

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCION  
FACULTAD DE INGENIERIA AGRONOMICA  
**CARRERA DE INGENIERIA FORESTAL**



**SERIE  
DOCUMENTO TECNICO**

**EMBRAPA  
FLORESTAS  
BIBLIOTECA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA-SAN LORENZO  
PARAGUAY**

## CONTENIDO:

1. Introducción.....	1
2. Formulación de hipótesis.....	2
3. Selección de los Factores.....	4
4. Selección de Variables.....	5
5. Tamaño ideal de parcelas o unidades experimentales.....	6
6. Numero de repeticiones.....	7
7. Selección del Diseño Experimental.....	7
7.1. Enteramente al azar.....	9
7.2. Bloques al azar.....	10
Bloques al azar con k muestras por parcelas.....	11
7.3 Bloques al azar con k rep./bloque.....	12
7.4. Reticulados cuadrados (Lattices).....	13
7.5. Experimentos en parcelas subdivididas.....	14
7.6. Compact Family Blocks.....	15
7.7. Experimentos Factoriales Completos.....	16
7.8. Experimentos Factoriales Incompletos.....	17
7.9. Clasificación jerárquica.....	17
8. Planificación de Exp. en Ambientes Controlados.....	18
9. Bibliografía.....	22

## Planificación de Experimentos Forestales

### 1. Introducción.

La investigación científica, en cualquiera de sus campos, esta asociada, frecuentemente, a la experimentación, o sea, a proyectos experimentales. Es fundamental que los experimentos esten siempre bien basados en técnicas estadísticas, para la obtención de informaciones suficientemente precisas para que puedan servir de base para recomendaciones técnicas.

Se considera que la estadística es parte inherente de la formación técnica y del área específica de cada investigador. Así, se recomienda que cada técnico analise sus propios experimentos, si necesario bajo orientación de un especialista en estadística.

Básicamente, la estadística está involucrada en las tres fases de la investigación:

- Planificación de los experimentos
- Acompañamiento de la conducción de los experimentos
- Análisis de los datos

Las tres fases son importantes; pero la planificación tiene especial destaque en términos de la estadística. Es la fase que antecede a la instalación de los experimentos. En el, son formuladas las hipótesis que serán verificados, los factores y los respectivos niveles son definidos. Son también definidos el tamaño ideal de las parcelas o unidades experimentales, el numero de repeticiones y el diseño experimental mas adecuado.

Discutiremos rápidamente cada un de estos términos, que son básicos para el planificación experimental.

## 2. Formulación de hipótesis:

Es el primero paso en la planificación del experimento. Estadísticamente, son formuladas dos hipótesis. Una es denominada hipótesis de nulidad y envuelve la igualdad de los tratamientos a ser verificados. La otra es la hipótesis alternativa, que contraria la hipótesis de nulidad.

Consideremos como ejemplo, la comparación del volumen de madera producido por dos especies ( $E_1$  y  $E_2$ ). La hipótesis de que estas dos especies no difieren en sus producciones es denominada *hipótesis de nulidad*, que es representada por  $H_0$  :  $E_1 = E_2$ . La hipótesis alternativa puede ser unilateral o bilateral. Así, dependiendo de la naturaleza del problema es posible formular tres alternativas, o sea:

- a)  $H_a$  :  $E_1 > E_2$
- b)  $H_a$  :  $E_1 < E_2$
- c)  $H_a$  :  $E_1 \neq E_2$

Las dos primeras son unilaterales y son establecidas cuando existe alguno conocimiento previo del direccionamiento de los resultados del experimento. Por ejemplo, si deseamos comprobar la eficiencia de un herbicida en el control de hierbas dañinas, así tenemos:

$T_1$  - testigo  
 $T_2$  - Herbicida

Considerando que la variable medida es el peso de las hierbas dañinas, tenemos:

- a)  $H_0$  :  $T_1 = T_2$  (no existe diferencia entre los dos tratamientos)
- b)  $H_a$  :  $T_1 > T_2$  (el peso de las hiervas dañinas es mayor en las observaciones referentes al testigo)

Hubo en este caso un direccionamiento previo, esperado del comportamiento de los tratamientos, en que era de esperar un menor peso de las hiervas en tratamiento con herbicida.

