2696) de la misma especie. Esta especie presentó la mayor variabilidad en número de rebrotes, mientras que E. fusca mostró la

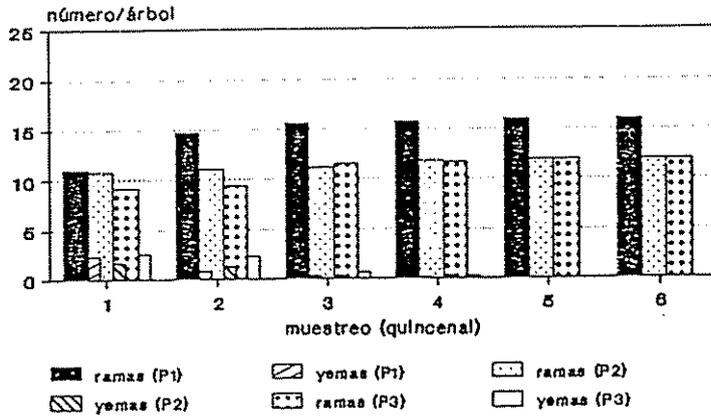
menor variabilidad: 14 brotes para el clon 2701 (F1) y 9 rebrotes para el clon 2432 (F3).

Cuadro 10. Relación del número de yemas y ramas promedio/árbol emergidas en clones de tres especies de *Erythrina*. Durante el análisis del crecimiento del follaje. Turrialba, 1990.

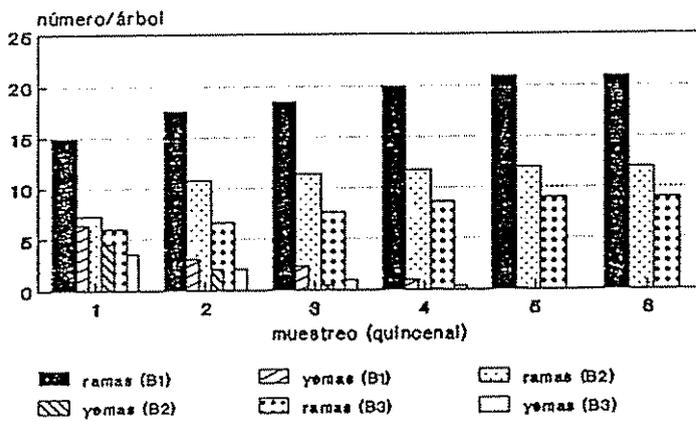
MUESTREO	NUMERO DE YEMAS RAMAS		NUMERO DE YEMAS RAMAS		NUMERO DE YEMAS RAMAS	
<i>E. poeppigiana</i>						
quincenal	clon 2687 (P1)		clon 2700 (P2)		clon 2693 (P3)	
1	2.3	11.0	1.6	10.8	2.5	9.2
2	0.8	14.7	1.2	11.1	2.3	9.4
3	0.2	15.6	0.3	11.2	0.6	11.5
4	0.1	15.8	0.2	11.8	0.3	11.7
5	0.0	16.0	0.0	12.0	0.0	12.0
6	0.0	16.0	0.0	12.0	0.0	12.0
<i>E. berteroana</i>						
	clon 2674 (B1)		clon 2439 (B2)		clon 2696 (B3)	
1	6.4	15.0	4.5	7.3	3.6	6.0
2	3.0	17.6	2.0	10.8	2.1	6.6
3	2.3	18.5	0.5	11.4	1.0	7.7
4	1.0	20.0	0.1	11.8	0.3	8.7
5	0.1	21.0	0.0	12.0	0.0	9.0
6	0.0	21.0	0.0	12.0	0.0	9.0
<i>E. fusca</i>						
	clon 2701 (F1)		clon 2678 (F2)		clon 2432 (F3)	
1	2.2	11.8	2.8	6.7	3.4	5.4
2	1.8	12.1	3.0	7.1	3.7	5.6
3	1.2	12.6	0.6	9.1	0.8	8.2
4	0.5	13.5	0.4	9.9	0.5	8.4
5	0.2	13.7	0.1	10.0	0.5	8.6
6	0.0	14.0	0.0	10.0	0.0	9.0

Del cuadro 10 se infiere que todos los clones dejaron de producir yemas en el tronco, 12 semanas después de la poda. Se observó una alta sobrevivencia de las yemas emitidas por los clones en estudio y alta conversión de yemas a ramas.

### E. poeppigiana



### E. berteroana



### E. fusca

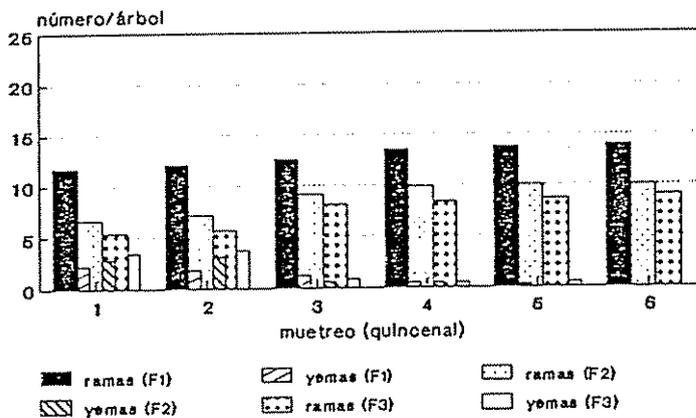


Figura 5. Número de ramas y yemas producidas por clones de tres especies de *Erythrina*. Turrialba, 1990.

#### 4.4.2. De ramas.

##### 4.4.2.1. Longitud.

En el cuadro 11 se presentan los resultados promedio de las tasas de crecimiento quincenal (diferencia entre la longitud en una quincena y la longitud en la quincena anterior) del largo de ramas en los nueve clones estudiados. De los datos de este cuadro, se aprecia que la longitud de las ramas conserva la tendencia de mayores tasas de crecimiento en los clones de porte alto de las tres especies (P1, B1 y F1) y las menores tasas crecimiento del largo de ramas en los clones de porte bajo (P3, B3 y F3).

Cuadro 11. Promedios de las tasas de crecimiento quincenal para el largo de ramas (cm/quincena) en clones de tres especies de Erythrina . Durante el ciclo de vida promedio de hojas. Turrialba, 1990.

TIEMPO (quincena)	<u>E. poeppigiana</u>			<u>E. berteroana</u>			<u>E. fusca</u>		
	CLONES			CLONES			CLONES		
	P1 2687	P2 2700	P3 2693	B1 2674	B2 2439	B3 2696	F1 2701	F2 2701	F3 2432
1-2	10.6	7.8	2.8	19.4	7.2	7.8	7.2	9.4	4.0
2-3	20.8	13.2	6.8	21.8	12.4	6.2	8.8	9.8	4.4
3-4	20.6	13.2	5.6	18.0	14.4	4.2	10.0	12.6	5.2
4-5	16.0	10.8	3.0	17.0	12.4	2.2	9.4	11.2	4.8
5-6	20.0	18.2	10.4	19.0	12.0	1.8	14.0	13.4	6.8
6-7	18.8	17.6	5.0	16.0	13.2	2.6	14.4	13.6	8.2
7-8	36.8	12.6	23.0	13.6	16.0	6.8	15.8	13.2	10.0
8-9				13.0	11.4	3.8	10.2	9.8	7.2
9-10					11.4	7.2	17.4	11.4	14.2
10-11					12.0	2.0	7.2	19.6	6.2
11-12							5.0	5.8	6.8
12-13							8.8	10.0	12.4
PROMEDIO	20.5	13.3	8.1	17.2	12.2	4.5	10.7	11.6	7.5

Los clones de E. fusca fueron los que menor tasa de crecimiento promedio en longitud de ramas mostraron (10.7, 11.6 y 7.5) cm/quincena. Las ramas de los clones de E. poeppigiana crecieron más en comparación con las de E. berteriana, con promedios de (20.5, 13.3 y 8.1) cm/quincena, contra (17.2, 12.2 y 4.5) cm/quincena respectivamente.

En la figura 6 se muestran desglosados por especie el comportamiento de las tasas de crecimiento quincenal para la longitud de ramas en los clones estudiados. Puede observarse de manera general, para E. berteriana y E. poeppigiana se hace mayor la diferencia entre clones a medida que crecen las ramas, sin embargo, en E. fusca la diferencia entre clones es mucho menor (figura 7).

Todas las comparaciones entre clones mostraron diferencias significativas para la tasa de crecimiento (cm/quincena) en longitud de ramas (cuadro 12). Entre especies, las E. poeppigiana y E. berteriana se obtuvieron promedios similares, mientras que con E. fusca son significativamente diferentes (cuadro 13).

Cuadro 12. Coeficientes de regresión para el factor de crecimiento quincenal de largo de rama en clones de tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.

Modelo: largo rama(cm/quincena) = muestreo (quincenal) x factor

COEFICIENTES	<u>E. poeppigiana</u>			<u>E. berteroana</u>			<u>E. fusca</u>		
	CLONES			CLONES			CLONES		
	P1 2687	P2 2700	P3 2693	B1 2674	B2 2439	B3 2696	F1 2701	F2 2678	F3 2432
Incremento quincenal	29.4	20.3	8.9	28.9	20.2	9.1	13.9	16.7	9.7
R <sup>2</sup>	0.97	0.97	0.97	0.95	0.98	0.92	0.99	0.97	0.98

Sin intercepto. 8-14 observaciones por clon.

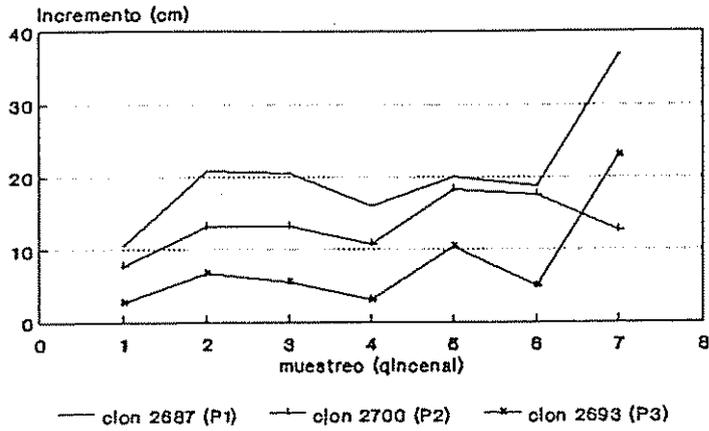
Cuadro 13. Coeficientes de regresión para el factor de crecimiento quincenal de largo de rama en tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.

