

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

(CATIE)

PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN

ESCUELA DE POSTGRADO

15 DIC 1998

RECIBIDO

Turrialba, Costa Rica

**Crecimiento de *Panicum maximum* bajo *Pinus caribaea*:  
relaciones dosel-pradera**

Tesis sometida a la consideración de la Escuela de Postgrado del Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de:

*Magister Scientiae*

*por*

***LUIS A. GALLO CACERES***

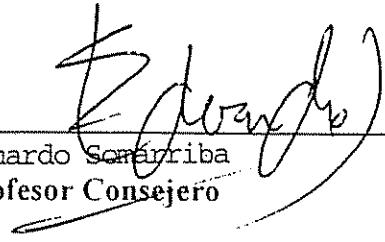
*Turrialba, Costa Rica*

1998

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Dirección de la Escuela de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

*MAGISTER SCIENTIAE*

FIRMANTES:



---

Eduardo Sorribia  
Profesor Consejero



---

Muhammad Ibrahim  
Miembro Comité Asesor



---

Glenn Galloway  
Miembro Comité Asesor

---

Miembro Comité Asesor



---

Juan A. Aguirre  
Director y Decano de la Escuela de Postgrado



---

Luis Alberto Gallo Cáceres  
Candidato

## AGRADECIMIENTOS

A la Agencia Española de Cooperación Internacional.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, Uruguay.

A Eduardo Somarriba, Ph.D, Profesor Consejero y miembros del Comité Asesor: Muhammad Ibrahim, Ph.D y Glenn Galloway, Ph.D.

A Gustavo López y Johnny Pérez de la Unidad de Bioinformática y Bioestadística.

Al personal de la Biblioteca Conmemorativa Orton.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPITULO I</b>	
INTRODUCCION .....	1
<b>CAPITULO II</b>	
MATERIALES Y METODOS .....	4
<i>Características del sitio</i> .....	4
<i>Plantaciones y parcelas permanentes</i> .....	4
<i>Mediciones de los rodales e índices de densidad</i> .....	5
<i>Modelos evaluados</i> .....	7
<b>CAPITULO III</b>	
RESULTADOS .....	10
DISCUSION .....	16
<b>CAPITULO IV</b>	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	19
<b>CAPITULO V</b>	
BIBLIOGRAFIA CITADA .....	20
<b>ANEXO I</b>	
REVISION BIBLIOGRAFICA	
<i>Pinus caribaea</i> .....	24
<i>Panicum maximum</i> .....	25
<i>Variabes utilizadas para evaluar la densidad del rodal</i> .....	26
<b>ANEXO II</b>	
Anexo II.1. Fechas de plantación de <i>Pinus caribaea</i> .....	35
Anexo II.2. Crecimiento de <i>Panicum maximum</i> por ciclo .....	35
Anexo II.3. Evolución de los parámetros dasométricos de los rodales de <i>P. caribaea</i> .....	37
Anexo II.4. Ecuaciones de predicción de biomasa foliar de <i>Pinus caribaea</i> .....	38
<b>ANEXO III</b>	
ANALISIS DE VARIANZA Y ANALISIS DE RESIDUOS	
VARIABLE AREA BASAL (G) .....	40
VARIABLE INDICE DE DENSIDAD DE RODAL (IDR) .....	48
VARIABLE FACTOR DE CUBRIMIENTO DE COPAS (CCF) .....	56
VARIABLE INDICE DE ESPACIAMIENTO RELATIVO (RS) .....	65
VARIABLE BIOMASA FOLIAR (BF) .....	72
GANANCIA DE PESO VIVO Y VOLUMEN DE MADERA .....	80

## Crecimiento de *Panicum maximum* bajo *Pinus caribaea*: relaciones dosel- pradera.

Luis A. Gallo

### RESUMEN

La densidad de las plantaciones forestales es uno de los factores que determinan la productividad del estrato herbáceo y afectan directamente la capacidad de carga del sistema. La densidad se utiliza como variable de decisión en intervenciones silviculturales o en modelos simuladores de desarrollo y crecimiento. Varias ecuaciones utilizadas para predecir la producción de forraje en función de la densidad del rodal usaron modelos lineales y no lineales para representar la producción herbácea en función de la cubierta forestal.