Las hipótesis alternativas unilaterales son autoconcluyentes, o sea, en el ejemplo, si se comprueba la hipótesis  $H_a : T_1 > T_2$ , la conclusión es inmediato: El tratamiento con herbicida ha sido eficiente.

Cuando no se tiene el conocimiento previo del direccionamiento de los resultados del experimento, se debe proponer la *hipótesis bilateral*.

Usando el ejemplo de las dos especies ( $E_1$  y  $E_2$ ), se ellas fuesen de comportamiento desconocido, enunciarnos las siguientes hipótesis:

$$\begin{aligned} H_0 &: E_1 = E_2 \\ H_a &: E_1 \neq E_2 \end{aligned}$$

Aplicando los testes estadísticos con base en las informaciones del ensayo, tenemos que aceptar una de las hipótesis en detrimento de la otra. Si rechazamos  $H_0$  en favor de  $H_a$ , para el investigador no es suficiente esta conclusión " $H_a : E_1 = E_2$ ". Interesa saber realmente cual es la mas productiva. Basado en los resultados de las producciones el puede decidir si  $E_1$  fue mejor que  $E_2$ .

Así, por ejemplo, cuando se esta midiendo la variable altura, y cuyos resultados fueron  $E_1 = 6.8m$  e  $E_2 = 4.0m$ , e la hipótesis:

Las hipótesis bilaterales no son conclusivas. Si  $H_0$  fue rechazada en favor de  $H_a$ , aunque la hipótesis sea bilateral, concluimos unilateralmente, basado en los resultados obtenidos ( $E_1 = 6.8m > E_2 = 4.0m$ ).

En la practica es mas común el estudio de un numero mayor de tratamientos. Por ejemplo, la comparación de 5 especies de *Eucaliptus*. En este caso se podria enunciar las hipótesis:

$H_0$  :  $E_1 = E_2 = E_3 = E_4 = E_5$  .

$H_a$  : por lo menos dos especies difiere entre si

### 3. Selección de los Factores

En la estructuración de un experimento, los tratamientos son la resultante de uno o mas Factores en estudio.

Por ejemplo, en el caso de la comparación de 5 especies de *Eucaliptus* citado anteriormente, el factor en estudio es "especies" y sus niveles son las diferentes especies en estudio.

Se deseamos estudiar estas especies tratadas con diferentes dosis de nitrógeno, (0, 50, 100 kg/ha), tendremos dos factores ("Especies" y "Dosis") el primero con 5 niveles y el segundo con 3 niveles.

Los niveles de un factor pueden ser:

- a) Niveles cualitativos: Difiere por su naturaleza  
(ex: Especies)
- b) Niveles cuantitativos: Son de la misma naturaleza, difiere por la cantidad (ex: Dosis de N)

En la planificación de experimentos, se recomienda evitar un numero exagerado de factores y niveles. Es preferible, siempre que el investigador divida un gran experimento en experimentos menores, que pueden ser conducidos simultáneamente o bien en etapas sucesivas.

Los factores se clasifican como Fijos o Aleatorios.

**Factor Fijo:** la respuesta procurada por el investigador es apenas para los niveles en estudio. Ej:  
Estudio de cuatro métodos de secar semillas,  
Estudio de 5 métodos de análisis químico en laboratorio.

**Factores Aleatorios:** la respuesta procurada por el investigador puede ser extendida para un universo más amplio de niveles, además de los estudiados. Ej: el Factor Bloques en un experimento, una vez que representa toda la región que se desea la recomendación de los resultados del experimento.

#### 4. Selección de Variables

Las variables a ser medidas deben ser bien definidas bien como los métodos de medición.

Por ejemplo, en uno experimento de test de especies de *Eucaliptus*, el Factor en estudio son las especies. Cada especie representa un nivel del factor. Las variables podrán ser:

- Altura,
- Diámetro a la Altura del Pecho (DAP),
- Supervivencia,
- Bifurcación del tronco,
- Tortuosidad del tronco.
- Enfermedades

Los instrumentos de medición de las variables definen el grado de precisión. En experimentos de laboratorio, por ejemplo, las variables son medidas con instrumentos de alta precisión y sensibilidad, y la exigencia por un grado de precisión más exacto es mayor que en experimentos de campo.

Las escalas de medición de las variables pueden ser cuantitativas (Altura, DAP) o cualitativas (sobrevivencia, Bifurcación del tronco). En el primer caso los procedimientos paramétricos, generalmente, son más adecuados. En el segundo caso, se hace uso de transformaciones de datos o de la estadística no paramétrica.