Modelo: largo rama(cm/quincena) = muestreo(quincenal) x factor

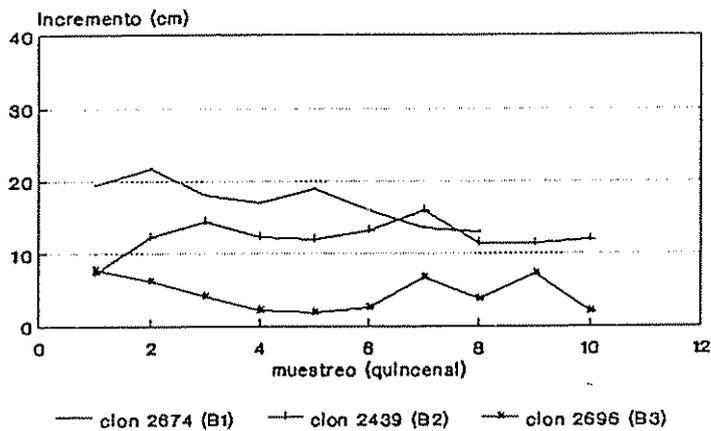
COEFICIENTES	<u>E. poeppigiana</u>	<u>E. berteroana</u>	<u>E. fusca</u>
	Incremento quincenal	19.54	19.42
R <sup>2</sup>	0.95	0.91	0.93

Sin intercepto. 24-30 observaciones por especie

### E. poeppigiana



### E. berteriana



### E. fusca

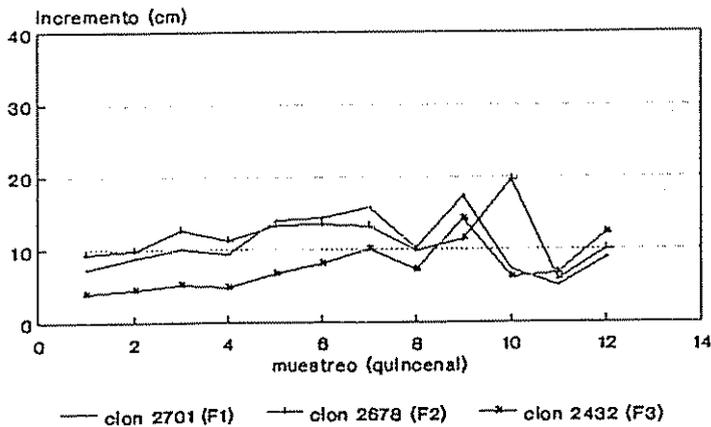
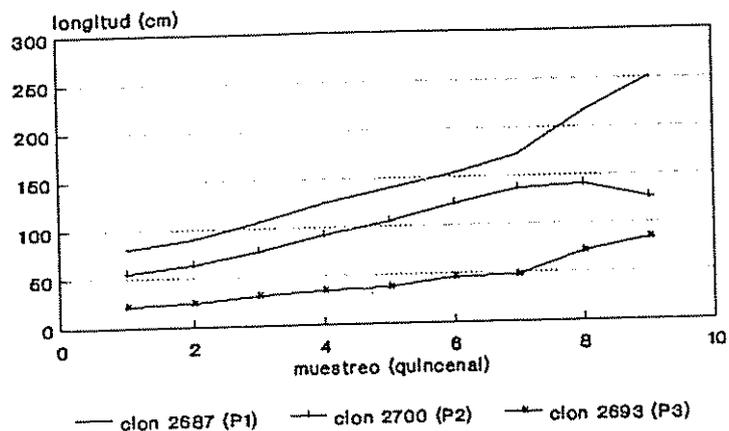
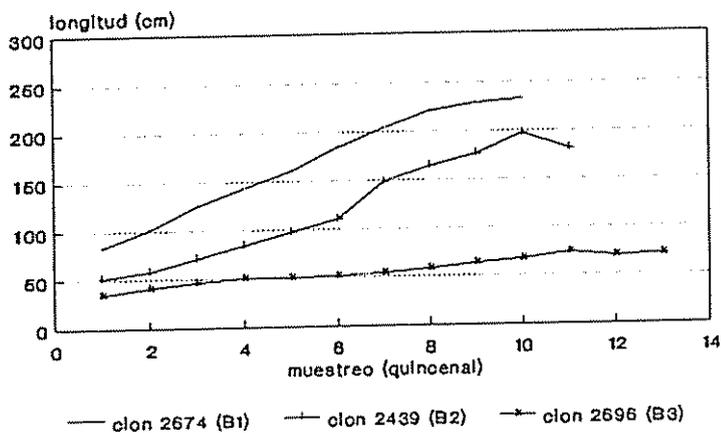


Figura 6. Incremento quincenal del largo de ramas en clones de tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.

### E. poeppigiana



### E. berteriana



### E. fusca

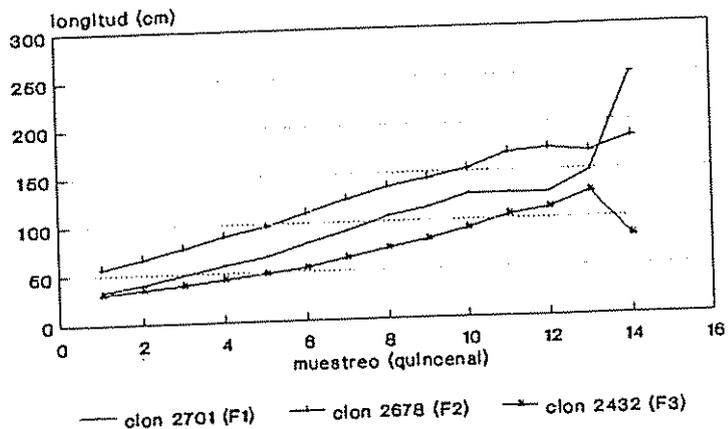


Figura 7. Longitud de ramas en clones de tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.

En el cuadro 16 se muestran las tasas de crecimiento semanal del promedio de longitud de ramas en los clones estudiados. Se observa una tendencia similar con las tasas quincenales al considerar los grupos de altura de los clones (altos, bajos y medios), pero los valores registrados para E. poeppigiana y E. berteroana fueron menores con respecto a las tasas quincenales, no así los clones de E. fusca que expresaron valores superiores en el período semanal.

Los clones estudiados mostraron diferencias significativas en cuanto a tasas de crecimiento quincenal. Para las tasas semanales no se detectaron diferencia entre los clones 2701 y 2678 de E. fusca, y el 2439 y 2696 de E. berteroana. Entre especies, las tasas de crecimiento semanal en largo de ramas no mostraron diferencias estadísticas (cuadro 15).

Cuadro 14. Coeficientes de regresión para el largo de rama en clones de tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.  
 Modelo: largo rama(cm/semana) = muestreo(semanal) x factor

COEFICIENTES	<u>E. poeppigiana</u>			<u>E. berteroana</u>			<u>E. fusca</u>		
	CLONES			CLONES			CLONES		
	P1 2687	P2 2700	P3 2693	B1 2674	B2 2439	B3 2696	F1 2701	F2 2678	F3 2432
Incremento semanal (b)	13.7	10.6	5.4	14.5	7.0	5.4	9.6	8.9	5.8
R <sup>2</sup>	0.93	0.96	0.97	0.94	0.95	0.94	0.99	0.97	0.97

Sin intercepto. 16-28 observaciones por especie.

Cuadro 15. Coeficientes de regresión para el largo de rama en tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.  
 Modelo: largo rama(cm/semana) = muestreo(semanal) x factor

COEFICIENTES	<u>E. poeppigiana</u>	<u>E. berteroana</u>	<u>E. fusca</u>
Incremento semanal (b)	9.9	8.9	8.1
R <sup>2</sup>	0.95	0.94	0.96

Cuadro 16. Promedios de las tasas de crecimiento semanal para el largo de ramas (cm/semana) en clones de tres especies de *Erythrina* durante el ciclo de vida promedio de hojas. Turrialba, 1990.

TIEMPO (semana)	<u>E. poeppigiana</u>			<u>E. berteroana</u>			<u>E. fusca</u>		
	CLONES			CLONES			CLONES		
	P1 2687	P2 2700	P3 2693	B1 2674	B2 2439	B3 2696	F1 2701	F2 2678	F3 2432
1-2	5.5	3.6	3.4	11.2	1.8	1.9	5.6	7.1	1.5
2-3	6.3	3.2	0.5	11.8	0.2	1.2	6.6	7.4	1.8
3-4	7.0	4.0	0.7	4.2	0.3	1.9	6.0	5.3	1.7
4-5	7.7	5.0	2.2	17.2	0.5	2.0	6.4	6.7	1.9
5-6	7.6	10.0	4.6	9.9	0.8	2.0	5.6	6.3	1.6
6-7	8.6	6.2	5.2	7.7	2.3	3.7	7.2	7.5	2.2
7-8	6.4	4.5	1.2	6.9	2.9	3.2	6.9	6.2	1.9
8-9	4.6	7.6	0.8	6.9	2.9	2.9	9.0	5.9	2.9
9-10	6.2	4.2	2.1	3.7	3.1	3.0	4.9	6.7	1.3
10-11	9.8	8.8	7.1	9.5	4.3	3.0	12.7	9.9	5.7
11-12	7.3	7.6	5.2	6.0	3.2	1.0	7.6	7.0	3.7
12-13	5.1	8.5	5.5	5.3	16.7	0.2	9.6	8.2	4.5
13-14	4.6	6.2	4.1	5.5	19.5	0.6	9.4	8.0	5.0
14-15				5.6	4.5	0.6	10.0	8.8	6.0
15-16				4.0	3.0	0.0	9.7	8.5	5.3
16-17				4.8		2.4	8.0	7.6	4.0
17-18				4.3		0.9	4.0	5.4	3.0
18-19							13.8	11.3	5.5
19-20							8.5	6.7	25.5
20-21							4.3	5.0	3.7
21-22							16.4	4.8	28.1
22-23							15.7	5.0	3.5
23-24							8.0	3.2	4.0
24-25							7.0	4.5	3.5
25-26								3.4	4.0
26-27								4.3	
PROMEDIO	6.3	6.1	3.2	7.3	4.4	2.4	8.4	6.5	5.3

Los datos corresponden a una repetición (tres árboles por clon).