En este estudio se analizaron mediante técnicas de regresión las interacciones entre la productividad de pasturas de *Panicum maximum* y la densidad de *Pinus caribaea* en una finca en Turrialba, Costa Rica. Se utilizaron como indicadores de densidad de rodal el área basal, el índice de densidad de rodal de Reineke, el factor de cubrimiento de copas, el índice de espaciamiento relativo y la biomasa de copas. La productividad de *P. maximum* se midió en seis parcelas permanentes siguiendo el régimen de pastoreos. Se seleccionaron los siguientes modelos:  $y = a + b x$ ;  $y = a + b \log(x)$ ;  $\log y = a + b x$ ;  $y = a e^{bx}$ ;  $y = a b^{-x}$  donde  $y$  fue la productividad de biomasa de *P. maximum* medida en kg Ms/ha/día y  $x$  fue el indicador de densidad del rodal utilizado. Para todas las variables se aplicaron estadísticas descriptivas en las regresiones y sus respectivas transformaciones. El rendimiento de *P. maximum* se redujo a medida que aumentó la densidad de los rodales de *P. caribaea*. La curva exponencial negativa, comúnmente utilizada para describir la relación dosel -sotobosque en términos de rendimiento herbáceo contra cobertura de copas o área basal, resultó ser el modelo más realista desde el punto de vista biológico. Los índices de densidad utilizados para explicar la productividad de *P. maximum* bajo *P. caribaea* mostraron respuestas similares aunque el área basal presenta más ventajas como herramienta de manejo forestal.

Palabras clave: productividad de pasturas, índices de densidad de rodal, *Panicum maximum*, *Pinus caribaea*, modelos.

## Growth of *Panicum maximum* under *Pinus caribaea*: overstory-understory relationships.

### SUMMARY

The stand density is one of the factors that determine the productivity of the herbaceous stratum and affects the carrying capacity of the system directly. The density is used as a variable for decision making for silvicultural interventions or and in developing simulation growth models. Several equations used in order to predict the production of forage in function of the stand density used lineal and non lineal models in order to represent the herbaceous production in function of the forest cover.

Interactions between productivity of swards of *Panicum maximum* and density of *Pinus caribaea* in Turrialba, Costa Rica were analyzed by means of regression techniques. Basal area, stand density index of Reineke, canopy cover factor, relative spacing index and biomass of leaves were used as indicators of stand density. The productivity of *P. maximum* was measured in six permanent plots following the grazing regimes. The following models were selected:  $y = a + b x$ ;  $y = a + b \log(x)$ ;  $\log y = a + b x$ ;  $y = a e^{bx}$ ;  $y = a / b^x$ , where  $y$  was the productivity of biomass of *P. maximum* dry matter measured in kg/ha/day and  $x$  were the stand density indicator used. Statistical descriptive were applied for all variables in the regressions and their respective transformations. The yield of *P. maximum* decreased as the stand density of *P. caribaea* increased. The exponential and negatively sloped curve, commonly used in order to describe the overstory-understory relationships in terms of herbaceous yield against canopy cover or basal area, turned out to be the most realistic model from the biological point of view. The indexes of density used in order to explain the productivity of *P. maximum* under *P. caribaea* showed similar answers although the basal area presents more advantages as a tool of forest management.

Key words: productivity of pastures, stand density indexes, *Panicum maximum*, *Pinus caribaea*, models.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Crecimiento de <i>Panicum maximum</i> e indicadores de densidad de <i>Pinus caribaea</i> por parcela e intervalos de medición (1986-1990).....	10
Cuadro 2. Ciclos de corte y crecimiento promedio de <i>Panicum maximum</i> por ciclo y por parcela (1986-1990).....	11
Cuadro 3. Ecuaciones de regresión de la relación dosel-pradera para los indicadores de densidad de rodal.....	12
Cuadro 4. Estimación preliminar de producción de madera y ganancia de peso vivo de ganado vacuno en pasturas de <i>Panicum maximum</i> bajo <i>Pinus caribaea</i> .....	13

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelos de regresión lineal y no lineal para la relación área basal (G) - estrato herbáceo.....	14
Figura 2. Modelos de regresión lineal y no lineal para la relación índice de densidad de rodal (IDR) - estrato herbáceo.....	14
Figura 3. Modelos de regresión lineal y no lineal para la relación espaciamiento relativo (RS) - estrato herbáceo.....	14
Figura 4. Modelos de regresión lineal y no lineal para la relación inversa espaciamiento relativo (RS) - estrato herbáceo.....	14
Figura 5. Modelos de regresión lineal y no lineal para la relación biomasa foliar (BF) - estrato herbáceo.....	15
Figura 6. Modelos de regresión lineal y no lineal para la relación factor de cubrimiento de copas (CCF) - estrato herbáceo.....	15
Figura 7. Modelos de regresión lineal y no lineal para la relación ganancia de peso vivo - producción de madera.....	15

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

La producción simultánea de madera y forraje en una combinación silvopastoril, es un ejemplo de uso múltiple de la tierra (Tapia *et al.*, 1990) que busca alcanzar mayores beneficios económicos y ambientales, tales como una mayor biodiversidad, control de erosión y disminución de la salinidad en el suelo y en corrientes de agua (Steele y Percival, 1984; Anderson y Moore, 1987; Turner *et al.*, 1992; Pinto *et al.*, 1997). Estos sistemas se utilizan desde hace varios años en EE.UU., Australia, Nueva Zelanda y Chile (Mc Pherson, 1992; Mc Daniel *et al.*, 1993; Pinto *et al.*, 1997).