##### 5. Tamaño ideal de parcelas o unidades experimentales.

En la experimentación con árboles, normalmente, las parcelas son constituidas por una o más plantas, que son medidas de forma individual, posibilitando posteriores análisis estadísticos a nivel de árboles o a nivel de medias de parcela.

En los ensayos forestales son medidas todos los árboles del interior del experimento. Normalmente, la utilización de bordaduras, tan comunes en experimentos agrícolas, son constituidas apenas por los árboles que hacen el contorno externo de todo el experimento o de los bloques.

La forma de las parcelas tienen poca influencia en la precisión de los experimentos. Su importancia está más ligada a aspectos de la facilidad de instalaciones y conducción de los ensayos.

Los trabajos que determinan tamaño ideal de parcelas para especie agrícolas son varios (OLIVEIRA & BIAVA, 1981). Entretanto, para especies forestales todavía son restrictos.

En algunos experimentos forestales las parcelas llegan a medir una hectárea; ya en otros cada parcela puede ser constituida por un solo árbol. En experimentos de mejoramiento genético, han sido utilizadas parcelas con cinco a diez plantas.

En los experimentos de ambientes controlados como estufas, casas de vegetación e cámaras de crecimiento y laboratorios, muchas veces la parcela es constituida por un plato de petri o una planta.

Para la determinación del tamaño a ser utilizado en cada experimento, se debe observar la representatividad y la adecuación de la parcela a la naturaleza de cada experimento, para que los datos generados puedan servir de base a las recomendaciones técnicas.

#### 6. Numero de repeticiones.

Existen algunas reglas básicas para la determinación del número mínimo de repeticiones para un experimento. Según PIMENTEL GOMES (1984), ensayos con menos de 20 parcelas, asociados a 10 grados de libertad del error, raramente dan buenos resultados, pues en general tienen precisión insuficiente. En términos generales, un experimento con 5 tratamientos requiere un mínimo de 4 repeticiones, un con 4 tratamientos requiere 5 repeticiones y con 3 tratamientos requiere un mínimo 7 repeticiones.

Otra regla básica es que la precisión de los experimentos aumenta con el número de repeticiones. Así, con base en los coeficientes de variaciones se puede saber si el numero de repetición debe aumentarse en experimentos futuros.

#### 7. Selección del Diseño Experimental.

La literatura de Diseños Experimentales disponible es muy grande. Las mas recomendables son COCHRAN & COX(1957), PIMENTEL GOMES(1978) e STILL & TORRIE(1982).

Bloques al azar con  
k muestras por parcelas

Detalle de 1 bloque, con 2 especies (E1, E2)  
y 5 plantas por parcela

1	1
2	2
E1 3	E2 3
4	4
5	5

Esquema de análisis de la variancia

F. de V	GL
Bloques	b-1
Trat.	t-1
Error experimental	(b-1)(t-1)
Error muestral	substracción
Total	btk-1

b=N<sup>o</sup> bloques  
t=N<sup>o</sup> trat.  
k=N<sup>o</sup> muestras

**Usos**

Utilizado en experimentos de mejoramiento forestal,  
de tipo "Competición de Progenies".

**Ventajas**

Permite la obtención de parámetros genéticos a nivel de  
plantas dentro de parcelas.

**Desventajas**

Idem Bloques al Azar

7.3. Bloques al azar con k rep./bloque

3 trat.(A,B,C) 2 rep./bloque

A	B	B	A
B	C	A	B
C	B	B	A
B	A	C	C
A	C	A	B
C	A	C	C

Esquema de análisis de la variancia

F. de V	GL
Bloques	b-1
Trat.	t-1
Rep. d.B	b(k-1)
Error	substracción
Total	btk-1

$b=N^{\circ}$  bloques  
 $t=N^{\circ}$  trat.  
 $k=N^{\circ}$  rep./bl

**Usos**

Puede ser utilizado en caso de pequeño número de tratamientos.

Aplicado cuando el material experimental no presenta condiciones ideales de homogeneidad.

**Ventajas**

Idem Bloques al Azar

**Desventajas**

Idem Bloques al Azar

### 7.4 Reticulados cuadrados (Lattices)

Los tratamientos no son casualizados.

Los tratamientos de un bloque de una repetición se distribuyen por todos los bloques de cualquiera de las otras repeticiones.