#### 4.4.2.2. Número de hojas.

El tiempo de finalización para la observación de la variable, se estableció a la caída de las tres hojas marcadas en cada clon estudiado y se refiere a la cantidad de hojas presentes en las ramas seleccionadas al momento de cada muestreo.

En el cuadro 17 aparecen los valores calculados para la tasa de crecimiento quincenal promedio para el número de hojas/rama presentes en los árboles estudiados. Puede observarse la correspondencia que guardan los clones contrastantes: Los clones de mayor porte dentro de cada especie tienen mayor número de hojas que los de menor porte. Una tendencia general mostrada por el número de hojas/rama, fue la expresión de tasas negativas al final del ciclo de vida de las hojas en cada especie, es decir, que el número de hojas nuevas formadas fue menor que el número de hojas que se desprendieron de las ramas, con respecto a muestreos anteriores.

En las figuras 8 y 9 se aprecia el comportamiento de las tasas relativas promedio del número de hojas por especie a través del tiempo. E. fusca fue la especie que mostró menor variabilidad y mayor tiempo de duración de las hojas en las ramas (>7 meses), comparada con los bajos valores de E. poeppigiana y E. berteriana (4.5 y 6 meses respectivamente).

Una característica general de todos los clones de porte bajo (P3, B3 y F3), fue el mantener la mayor estabilidad relativa entre las fluctuaciones del número de hojas/rama durante el ciclo de vida de las hojas, como se infiere de la figura 9. E. poeppigiana y E. berteriana tienden a disminuir su número de hojas a medida que se acerca el tiempo de la abscisión de las hojas, contrario a lo mostrado por E. fusca, que mantiene más homogénea su relación de hojas nuevas con el desprendimiento de hojas del árbol.

Las tasas de número de hojas/rama para el período semanal, según cuadro 18 muestran comportamiento similar con el período quincenal, denotando mayor variación relativa entre muestreos, como lo evidencia la mayor frecuencia de valores negativos.

Cuadro 17. Tasas de crecimiento quincenal para el número de hojas presentes por ramas en clones de tres especies de *Erythrina* (Nº hojas/quincena). Durante el ciclo de vida promedio de hojas. Turrialba, 1990.

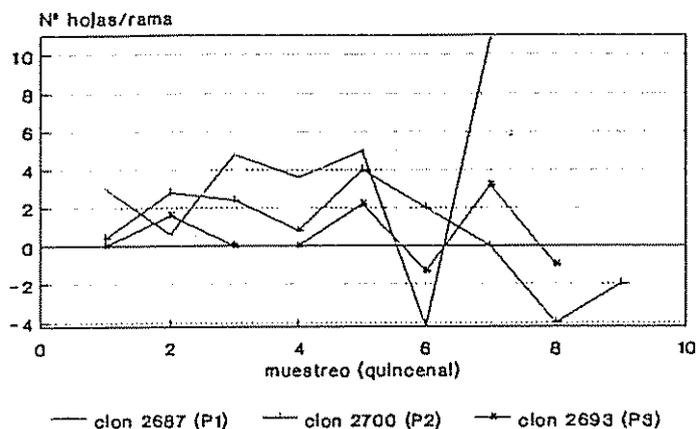
TIEMPO (quincena)	<u>E. poeppigiana</u>			<u>E. berteroana</u>			<u>E. fusca</u>		
	CLONES			CLONES			CLONES		
	P1 2687	P2 2700	P3 2693	B1 2674	B2 2439	B3 2696	F1 2701	F2 2678	F3 2432
1-2	3.0	0.4	0.0	5.0	1.8	3.2	0.4	1.8	3.2
2-3	0.6	2.8	1.6	6.2	2.8	3.8	1.6	1.4	1.2
3-4	4.8	2.4	0.0	5.6	2.8	2.2	1.6	2.0	1.2
4-5	3.6	0.8	0.0	5.0	3.2	0.8	2.0	2.8	1.2
5-6	5.0	4.0	2.2	5.4	2.2	0.6	2.2	2.8	1.8
6-7	-4.2	2.0	-1.3	3.0	9.2	1.0	2.8	3.2	1.8
7-8	10.8	0.0	3.2	0.4	3.4	3.6	3.2	3.8	2.6
8-9		-4.0	-1.0	-9.4	1.4	-2.2	2.4	2.0	2.0
9-10		-2.0		-8.6	-3.0	1.6	1.8	1.4	2.4
10-11					-2.4	-6.0	2.4	4.2	1.2
11-12							-0.6	1.2	-0.6
12-13							-1.6	2.0	2.0
14-15							4.0	4.2	-1.4
PROMEDIO	3.4	0.7	0.6	1.4	2.1	0.9	3.9	2.5	1.27

Cuadro 18 Tasas de crecimiento semanal para número de hojas presentes por rama, en clones de tres especies de Erythrina (Nº de hojas/semana), durante el ciclo de vida promedio de hojas. Turrialba, 1990.

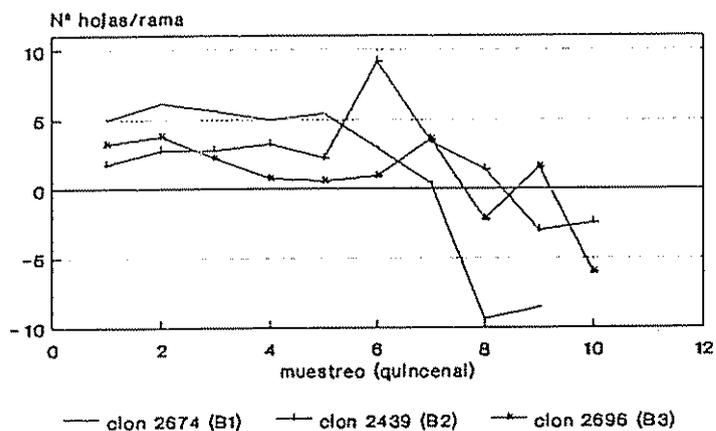
TIEMPO (Semana)	<u>E. poeppigiana</u>			<u>E. berteroana</u>			<u>E. fusca</u>		
	CLONES			CLONES			CLONES		
	P1 2687	P2 2700	P3 2693	B1 2674	B2 2439	B3 2696	F1 2701	F2 2678	F3 2432
1-2	2.7	2.2	2.1	3.5	0.3	2.3	1.0	1.3	1.0
2-3	1.3	-0.5	-0.8	2.2	-0.5	-0.3	0.8	1.5	1.3
3-4	0.8	0.2	-0.5	2.8	0.0	0.7	-0.2	1.3	-0.5
4-5	-2.7	0.8	-2.0	4.7	0.0	1.3	2.0	1.3	0.5
5-6	1.0	2.0	2.7	2.2	0.0	1.0	0.5	0.7	-0.3
6-7	2.5	1.7	0.0	4.2	0.7	2.8	1.0	1.3	0.0
7-8	0.7	1.0	-0.2	1.7	1.0	2.5	0.8	1.8	0.7
8-9	1.3	-0.2	-0.8	2.7	0.3	0.8	2.0	0.7	1.2
9-10	1.0	0.0	0.5	1.7	-0.3	0.7	1.7	1.3	0.2
10-11	3.3	1.5	1.2	2.3	-0.2	2.3	2.0	1.5	1.0
11-12	0.2	0.5	1.2	2.0	-0.7	0.0	1.3	2.2	0.8
12-13	-0.8	2.2	0.3	2.5	6.4	-0.2	1.7	1.7	0.7
13-14	-5.0	0.0	-0.7	-0.8	5.7	-0.3	1.7	2.3	0.3
14-15		1.7	1.2	1.3	-0.5	-0.2	2.7	2.0	2.2
15-16		-8.2	3.5	-0.2	-3.5	0.8	2.0	2.8	1.2
16-17			3.5	0.3	3.5	-1.8	1.3	2.3	0.5
17-18				-6.2	-1.5	-2.3	1.7	1.8	0.2
18-19				-12.7	-4.0	10.2	4.8	0.8	-0.7
19-20				-2.1		-2.2	-0.9	2.1	7.5
20-21							0.9	2.5	1.5
21-22							0.4	0.3	6.7
22-23							3.5	0.7	0.0
23-24							2.7	0.7	1.0
24-25							-3.5	2.5	0.0
25-26								-0.2	-0.5
26-27								0.0	
27-28								0.8	

Los datos corresponden a una repetición (tres árboles por clon).