El nivel de producción animal bajo plantaciones forestales es influenciado en gran medida por el balance entre las especies leñosas y la vegetación herbácea. (Scanlan, 1992; Uresk y Severson, 1989). En general, la interrelación entre producción herbácea y cubierta leñosa ha demostrado ser una curva descendente convexa hacia el origen o una curva sigmoide (Jameson, 1967; Mc Daniel *et al.*, 1993). La curva convexa, reportada como apropiada para numerosas especies arbóreas, sugiere que el efecto de supresión que ejerce el dosel leñoso sobre la biomasa de las herbáceas es fuerte al inicio pero luego decrece al incrementarse la cubierta arbórea, lo que supone que las primeras plantas leñosas que invaden un área tienen mayor efecto en la supresión del sotobosque. Una curva sigmoide implica que a bajos niveles de cobertura arbórea hay poca o ninguna supresión de la producción de la pradera y que una vez que se alcanza un nivel de umbral, el rendimiento de las herbáceas declina rápidamente (Jameson, 1967). Otros trabajos muestran que la producción herbácea es mayor con un bajo nivel de cobertura del dosel, seguida de una disminución a medida que aumenta la cobertura (Scifres *et al.*, 1982), sugiriendo efectos positivos de los árboles a bajas densidades sobre los nutrientes del suelo y cambios en el microclima a favor de las herbáceas (Scanlan, 1992). Las ecuaciones que se han utilizado para describir estas relaciones incluyen funciones lineales, logarítmicas, polinomiales, cúbicas y exponenciales negativas (Mc Connell y Smith, 1965; Scifres *et al.* 1982; Mitchell y Bartling, 1991; Moore y Deiter, 1992; Scanlan 1992; Tapia *et al.*, 1990; Mc Pherson, 1992; McDaniel *et al.*, 1993; Uresk y Severson 1989; Walker *et al.*, 1986).



La presencia o ausencia de pastoreo y el hábito de crecimiento de las herbáceas (gramíneas, hoja ancha, leguminosas, etc) y arbustos, determinan el tipo de función que mejor describe las relaciones dosel-pradera. Las interrelaciones con gramíneas y herbáceas de hoja ancha han sido mejor descritas por una ecuación exponencial y la producción total de forraje se ajustó mejor al modelo lineal (Uresk y Severson, 1989). En un sitio caracterizado por la ausencia de grandes herbívoros, la relación entre las plantas leñosas dominantes y el estrato herbáceo tiende a ser lineal con pendiente negativa. Con pastoreo de ganado vacuno la relación dosel-sotobosque será no lineal, ya que el pastoreo selectivo de las gramíneas cambia la ventaja competitiva contra los pastos en favor de las especies leñosas (Mc Pherson, 1992). Una relación lineal dosel-pradera se puede esperar solamente en sitios desempastados con frecuentes quemas o cuando se considera la biomasa total herbácea (Wolters *et al.*, 1982). En este último caso, la selección de un modelo lineal se justifica si los arbustos o dicotiledóneas herbáceas tienen una contribución importante a la biomasa del sotobosque (Mitchell y Barting, 1991)

Se han utilizado diferentes indicadores de la densidad de los rodales para modelar la relación dosel-pradera, incluyendo: área basal (Uresk y Severson, 1989), índice de densidad de Reineke (Moore y Deiter, 1992), porcentaje de cubrimiento de copas (Mc Connell y Smith, 1965; Mitchell y Bartling, 1991), área ocupada por árboles (Mc Connell y Smith, 1965). La biomasa foliar, una variable directamente relacionada con la transmisión de luz, no se ha utilizado para describir esta relación.

El objetivo de este estudio es evaluar cinco diferentes formas funcionales (lineal, logarítmica, semilogarítmica y dos exponenciales negativas) que expliquen la productividad de praderas de *P. maximum*, en función de cinco variables de la densidad de rodales de *P. caribaea* (área basal, índice de Reineke, factor de cubrimiento de copas, espaciamiento relativo y biomasa foliar). Los estudios se realizaron en una finca en Turrialba, Costa Rica, entre 1986-1990.