Ej.: 16 trat.(1, 2...16) 3 rep. 4. bloques

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16

1	5	9	13
2	6	10	14
3	7	11	15
4	8	12	16

1	6	11	16
2	5	12	15
3	8	9	14
4	7	10	13

Esquema de análisis de la variancia

F. de V	GL
Repeticiones	$r-1$
Bloques d.rep.	$r(k-1)$
Trat.	$k^2-1$
Error	substracción
Total	$rk^2-1$

### Usos

Utilizado en experimentos de mejoramiento.

### Ventajas

Posibilita el estudio de gran numero de tratamientos.

### Desventajas

La perdida de tratamientos inutiliza el diseño.

### 7.5 Experimentos en parcelas subdivididas

Ej. Bloques al azar con parcelas subdivididas

2 Especies (E1, E2)  
4 Espaciamientos (P0, P1, P2, P3)

E1	P3	P1	P2	P0	Detalle de un bloque
E2	P1	P3	P0	P2	

Esquema de análisis de la variancia

F. de V	gr
Bloques	b-1
Trat. (A)	t-1
Error(a)	(b-1)(t-1)
Parcelas	bt-1
Trat. (B)	k-1
A*B	(t-1)(k-1)
Error(b)	t(k-1)(b-1)
Total	btk-1

### Usos

Es recomendable solo en casos que se pretenda estudiar dos tipos diferentes de tratamientos, como el ejemplo de arriba, y la naturaleza de los factores asociada a los aspectos operacionales en la instalación; imposibilita la utilización de diseño mas simples.

### Ventajas

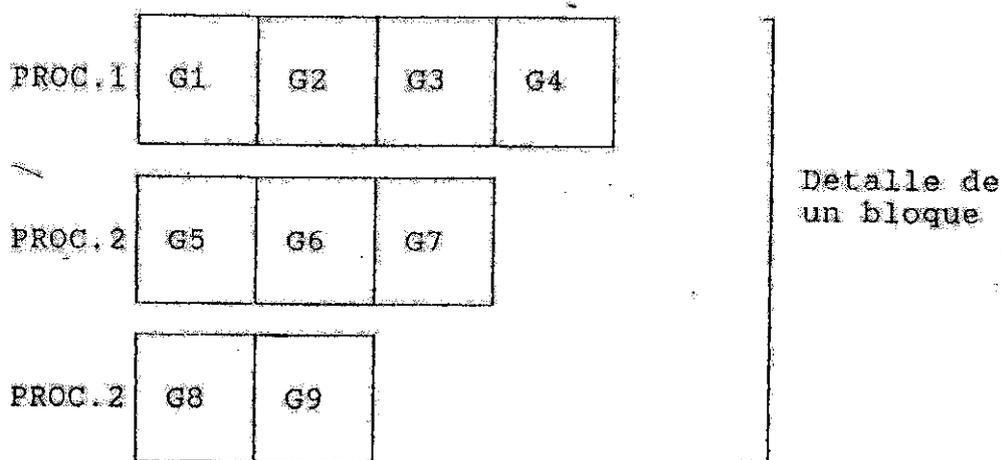
Facilidad operacional de instalación y conducción.

### Desventajas

Numero de grados de libertad del error a nivel de parcelas, en general, es pequeño.

## 7.6 Compact Family Blocks

Ej. 3 Procedencias — [ Proc. 1 (4 progenies: G1, G2, G3, G4,)  
Proc. 2 (3 progenies: G5, G6, G7)  
Proc. 3 (2 progenies: G8, G9)



Esquema de análisis de la variancia

E. de V	GL	
Bloques	b-1	b = N° de Bloques
Proced.	p-1	p = N° de Procedencias
Error(a)	(b-1)(p-1)	
G/Proc. 1	GP1-1	GP1 = N° de Progenies en la Proc. 1
G/Proc. 2	GP2-1	
...	...	
G/Proc. P	GPP-1	GT = GP1+GP2+...+GPP
Error(b)	substracción	
Total	GTb-1	

### Usos

Es recomendable para experimentos de mejoramiento forestal del tipo Procedencia/Progenie.

### Ventajas

Facilidad operacional de instalación y conducción.