### E. poeppigiana



### E. berteriana



### E. fusca

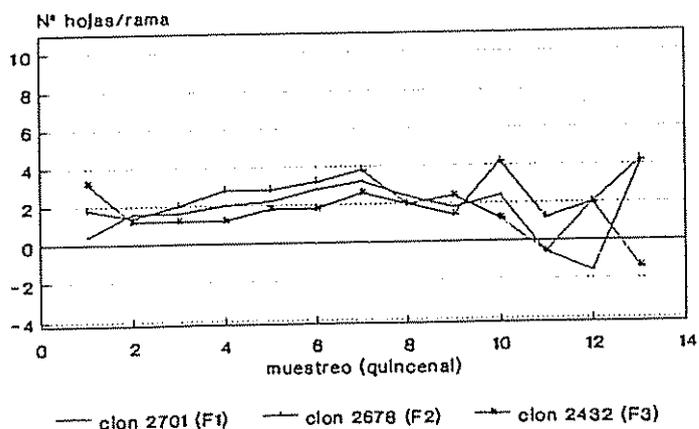
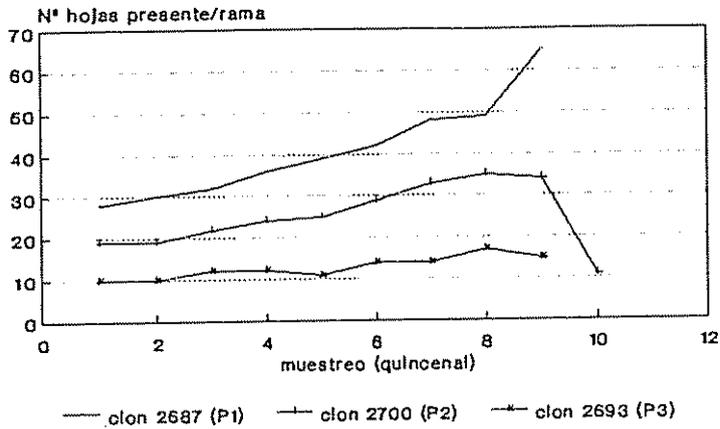
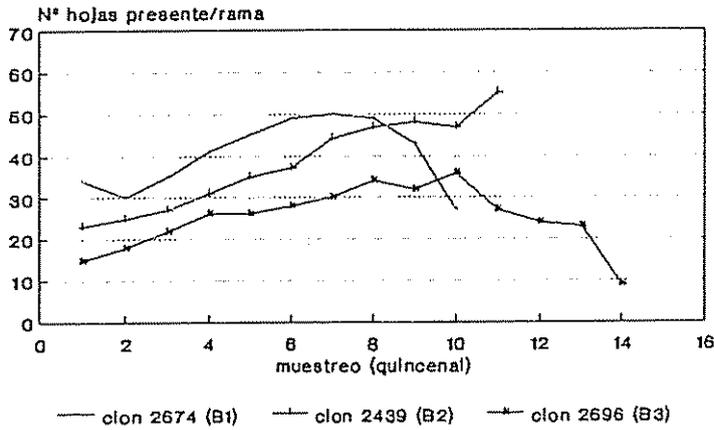


Figura 8. Tasa quincenal de número de hojas por rama en clones de tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.

### E. poeppigiana



### E. berteriana



### E. fusca

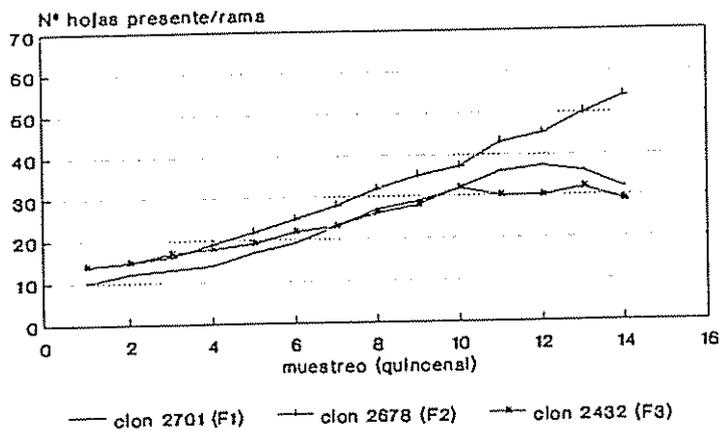


Figura 9. Número de hojas por rama presentes en clones de tres especies de *Erythrina*. Turrialba, 1990.

#### 4.4.2.3. Número de ramas secundarias

Del cuadro 19 se infiere que la producción de ramas secundarias en todos los clones estudiados, se intensifica en las últimas semanas del período de caída de hojas cuando la tasa de producción de hojas disminuye. E. fusca y E. berteroana produjeron menos ramas secundarias, dentro del período estudiado.

El clon 2700 (P2) de E. poeppigiana mostró la mayor capacidad para producir ramas secundarias (6 ramas promedio) contrastando con el clon 2701 (F1) de E. fusca con el menor número de ramas secundarias producidas (1.2 ramas promedio). Las tasas semanales observadas para esta variable, mostraron comportamiento similar al período quincenal (cuadro 20).

Cuadro 19. Tasa quincenal para el número de ramas secundarias emergidas por rama en clones de tres especies de *Erythrina* (número/quincena), durante el ciclo de vida promedio de las hojas. Turrialba, 1990.

TIEMPO (quincena)	<u>E. poeppigiana</u>			<u>E. berteroana</u>			<u>E. fusca</u>		
	CLONES			CLONES			CLONES		
	P1 2687	P2 2700	P3 2693	B1 2674	B2 2439	B3 2696	F1 2701	F2 2678	F3 2432
1-2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2-3	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3-4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4-5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5-6	0.6	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6-7	0.4	0.0	0.6	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0
7-8	0.0	1.4	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4
8-9		4.0	2.0	0.4	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
9-10		2.8			0.2	0.6	0.0	0.2	0.0
10-11						0.4	0.0	0.2	0.0
11-12						2.0	0.6	0.2	0.0
12-13							0.0	0.2	0.6
13-14							0.0	0.4	0.6

Cuadro 20. Tasa semanal para el número de ramas secundarias emergidas por rama en clones de tres especies de *Erythrina* (número/semana), durante el ciclo de vida promedio de las hojas. Turrialba, 1990.

TIEMPO (Semana)	<u>E. poeppigiana</u>			<u>E. berteroana</u>			<u>E. fusca</u>		
	CLONES			CLONES			CLONES		
	P1 2687	P2 2700	P3 2693	B1 2674	B2 2439	B3 2696	F1 2701	F2 2678	F3 2432
1-2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2-3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3-4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4-5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
5-6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6-7	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
7-8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
8-9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10-11	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11-12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12-13	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
13-14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
14-15	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15-16		4.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16-17			1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17-18				0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18-19				0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
19-20				0.3			0.0	0.0	0.0
20-21							0.0	0.0	0.0
21-22							0.0	0.0	0.0
22-23							0.0	0.2	0.0
23-24							0.0	0.3	0.0
24-25							0.0	0.6	0.0
25-26								0.5	0.0
26-27								0.0	

Los datos corresponden a una repetición (tres árboles por clon).

#### 4.4.2.4. Diámetro.

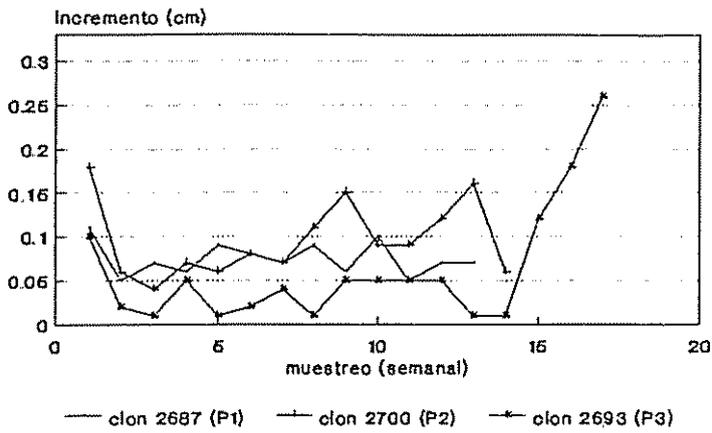
En el cuadro 21 se presentan los promedios de las tasas de crecimiento semanal para el diámetro de ramas en los clones estudiados. Puede apreciarse de manera general que se conserva una asociación con el tamaño de los clones dentro de las especies; el crecimiento promedio semanal del diámetro en las ramas para los clones altos (P1,B1 y F1) fluctuó entre 0.074 y 0.098 cm/semana y para los árboles bajos (P3,B3 y F3) entre 0.060 y 0.068 cm/semana.

Los tres clones con mayor crecimiento semanal en diámetro de ramas fueron; el 2674 (B1) de E. berteriana con 0.1 cm, el 2701 (F1) de E. fusca con 0.09 cm y el 2702 (P2) de E. poeppigiana con 0.08 cm (figura 10), coincidiendo con los árboles que produjeron el mayor número de rebrotes (ramas).

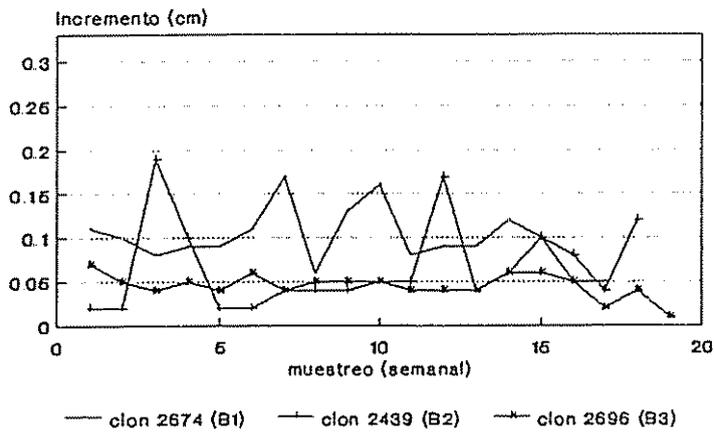
Cuadro 21. Tasas de crecimiento semanal para el diámetro de ramas en clones de tres especies de *Erythrina* (cm/semana), durante el ciclo de vida promedio de hojas. Turrialba, 1990.

TIEMPO (semana)	<u>E. poeppigiana</u>			<u>E. berteroana</u>			<u>E. fusca</u>		
	CLONES			CLONES			CLONES		
	P1 2687	P2 2700	P3 2693	B1 2674	B2 2439	B3 2696	F1 2701	F2 2678	F3 2432
1-2	0.11	0.18	0.10	0.11	0.02	0.07	0.06	0.08	0.04
2-3	0.05	0.06	0.02	0.10	0.02	0.05	0.06	0.05	0.02
3-4	0.07	0.04	0.01	0.08	0.19	0.04	0.03	0.02	0.01
4-5	0.06	0.07	0.05	0.09	0.01	0.05	0.08	0.06	0.02
5-6	0.09	0.06	0.01	0.09	0.02	0.04	0.06	0.02	0.03
6-7	0.08	0.08	0.02	0.11	0.02	0.06	0.11	0.09	0.03
7-8	0.07	0.07	0.04	0.17	0.04	0.04	0.11	0.06	0.05
8-9	0.09	0.11	0.01	0.06	0.04	0.05	0.13	0.11	0.04
9-10	0.06	0.15	0.05	0.13	0.04	0.05	0.07	0.06	0.01
10-11	0.10	0.09	0.05	0.16	0.05	0.05	0.17	0.07	0.10
11-12	0.05	0.09	0.05	0.08	0.05	0.04	0.06	0.07	0.03
12-13	0.07	0.12	0.05	0.09	0.27	0.04	0.09	0.15	0.05
13-14	0.07	0.16	0.01	0.09	0.04	0.04	0.12	0.11	0.06
14-15		0.06	0.01	0.12	0.06	0.06	0.14	0.09	0.09
15-16			0.12	0.10	0.10	0.06	0.12	0.07	0.06
16-17			0.18	0.05	0.08	0.05	0.09	0.15	0.05
17-18			0.26	0.05	0.04	0.02	0.05	0.05	0.01
18-19					0.12	0.40	0.14	0.08	0.08
19-20						0.01	0.08	0.10	0.30
20-21							0.08	0.09	0.06
21-22							0.24	0.06	0.32
22-23							0.04	0.08	0.04
23-24							0.07	0.09	0.05
24-25							0.05	0.02	0.03
25-26									0.10
PROMEDIOS	0.07	0.08	0.06	0.10	0.07	0.07	0.09	0.07	0.06

### E. poeppigiana



### E. berteriana



### E. fusca

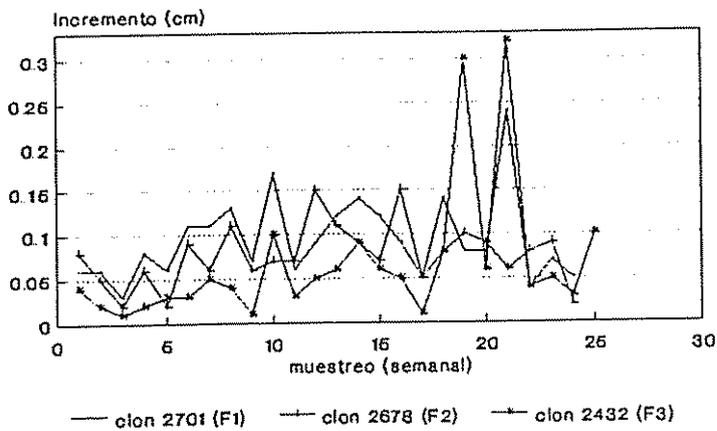


Figura 10. Incremento semanal del diámetro de ramas en clones de tres especies de *Erythrina*. Turrialba, 1990.

#### 4.4.3. De hojas.

##### 4.4.3.1. Area de hojas

El cuadro 22 muestra las tasas de incremento quincenal de la lámina foliar en los clones estudiados. Por los valores del factor de crecimiento para el área de folíolos, se infiere que los clones de E. poeppigiana producen hojas significativamente más grandes que los clones de E. berteriana y E. fusca, éstos últimos producen hojas con área similares determinadas a través de regresión lineal para estimar el crecimiento en tamaño del área de los tres folíolos de la hoja promedio de cada clon. (cuadro 23)

El clon P2 (2700), con un nivel altamente significativo resultó el árbol que produce hojas más grandes, superando en 10% al clon próximo inferior P1 (2687) y en más de 100% al resto de los clones en estudio (cuadro 22 y figura 11).

Para todos los clones, el período para alcanzar el tamaño máximo de folíolos fue de cuatro semanas (figura 11), permaneciendo constante después de este período hasta el momento de su abscisión.

Cuadro 22. Coeficientes de regresión para estimar el factor de crecimiento quincenal de la lámina foliar en clones de tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.

Modelo: área lámina foliar(cm<sup>2</sup>) = muestreo(quincenal) x factor

COEFICIENTES	<u>E. poeppigiana</u>			<u>E. berteroana</u>			<u>E. fusca</u>		
	CLONES			CLONES			CLONES		
	P1 2687	P2 2700	P3 2693	B1 2674	B2 2439	B3 2696	F1 2701	F2 2678	F3 2432
Incremento quincenal(b)	193.8	214.6	96.5	101.1	65.3	90.3	105.8	79.5	81.0
R <sup>2</sup>	0.96	0.99	0.98	0.97	0.98	0.99	0.97	0.96	0.98

Sin intercepto. Promedios de 9 observaciones por clon/quincena.

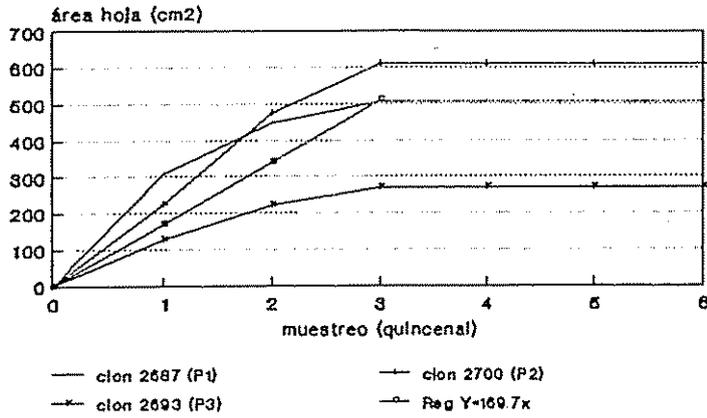
Cuadro 23. Coeficientes de regresión para estimar el factor de crecimiento quincenal de la lámina foliar en tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.

Modelo: área lámina foliar(cm<sup>2</sup>) =muestreo (quincenal) x factor

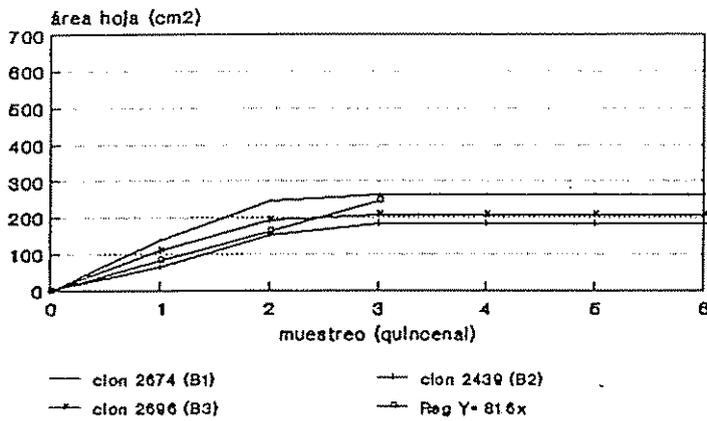
COEFICIENTES	<u>E. poeppigiana</u>	<u>E. berteroana</u>	<u>E. fusca</u>
Incremento quincenal(b)	169.7	81.6	88.8
R <sup>2</sup>	0.90	0.94	0.95

Sin intercepto. Promedios de 9 observaciones por especie/quincena.

### E. poeppigiana



### E. berteroana



### E. fusca

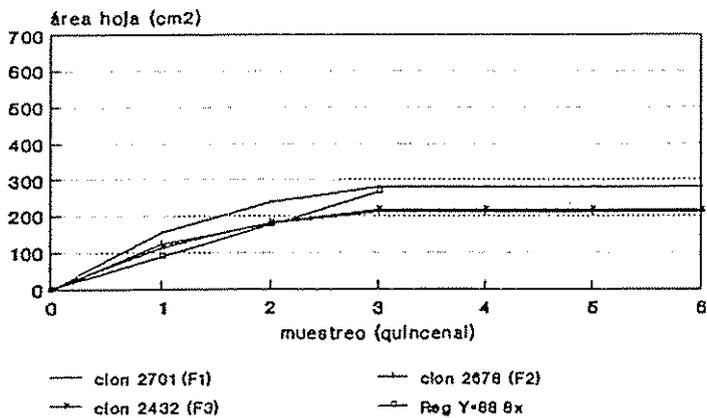


Figura 11. Incremento quincenal del área de la hoja en clones de tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.

#### 4.4.3.2. Peso seco de hojas.

El peso de las hojas fue calculado a través del factor de peso seco y los valores del área de cada folíolo, obtenidos mediante regresiones. Se observó el mismo patrón de comportamiento del área de folíolos.

El clon P2 (2700) fue el árbol cuyas hojas alcanzaron el mayor peso seco promedio (4.02 gr), en comparación con el clon B2 (2439) produciendo las hojas más pequeñas con un menor peso promedio de (1.71 gr) (cuadros 24 y 26) conservando la relación: a mayor área de folíolos mayor peso.

#### 4.5. Patrones de crecimiento.

##### 4.5.1. De clones.

En los cuadros 24 y 25 se muestran la tendencia de la tasas y los coeficientes de incremento generados durante el crecimiento del follaje. En general, las variables del árbol, las ramas y de hojas conservaron una relación directa con el porte promedio de los clones estudiados (altos, bajos y medios).

Los clones de E. poeppigiana alcanzaron la mayor área y peso de folíolos y los que mostraron menor período en la caída de hojas (16 a 20 semanas), contrastando con los clones de E. fusca que produjeron las hojas más pequeñas y las que mayor tiempo tardaron en desprenderse del árbol (26 a 28 semanas).

Una característica particular de cada clón es la tasa de incremento para producir su tamaño máximo de hoja, pero general y similar en cuanto al período en alcanzar esa dimensión.

Todos los clones mostraron especificidad para la producción total de biomasa, los clones de porte bajo (P3, B3 y F3) presentaron los valores más bajos en producción de biomasa total y fueron los que mayores porcentajes relativos de biomasa foliar (48 y 62%) y comestible (49 y 77%) produjeron.

Morfológicamente cada clon posee características singulares en alcanzar las dimensiones de sus hojuelas laterales y centrales (cuadro 26).

También distintivo, es la cantidad de Grados-Día necesarios para la caída de hojas en cada clon.

#### 4.5.2. De especies.

De los cuadros 25 y 26 se infiere que algunos valores del estudio de crecimiento del follaje pueden generalizarse a la especie, como los factores de forma para estimar el área o el peso seco de folíolos y otros ser específicos para cada clon, como el número de ramas desarrolladas o las tasas de incrementos en el tiempo para calcular los aumentos en el largo de ramas o en el área de hojas

Por lo general los clones de E. poeppigiana y E. berteriana conservan cifras promedio similares para los coeficientes de incremento en longitud de ramas (19.54 y 19.42), número de hojas por quincena (4.73 y 5.60), tiempo de caída de hojas y producción de biomasa total. Mientras E. fusca mostró valores menores del 50% para las mismas variables, exceptuando el tiempo de caída de hojas, siendo más persistentes (6.5 a 7.5 meses).