### Desventajas

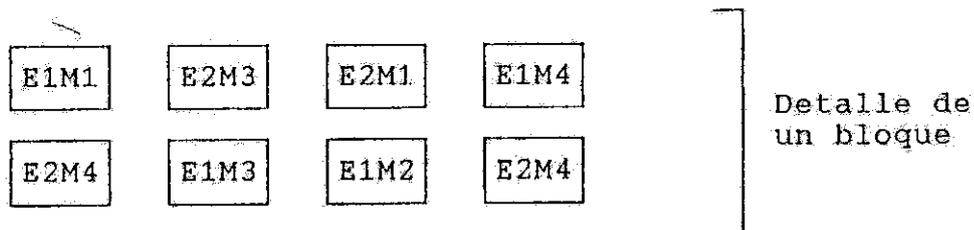
Los bloques, generalmente, son muy grandes.

## 7.7 Experimentos Factoriales Completos

Ej. Experimento factorial en bloques al azar.

2 Especies  
(E1, E2)

4 Métodos de quebrar la dormencia de las semillas  
(M0, M1, M2, M3)



Esquema de análisis de la variancia

F. de V	GL
Bloques	b-1
Trat. (A)	t-1
Trat. (B)	k-1
A*B	(t-1)(k-1)
Error	substracción
Parcelas	btk-1

### Usos

Son utilizado para el estudio de las combinaciones de dos o mas factores.

### Ventajas

Posibilita el estudio de las interacciones entre los factores con gran eficiencia cuando estas son pequeñas.

### Desventajas

El Numero de tratamientos crescen rápidamente con la inclusión de cada nivel o factor.

### 7.8 Experimentos Factoriales Incompletos

En ellos ni todas las combinaciones posibles de los factores son utilizadas.

#### **Usos**

Pueden ser utilizados en experimentos en ambientes controlados, ensayos industriales y de fertilización.

#### **Ventajas**

Reducción del número de tratamientos.

#### **Desventajas**

Análisis estadística complicada

### 7.9 Clasificación jerárquica

El diseño f) Compact Family Blocks es un tipo de experimento con clasificación jerárquica.

En la clasificación jerárquica no existe la interacción entre los factores. El factor anidado es estudiado dentro de cada nivel del factor principal.

Progenies dentro de proc.1 (G/Proc1)

Progenies dentro de proc.2 (G/Proc2)

Progenies dentro de proc.3 (G/Proc3)

## 8. Planificación de experimentos en Ambientes Controlados\*

Los experimentos conducidos en locales que tienen los factores ambientales controlados, como en Casas de Vegetación, Laboratorios y Cámaras de Crecimiento, representan gran parte de la investigación forestal. Algunas de las principales áreas que utilizan estos tipos de ambientes en la experimentación son: Biotecnología, Nutrición de Plantas, Entomología, Tecnología de Semillas y Fisiología.

Son frecuentes las pérdidas de precisión de estos experimentos. Factores como luminosidad, temperatura, humedad, concentración de CO<sub>2</sub> son muy complejos en lo que se refiere a la mantención de la homogeneidad en el ambiente. El material experimental raramente es homogéneo. Frecuentemente algunas causas de variación son desconocidas o consideradas despreciables, entretanto afectan, seriamente, los resultados de los experimentos.

Los principales problemas que provocan la pérdida de precisión en los experimentos en ambientes controlados son:

- a) Muchas veces, apesar de planificado y analizados como experimentos de campo, son implantados sin considerar los aspectos de casualización, control local y número apropiado de repeticiones.

---

\* Basado en:

OLIVEIRA, E.B. A precisao de experimentos florestais em ambientes controlados. Boletim de Pesquisa Florestal. EMBRAPA/CPFF. 1990 (no prelo).

- b) Factores ambientales que afectan el desarrollo de las plantas (luminosidad, agua, temperatura, nutrientes, etc.) actúan de manera interrelacionada, y la alteración en un de ellos provoca alteración en otros.
- c) La dificultad en el mantenimiento de las condiciones ideales de control y su homogeneización en toda área del experimento. Factores como luminosidad, temperatura, humedad e  $\text{CO}_2$  sufren grandes variaciones en el ambiente del experimento.

EL factor más significativo en los experimentos en ambientes controlados es la humedad. La transpiración de las plantas y la evaporación de los recipientes ocurren de manera heterogénea en diversas partes del experimento y son más dinámicas en cámaras de crecimiento que en casas de vegetación. La propia movimentación del aire hace con que los niveles de humedad de las plantas y recipientes se alteren, para la mantenimiento del equilibrio de la temperatura en el ambiente (TIBBITTS 1978).