#### 4.6. Cosecha de árboles.

##### 4.6.1. Biomasa aérea

En el cuadro 25 se muestran los promedios de características a la poda de los clones en estudio; puede asegurarse que existe una relación directa entre los clones altos de cada especie (P1, B1 y F1) con los valores altos de las variables medidas: tamaño, cantidad de rebrotes, diámetros; del tronco, de copa y de la rama más larga, longitud de rama más grande y producción de biomasa total. Conservando la proporción entre los clones de porte medio y bajo.

El clon B1 (2674) de E. berteriana con 6.22 kg y 4.08 kg produjo la mayor producción/árbol de biomasa total y leñosa respectivamente, el resto de clones de esa especie registró los mayores porcentajes de biomasa leñosa (51 a 66%). Los clones de E. poeppigiana sobresalieron por la mayor producción de biomasa comestible (57 a 67%).

La producción promedio de peso seco de hojas por árbol (1.41 kg) en clones de E. fusca, con tres meses más de crecimiento, fue ligeramente inferior a la producida (1.51 kg) por E. poeppigiana evidenciando respectivamente, la baja y alta capacidad de producción de follaje entre especies.

Destacan los altos valores en porcentajes relativos de biomasa comestible que produjeron los clones de porte bajo (P3, B3 y F3) con 77, 49 y 68% respectivamente (figura 12).

Cuadro 24. Patrones de crecimiento para nueve clones de tres especies de *Erythrina* en Turrialba, Costa Rica.1990.

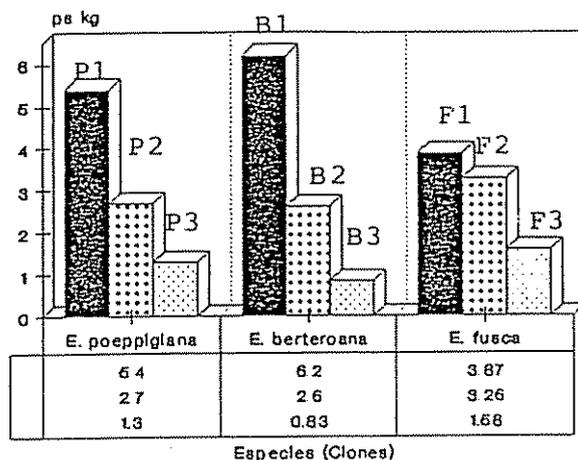
CARACTERISTICAS	E.poepigiana			E.berteroana			E.fusca		
	CLONES			CLONES			CLONES		
	P1 2678	P2 2700	P3 2693	B1 2674	B2 2439	B3 2696	F1 2701	F2 2678	F3 2432
Coef. área foliolos		0.586			0.632				0.691
Coef. peso seco foliolos		0.00349			0.00473				0.00653
Coef. peso seco peciolo		0.0252			0.0221				0.0232
tamaño hoja prom. (cm <sup>2</sup> )	499.7	631.2	294.8	275.4	192.6	223.0	282.0	213.6	248.5
Peso hoja prom.(g)	3.39	4.02	2.11	2.40	1.71	1.97	2.92	2.30	2.52
Nº ramas desarrolladas	16	12	12	21	12	9	14	10	9
Coef. long. de ramas/quinc	29.40	20.3	8.9	28.9	20.2	9.1	13.9	16.7	9.7
Coef. long. de ramas/quinc.		19.54			19.42				
Coef. nº de hojas/quincena	7.02	4.72	2.48	7.08	5.92	3.79	3.19	13.42	2.99
Coef. nº de hojas/quincena		4.72			5.60			3.19	
Coef. área hojas/quinc.	193.8	214.6	96.5	101.1	65.3	90.3	105.8	79.5	81.0
Coef. área hojas/quinc.		169.7			81.6			88.8	
Tasa crec. diám. ramas	0.074	0.082	0.060	0.098	0.067	0.068	0.093	0.076	0.064
Cída de hojas (semanas)	16-18	18-20	16-18	18-20	20-22	24-26	26-28	>28	26-28
Caída de hojas Grados-Día	1191	1340	1191	1340	1489	1787	1936	2085	1936
Biomasa total árbol (kg)	5.4	2.74	1.34	6.22	2.57	0.83	3.87	3.26	1.58
% peso seco de hoja	44	49	62	30	32	48	53	38	59
% biomasa comestible	57	63	77	34	37	49	60	63	68
% biomasa leñosa	43	37	22	66	63	51	40	37	32
Período de crec (semanas)	24	24	24	28	28	28	36	36	36
Período de crec Grados-Día		1745			2074			2689	

Los espacios en blanco indican valores similares para la especie referida.

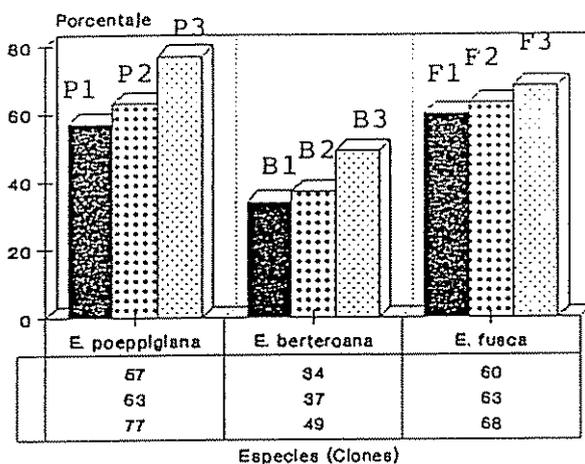
Cuadro 25. Características de nueve clones de tres especies de *Erythrina* medidas a la cosecha, Nov.89 a Ago.90. Turrialba, 1990.

Caracter	<u>E. poeppigiana</u>			<u>E. berteriana</u>			<u>E. fusca</u>		
	Clones			Clones			Clones		
	P1	P2	P3	B1	B2	B3	F1	F2	F3
altura (cm)	317.55	272.77	142.77	330.11	247.00	193.55	188.88	219.44	183.33
nº brotes	15.11	11.22	12.22	20.55	11.33	8.11	14.33	10.00	8.77
alt. tocón(cm)	94.55	92.11	78.88	102.55	85.11	95.66	92.55	92.88	96.33
diám tocón(cm)	10.05	7.94	4.93	11.46	6.54	6.06	11.53	6.70	7.33
long. rama largo (cm)	299.00	233.88	162.40	317.77	241.33	133.43	328.88	254.22	174.66
diám. rama larga (cm)	4.72	3.75	2.54	4.00	3.66	3.19	3.74	3.63	2.89
biomasa total (k)	5.4	2.74	1.34	6.22	2.57	0.83	3.87	3.26	1.58
biomasa comest (k)	3.09	1.73	1.04	2.14	0.95	0.41	2.32	2.07	1.08
diám. copa(cm)	387.22	254.44	230.38	333.05	226.38	104.83	236.83	246.38	162.22
peso seco hoja (k)	2.35	1.35	0.84	1.85	0.83	0.40	2.04	1.25	0.94
peso seco tallo tierno (k)	0.74	0.38	0.20	0.29	0.12	0.01	0.28	0.82	0.14
peso seco tallo leñoso (k)	2.31	1.01	0.30	4.08	1.62	0.42	1.55	1.19	0.50
% de biomasa comestible	57	63	77	34	37	49	60	63	68
período de crecimiento (semana)	24	24	24	28	28	28	36	36	36
nº clon	2687	2700	2693	2674	2439	2696	2701	2678	2432

### Biomasa total por árbol



### Biomasa comestible en base seca



### Peso seco de hojas

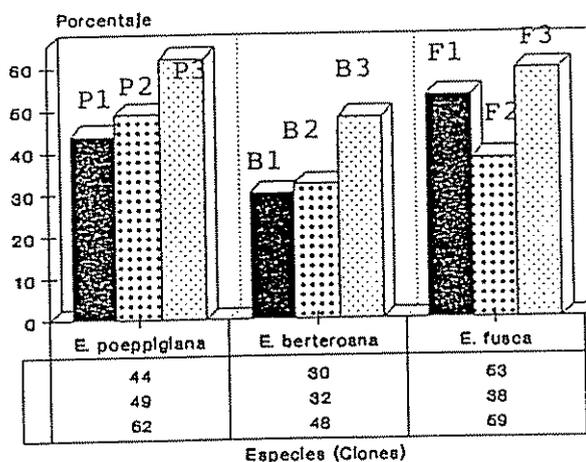


Figura 12. Producción de biomasa en clones de tres especies de *Erythrina*. Turrialba, 1990.

Cuadro 26. Valores promedio de algunas características morfológicas de las hojas en clones de tres especies de Erythrina. Turrialba, 1990.

CARACTERISTICA	<u>E. poeppigiana</u>			<u>E. berteroana</u>			<u>E. fusca</u>		
	CLONES			CLONES			CLONES		
	P1 2687	P2 2700	P3 2693	B1 2674	B2 2439	B3 2696	F1 2701	F2 2678	F3 2439
Largo folíolo lateral (cm)	18.7	19.3	12.4	13.8	11.3	10.4	13.7	11.7	11.0
Ancho folíolo lateral (cm)	12.5	15.4	9.7	8.7	7.1	9.3	8.6	7.4	9.4
Largo folíolo Central (cm)	20.9	21.2	15.4	16.0	13.8	12.3	15.2	13.5	13.1
Ancho folíolo Central (cm)	17.9	22.0	15.1	12.5	10.5	12.4	10.3	9.4	10.0
Pecíolo (cm)	23.1	20.8	17.2	16.8	13.2	15.0	14.4	14.5	10.6
Tiempo a la abscisión(sem)	16-18	18-20	16-18	18-20	20-22	24-26	26-28	> 28	26-28
Area hoja(cm <sup>2</sup> )	499.7	631.2	294.8	275.4	192.6	223.0	282.0	213.6	248.5
Peso hoja (g)	3.39	4.02	2.11	2.40	1.71	1.97	2.92	2.30	2.52

## 5 - DISCUSION

### 5.1.- Condiciones ambientales.

La información referente a las condiciones climáticas registradas para el ensayo clonal, evidencian una variación considerable en la marcha de la precipitación: períodos con poca lluvia precedidos de abundantes lluvias (abril y julio): Esto sumado a las condiciones de radiación y calor (Grados-Día), imprimieron características particulares en el crecimiento de árboles, mostrando en lo general, cierta correspondencia entre el crecimiento y desarrollo del follaje con las fluctuaciones climáticas presentadas.