Segundo este mismo autor, una persona fumando puede afectar también contribuyendo apenas con  $\text{CO}_2$  más, también, con otras sustancias que afecten al experimento. Las cámaras pueden ser afectadas por productos químicos utilizados en laboratorios.

Algunos cuidados que deben ser tomados en la experimentación de ambientes controlados:

a) Usos de diseños experimentales

Los principios básicos de la experimentación, como la casualización, control local y repetición son tan importantes en los experimentos ambientes controlados como en los experimentos de campo.

Así, es importante que el investigador procure adoptar las mismas técnicas de los experimentos de campo para los experimentos en ambientes controlados. Ejemplo frecuente de la necesidad de estas técnicas ocurren en casas de vegetación, donde en parcelas próximas a las paredes que están recibiendo incidencia directa de la luz solar, el crecimiento de las plantas pueden ser influenciado directamente, en relación a las que están en el centro o en el lado opuesto. Si el ambiente, como en este caso, es heterogéneo, o si no es seguramente homogéneo, se recomienda la instalación de los experimento en bloques al azar.

b) Unidad experimental y número de repeticiones.

En ambientes controlados las unidades experimentales son frecuentemente constituidas por recipientes como tubos de ensayo, placas de petri, vasos, bolsas plásticas, o entonces, muestras de semillas, madera o hojas. Esto facilita bastante los procedimientos de instalación y conducción de los ensayos y posibilita a los investigadores, una selección más rigurosa del material experimental.

El tamaño ideal de la unidad experimental y el número mínimo de repeticiones para una buena precisión experimental, varía en función del material utilizado, del tipo de investigación y de la variable de interés.

Trabajos de determinación de tamaños óptimos de parcelas en estos ambientes han sido escasos. En la falta de informaciones a este respecto ha sido muy común la utilización de parcelas unitarias, con gran número de repeticiones.

c) Instalación y conducción de los experimentos.

Se deben dar preferencia a la utilización de las partes más céntricas de los ambientes controlados, donde existen condiciones más similares. Es recomendable, a cada dos o tres días, el cambio de posiciones de los recipientes en el experimento.

Hacer verificaciones constantes de los equipamientos para la mantención de una buena regulación. Cuidados especiales deben ser tomados con fuentes de contaminación (Productos Químicos y Patógenos) de el ambiente y de los materiales investigados.

d) Planificación de los experimentos.

Muchas veces el investigador procura solucionar todos los problemas con la realización de un solo ensayo. Así, muchos tratamientos sin importancia son estudiados y pudiendo ser evitados. Se recomienda la división de un gran experimento en experimentos menores, que pueden ser conducidos simultáneamente o bien en etapas sucesivas.

Los experimentos deben ser planificados, preferentemente, con pocos tratamientos, de tal forma a permitir un mejor control de las actividades de rutinas, mayor precisión y economías de recursos.

## 9. Bibliografía

- CAMPOS, H., PIEDADE, S.M.S. Planejamento de Experimentos. Fundacao Fac. de Agronomia "Luiz Meneghel". 1992. 185p.
- COCHRAN, W.G., COX, G.M. Experimental Design. 2<sup>a</sup> Ed. John Wiley. New York. 1957.
- COX, D.R. Planning of Experiments. John Wiley. New York. 1958. 308p.
- OLIVEIRA, E.B., BIAVA, M.L. Bibliografia sobre tamanho e forma de parcelas experimentais. Brasília, EMBRAPA-DID. 1982. 201p.
- PIMENTEL GOMES, F. A Estatística moderna na Pesquisa Agropecuária. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba. 1984. 160p.
- PIMENTEL GOMES, F. Curso de Estadística Experimental. Ed Hemisferio Sur. 1978. 323p.
- SNEDECOR, G.W., COCHRAN, W.G. Metodos Estadísticos. 5<sup>a</sup> Ed. Comp. Ed. Continental. Mexico. 1978. 703p.
- STILL, R.G.D., TORRIE, J.H. Principles and Procedures of Statistics. Mc Graw Hill. 2<sup>a</sup> Ed. 1982.
- TIBBITTS, T.W. Standardization of controlled environment research. Hortscience, 13(4):7-9, 1978.