Otro componente, aunque relativamente con menor variabilidad es el factor edáfico. Los resultados del análisis químico, proporcionan características singulares al ensayo clonal; donde no siempre los altos contenidos de M.O. se traducen en altos rendimientos (materia seca). En este caso, es posible que al contener alta proporción de alofano, la mineralización de la M.O. sea baja y alta la retención del fósforo (Sánchez, 1981), originando problemas de baja fertilidad agrícola, pronunciándose más en el segundo bloque.

Para el análisis del follaje, esta condición no mostró interferencia significativa en los resultados, debido al bloqueo del diseño.

Es conveniente aclarar que los parámetros referidos al nivel de fertilidad tradicionalmente son usados para actividades agrícolas, y no son necesariamente aplicables a especies forestales.

El crecimiento y desarrollo del follaje en Erythrina spp, mostró en ciertas épocas reacciones de mayor actividad en el incremento de longitud de ramas y de hojas, en la mayoría de los clones, sin descartar la interacción de mecanismos de regulación interna del crecimiento, ciclos de emisión/caída de hojas y alternancia entre la fase vegetativa y reproductiva de la especie. Probablemente fue debido a condiciones ambientales, por la coincidencia de altas tasas de crecimiento con valores altos en la precipitación, luz y calor.

El estudio de Borchert,(1980) con E. poeppigiana mostró: dos ciclos anuales de mayor intensidad de caída de hojas, y ciclos internos determinan las fases fenológicas de la especie, más que pequeñas variaciones ambientales. En el presente trabajo se observó una situación similar, salvo períodos más cortos en caída de hojas (4 a 5 meses) para la misma especie, pudo haberse debido a la acción de ciclos más cortos por el manejo agroforestal realizado, particularmente la poda.

Desafortunadamente, no se cuenta con información de la época con mayor precipitación, para hacer inferencias para períodos anuales. Fournier,(1976) en un estudio sobre los períodos de floración, fructificación, caída de hojas y brotaduras de varias especies arbóreas en Costa Rica, encontró que E. poeppigiana de enero a junio presentó su brotadura, durante todo el año la caída de hojas y de diciembre a mayo la fase reproductiva.

Debe resaltarse una diferencia importante con el estudio del follaje realizado, ellos trabajaron con árboles de crecimiento libre, mientras que en el presente trabajo se utilizaron árboles que se podan desde hace 3-4 años cada 6 meses, práctica esencial en sistemas agroforestales, que obliga a mantener en cierta forma al árbol en estado vegetativo permanente. Modificando los periodos de crecimiento de ramas y de hojas.

En la creación de un modelo de simulación del poró, la generación de información sobre el fenómeno del crecimiento desde la perspectiva fisiológica cobra vital importancia, para ofrecer una base biológica sólida como respuesta de las características energéticas de un agroecosistema.

## 5.2.- Determinación de coeficientes para área y peso foliar.

La alta correlación encontrada ( $> 98\%$ ) entre largo y ancho de folíolos indica que no existe dimorfismo y la forma de las hojas en las tres especies, se mantiene constante durante su crecimiento. Los coeficientes calculados pueden ser aplicables para cualquier estado de crecimiento de las hojas. Por el criterio fisiológico previsto en la selección de hojas utilizadas en las mediciones morfológicas, al considerar tres estados básicos en la vida de una hoja (tierna, joven y adulto).

Mckee, (1963) para la determinación de coeficientes que estimaran de manera práctica el área foliar de maíz, trabajó con 8 variedades, sin obtener diferencias entre variedades. Metodología e inferencia similar a lo encontrado con los clones de cada especie en el estudio del follaje en Erythrina spp.

En estudios de crecimiento de plantas, es común usar el valor del área foliar, tomándose como un índice de crecimiento de las plantas, además de relacionarlo con la acumulación de materia seca, en el metabolismo de la planta y en la cosecha; la calidad de un cultivo y su madurez también pueden ser relacionadas con el área foliar.

Una utilidad de los coeficientes determinados es la obtención de manera práctica y confiable, el área foliar de árboles de Erythrina en diferentes momentos y en el mismo árbol. Como lo aplicó Nygren, (1990) en su trabajo de modelación en patrones de sombra, midiendo el largo y ancho del 10% de las hojas del árbol, multiplicando por el factor de forma y por el número total de hojas del árbol.

La estimación del peso foliar se realizó con las mismas variables para la estimación del área foliar, pudiendo obtener valores con cierto sesgo de su valor real. Utilizar esta información podría fortalecer los marcos fisiológicos que consideren la ubicación de las hojas en la rama y en el árbol.

### 5.3 - Tasas de crecimiento del follaje.

El clon 2674 de E. berteriana con la mayor producción de ramas (21) obtuvo la mayor cantidad de biomasa total y leñosa, no así con la producción de hojas por rama. Mientras que el clon 2687 de E. poeppigiana, aun sin tener las hojas más grandes, pero si la mayor cantidad por rama; obtuvo la mayor producción de hojas por árbol.

La aparición de primordios en el tronco después de la poda se presentó de manera rápida y con mucha variabilidad. Así, a la tercera semana se habían formado en promedio 80% de las ramas en E. poeppigiana y el 55% en E. berteriana. Esta variación en la capacidad de producir ramificaciones se presentó entre y dentro de clones, probablemente sea debido más a características genéticas que por ambiente o manejo.

Debe destacarse según Milthorpe y Moorby, (1982) la determinación que imprime la tasa de emisión de ramas a la tasa de producción foliar. De esta manera, la biomasa leñosa está en función del número de ramas, mientras que la foliar está en función del número y tamaño de hojas; el número total de hojas depende del número de ramas y de hojas por rama.

Para el crecimiento en longitud de ramas debe tenerse en cuenta que la medición se dejó de realizar después de la caída de las tres hojas en observación en cada rama. Sin embargo, las ramas continuaron creciendo; en el caso de E. poeppigiana la tasa de crecimiento es más alta en la última semana y es probable que continuara con ese ritmo. Esta especie y E. berteriana mostraron el crecimiento mayor de ramas en altura, mientras que E. fusca, con mayor periodo de crecimiento obtuvo las ramas más largas. Debido probablemente, a características del hábito de crecimiento de la especie, observado en E. fusca, una copa menos compacta y más alta, contrario a lo mostrado por E. poeppigiana y E. berteriana.

Los altos montos en la precipitación muestran coincidencia con los valores altos en las tasas de alargamiento de las ramas y algunas veces con el mayor número de hojas/rama. Entre el largo de ramas y número de hojas por

rama de manera general se dió la relación: a mayor longitud más número de hojas (clones de porte alto).

El crecimiento en el grosor de ramas estuvo asociado con: el número de ramificaciones y con el porte promedio de los clones estudiados. Relaciones expresadas en una mayor producción de biomasa total, foliar y leñosa. Sin mostrar influencia de la especie sobre el diámetro de ramas.

La producción de ramas secundarias, en forma general, fue baja y asociada a su aparición hacia el término del ciclo de vida de las hojas estudiadas. Se espera que la emergencia de estas ramas se presenten en fases avanzadas, aunque puede promoverse su emisión bajo condiciones de cualquier tipo de poda a que esta expuesto el árbol en el campo. Como se presentaron en el trabajo, ataques ocasionales de hormigas «arrieras» y enfermedades «podriciones» en el cogollo de algunos clones.

Las hojas alcanzaron tasas de crecimiento aceleradas durante las primeras semanas. Puede explicarse como característica intrínseca de cada clon. Es conocida la influencia que ejercen la luz y la temperatura sobre el potencial de desarrollo de una hoja y los nutrimentos en la expansión máxima. De aquí la justificación de registrar el crecimiento de hojas considerando la ubicación para estimar adecuadamente el follaje. También necesario, retomar el peso seco de las hojas, por la manera como se estimó, a través del área foliar. Probablemente no siga ni mantenga la dinámica registrada por el peso de folíolos, por la variación que presenta espacial y temporalmente. Una hoja de la parte basal es diferente a una apical dentro y entre ramas de un árbol.

Con las tres especies estudiadas, condiciones de rápido crecimiento aceleraron la senectud y caída de las hojas. La hoja de E. poeppigiana creció rápidamente y pronto presentó la abscisión, la de E. fusca creció lento y tardó más en caerse y la de E. berteriana en término medio.

En términos generales y con base en los resultados obtenidos durante el estudio, pudo observarse correspondencia con los resultados preliminares de Viquez y Pérez, (1989) del ensayo clonal para la selección de los clones a

estudiar, y confirmado por Pérez,(1990) conservando en casi todas las variables estudiadas valores proporcionales con el tamaño de los árboles.

La necesidad de poner énfasis en la eficiencia y en los componentes principales del tamaño del área foliar - que determina la tasa y el rendimiento total en materia seca - es tarea biológica y prioritaria en el diseño de sistemas de producción agrícola.

#### 5.4 - Cosecha de árboles

Los resultados de la biomasa fueron consistentes con los valores del porte promedio de los clones, es decir, a valores más altos de los clones, les correspondieron mayores producciones de biomasa total tanto comestible como leñosa. Esto puede ser explicado por la relación directa que guardan en general las variables estudiadas, debidas a las diferentes características fisiológicas y genéticas de los clones.

En el estudio del análisis de crecimiento de follaje se obtuvo un promedio de los clones de E. poeppigiana de 1.51 kg/hoja seca/árbol/semestral, valores similares a los encontrados en otros trabajos. Para realizar mejores comparaciones se debe considerar el tipo y frecuencia de la poda, la edad del árbol y el diámetro del tronco.

Para la producción de biomasa Alavez, (1987) encontró que árboles de E. poeppigiana en un cultivo en callejones, sembrados a 6x4 m, y con edad de 1.5 años produjeron 2.24 kg de hojas secas/árbol/año, equivalente al 45% de la biomasa total. Jiménez, (1990) en el mismo sitio, encontró una producción de biomasa foliar de 2.7 kg hoja seca/árbol/año, representando el 48% de la biomasa total.

Nygren, (1990) con árboles de 18 meses de edad del clon 2660 de E. poeppigiana en cultivo en callejones encontró 1.01 kg/hoja seca/árbol/año.

Los resultados encontrados en el estudio del follaje y derivaciones de la evaluación del ensayo clonal Pérez, (1990), ofrecen elementos para la selección de los árboles superiores o más adecuado en el diseño del sistema agroforestal

en estudio; particularmente, en la relación follaje-captación de luz, donde especies arbóreas que posean tolerancia a podas como una característica para modificar los regímenes de radiación a favor del cultivo serán seleccionadas.

Este y otros posibles usos son básicos en la construcción de herramientas metodológicas para el manejo de los sistemas de producción agrícola, como el estudio de Nygren, (1990) en la creación de un modelo de patrón de sombra con un clon promisorio de E. poeppigiana en agroforestería.

## 6. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se desarrolló el estudio, pueden llegarse las siguientes conclusiones:

1.- El área laminar de hojas de Erythrina spp, se puede estimar mediante mediciones de largo y ancho de la lámina foliar, utilizando funciones lineales de regresión, cuyos coeficientes para folíolos centrales son: E. poeppigiana = 0.586, E. berteriana = 0.632 y E. fusca = 0.691.

2.- Las variables de longitud de ramas, número de hojas/rama, diámetro de ramas y producción de biomasa mostraron una relación directa con el porte promedio de los clones.

3.- Los clones de E. poeppigiana alcanzaron la mayor área y peso de hojas y mostraron el período más corto para la abscisión de las hojas (18-20 semanas).

4.- Los árboles de E. fusca produjeron las hojas más pequeñas y las que mayor tiempo tardaron en desprenderse del árbol ( >28 semanas).

5.- El clon (P2) 2700 de E. poeppigiana fue el árbol que produjo las hojas más grandes, superando en 10% al clon próximo inferior de la misma especie (P1) 2687 y en más del 100% al resto de los clones estudiados.

6.- El período de crecimiento en el cual las hojas alcanzaron su tamaño máximo, fue de 4 semanas para las tres especies.

7.- Los clones de E. poeppigiana sobresalieron por la mayor producción de biomasa foliar y comestible (1.04 a 3.09 kg/árbol), los de E. berteriana por la mayor biomasa leñosa producida (0.42 a 4.08 kg/árbol) y los clones de porte bajo de cada especie, por producir los mayores porcentajes relativos de biomasa foliar y comestible.

## 7. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados de este trabajo y bajo las condiciones en que se ejecutó, se plantean las siguientes recomendaciones:

1.- Con el fin de enriquecer la información del crecimiento del follaje de Erythrina se debe considerar lo siguiente:

1.1- Hacer observaciones en menor número de árboles por clon.

1.2- Mantener el número de ramas.

1.3- Hacer seguimiento a todas las hojas que emergen de las ramas.

1.5- Introducir la variable de ubicación de hojas en ramas y en el árbol.

1.6- Apoyarse en el ciclo de filotaxia.

1.7- Hacer observaciones diarias para algunas hojas en las primeras fases de crecimiento (elongación de las hojas), para registrar las fluctuaciones en el corto plazo.

1.8- Hacer estudios especialmente para conocer la variación del peso de folíolos durante el ciclo de vida de las hojas.

1.9- Conocer las tasas de retorno de hojas.

2.- Para crear un modelo de simulación del crecimiento particular para E. poeppigiana, debe considerarse la variación extrema existente entre los coeficientes y las variables del crecimiento mostrado por los clones de la especie.

3.- Para un modelo general del género Erytrina en agroforestería, por el patrón irregular del crecimiento no sería recomendable ajustarse a una función descriptiva del crecimiento, el aspecto fisiológico cobra importancia para explicar y cuantificar dicho comportamiento.

4.- Realizar mediciones del follaje en la época lluviosa.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- ALAVEZ, L.S. 1986. Efecto de poró Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F.Cook, plantado en cuatro espaciamentos, sobre la producción de maíz (Zea mays) en un sistema de cultivo en franjas (alley cropping). Tesis Mag. Sc. Turrialba C.R. Programa UCR-CATIE. 87 p.
- ALVIM, P. de T. sf. Tree growt periodicity in tropical climates. Inter-American Institute of Agricultural Scieces of the (Andean Zone) Lima, Perú. Mimeo. 17 p.
- ALVIM, P. de T.; KOZLOWSKI, T.T. 1977. Ecophysiology of tropical crops. Academic Press. N. Y. 502 p.
- ARZE, B. J.A. 1975. Condiciones de radiación solar y otros factores microclimáticos dentro de un cultivo de maíz (Zea mays), a diferentes densidades y orientaciones de surco. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. Programa UCR-CATIE 111 p.
- ARZE, B. J.A. 1977. Factores que afectan a la producción agrícola. Trabajo presentado al curso sobre cultivos andinos IICA-IBTA La Paz, 21-25 Febrero 1977. 26 p.
- ARZE, B. J. 1987. Modelos y simulación en la transferencia de agrotecnología Rispal (C.R.) 3:3-5.
- ARZE, B. J.A. 1989 Curso de agroecosistemas II Programa de posgrado CATIE. Material de clase. Turrialba.
- BORCHERT, R. 1980. Phenology and ecophysiology of tropical trees: Erythrina poeppigiana O.F. Cook Ecology. 61(5): 1065-1074.
- BUDOWSKI, G. 1983. An attempt to quantify some current agroforestry practices in Costa Rica. In plant research and agroforestry. Ed. P.A. Huxley. Nairobi, Kenia, ICRAF. 43-62 p.
- BUDOWSKI, G. 1987. The development of agroforestry in Central America. In agroforestry a decada of development steppler, H.A. and P.K.R. Nair Ed. ICRAF 10<sup>o</sup> aniversario 1977-1987. 70-87 p.
- BURLEY, J. 1987. Exploitation of the potential of multipurpose trees and shurbs in agroforstry. In Agroforestry a decada of development steppler H.D. and P.K.R. Nair Ed. ICRAF 10<sup>o</sup> Aniversary 1977-1987.
- CATIE/CIID. 1989. Erythrina spp-Fase II. Informe técnico anual del Proyecto. 1 mayo 86 - 30 de abril/87. CATIE. 123 p.
- CHARLES-EDWARDS, D.A. 1983. Modelling leaf growth and function p 489-499. In The growth and functioning of leaves ed. by Dale J.E. & F.L. Milthorpe Cambridge University Press. N.Y. 489-497 p.

- DALE, J.E.; MILTHORPE, F.L. (eds.) 1983. The growth and functioning of leaves. Cambridge University Press. N.Y. 540 p.
- ERICKSON, R.O. 1976. Modeling of plant growth Ann. Rev. plant physiol. 27:407-434
- FARGAS, J. sf Conceptos básicos sobre análisis del crecimiento de las plantas. Mimeo. CATIE 9p.
- FOURNIER, O. L.A. 1976 Observaciones fenológicas en el bosque húmedo de premontano de San Pedro de Oca, Costa Rica. Turrialba: Vol. 26 Núm. 1. 54-59.
- HART, R.D. 1979. Agroecosistemas conceptos básicos CATIE Turrialba, C.R. 211 p.
- HOLDRIDGE, L.R.; POVEDA, L.J. 1975. Arboles de Costa Rica vol. 1. Palmas, otras monocotiledoneas arboreas y árboles con hojas compuestas o lobulados. Centro Científico Tropical. San José, Costa Rica. 157-162 p.
- HUNT, R. 1982. Plant growth curves. The funtional approach to plant growth analysis. University Park press. Baltimore. 243 p.
- JIMENEZ, B. J.M. 1990. Análisis del crecimiento y fenología del maíz (Zea mays L. c.v. Tuxpeño) en un cultivo en callejones con poró (Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F.Cook), plantado en cuatro arreglos espaciales. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 145 p.
- LARCHER, W. 1977. Ecofisiología vegetal. Ed. Omega Barcelona. 305 p.
- McKEE, G.W. 1963. A coefficient for computing leaf area in hibrid corn. Journal series of the Pensilvania Agricultural Experimental Station 240-241 p.
- MILTHORPE, F.L.; MOORBY, J. 1982. Introducción a la fisiología. Ed. Hemisferio sur. Arg. 259 p.
- MONTHETH, J.L.; ELSTON, J. 1983 Perfomance and productivity of foliage in the field. In The growth and functioning of leaves. Ed. by Dale J.E. & F.L. Mithorpe Cambridge University Press. N.Y. 499-518 p.
- NYGREN, P. 1990. Modelo de patrones de sombra de surcos de Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook en sistemas de cultivo en callejones. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 142 p.
- PEREZ, C.E. 1990. Evaluación del ensayo clonal de Erythrina spp en San Juan Sur, Turrialba, Csta Rica. Tesis Mag. Sc. (por publicar) CATIE.
- RADFORD, P.J. 1967. Growth analysis formulae-their use and abuse. Crop science. (7) 171-175.
- RIMMINGTON, G.L.; CHARLES-EDWARDS, D.A. 1987 Mathematical Descriptions of plant growth and development. In Plant growth

modeling for resource management. Vol. I Ed. Wisiol K. & Hesketh J.D. CRC Press. Florida. 3-15 p.

ROJAS, G. M. 1979. Fisiología vegetal aplicada. Segunda Ed. Mcgraw-Hill. Méx. 262 p.

RUSSO, R.O. 1983. Efecto de la poda de Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook (Poró) sobre la nodulación, producción de biomasa y contenido de nitrógeno en el suelo de un sistema agroforestal "café-poró". Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 108 p.

RUSSO, R.O. 1984. Erythrina: Un género versátil en sistemas agroforestales del trópico húmedo. Revisión bibliográfica. Turrialba, Costa Rica. CATIE 14 p.

SAS/STAT. 1987. SAS institute inc. Cary, NC, USA.

SPEDDING, C.R.W. 1975. The study of agricultural systems. In Study of agricultural systems. Ed. by G.E. Dalton. London, Applied Science. 3-19 p.

SANCHEZ, P.A. 1981. Suelos del trópico; características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, C.R. 634 p.