*P. caribaea* es una especie forestal de gran potencial económico en Centroamérica (Rojas y Ortiz, 1991) y *P. maximum* es uno de los pastos tropicales y subtropicales más importantes que se asocia con el dosel de los árboles (Jones, 1985; Veenendal *et al.*, 1993). Según Kennard y Walker (1973) *P. maximum* se encuentra normalmente bajo la cubierta arbórea porque la plena exposición solar, que implica mayor temperatura, reduce la sobrevivencia de

las plántulas de *P. maximum* y porque el mantillo existente bajo el dosel arbóreo reduce la germinación de otras herbáceas pero no de *P. maximum*. Al igual que otras especies que poseen cariopse grande, *P. maximum* presenta una baja tasa de crecimiento; el cariopse grande constituye una ventaja en ambientes sombreados porque facilita el establecimiento de las plántulas (una plántula más grande en el comienzo tiene una tasa de crecimiento absoluto más alta) (Veenendaal *et al.* 1993). Bajo condiciones de sombreado parcial, *P. maximum* tiene un mayor índice de área foliar, mayor acumulación de nitrógeno en todas las fracciones de la planta y una mayor actividad fotosintética en las hojas individuales (Wong y Wilson, 1980).

## CAPITULO II

### MATERIALES Y METODOS

#### *Características del sitio*

El estudio se realizó en una finca localizada en Pavones, Turrialba, a 9°54' de latitud N y 83°7' de longitud W, a una altitud de 600 m. El sitio se ubica dentro de la zona de vida de bosque muy húmedo premontano (Holdridge, 1982). La precipitación anual promedio del lugar fue de 3240 mm (datos de 12 años, 1978-1989, medidos en el sitio de estudio), con un promedio mensual generalmente superior a 100mm, una temperatura promedio anual de 18°C y una humedad relativa del 89%. Los suelos se clasifican como Typic Tropohumult y Typic Humitropept y se caracterizan por la acumulación de óxidos de hierro y aluminio en el subsuelo. La textura es mediana a fina, con un contenido > 40% de arcilla y 4.6% de materia orgánica, pH en agua de 5.6 y una CIC de 35 meq/100g de suelo. La capacidad efectiva de intercambio fue de 9.63 meq/100g, con una acidez de 0.38. Estos suelos se caracterizan por poseer un bajo contenido de P (2.7ppm).

#### *Plantaciones y parcelas permanentes*

Antes de ser forestada, la finca se encontraba en su mayor extensión ocupada por potreros abandonados y bosques secundarios protectores a orillas de ríos y quebradas. Las plantaciones de *P. caribaea* (un total de 532 ha) fueron establecidas en lotes de superficies variables (2 - 40 ha), plantados en intervalos irregulares entre 1976-1981 con el objetivo de producir pulpa para papel (Anexo II.1). El espaciamiento inicial fue de 2.5 x 2.5 m (1600 árboles/ha). Para identificar los sitios donde se establecerían las parcelas permanentes de medición del crecimiento de las pasturas, inicialmente se identificaron las áreas de la finca donde la pradera de *P. maximum* era homogénea en cobertura. Posteriormente, con el propósito de identificar el rango de densidades del rodal en estos "parches homogéneos" de pasto, se establecieron 99 parcelas temporales de 10 m de radio (314m<sup>2</sup>) espaciadas 40 m sobre transectos de longitud variable, tratando de cubrir la mayor parte de las áreas homogéneas de pasto. En cada transecto se midió el número y diámetro a la altura del pecho (dap) de los pinos. Los valores estimados del área basal por parcela (expresados en m<sup>2</sup>/ha) se escogieron como criterio de densidad. Los sitios para medición de la productividad del pasto se seleccionaron tratando de incluir el más amplio rango de densidades disponibles por clase de edad y especie de pasto dominante.

Las parcelas permanentes para medición del crecimiento de las pasturas se ubicaron en sitios con plantaciones de pino que estuvieran en un rango de densidades entre 10 - 20 m<sup>2</sup>/ha de área basal. Se trató de que, dentro de los sitios, la cobertura de *P. maximum* y de *P. caribaea* fuera lo más homogénea posible. Se excluyeron sitios con pendientes muy fuertes, áreas de drenaje, terrenos inundables y áreas con alto grado de enmalezamiento. Tomando en cuenta estos criterios se establecieron seis parcelas de 1000 m<sup>2</sup> (50 x 20 m) de área útil y 1400 m<sup>2</sup> de bordes. Las parcelas se ralearon en 1986 reduciendo el área basal a 8-14m<sup>2</sup>/ha. Un año después del raleo se determinó la frecuencia de especies herbáceas en las seis parcelas raleadas en 1986. Todos los rodales fueron muestreados en un período de dos semanas cuando las pasturas se habían recuperado del último pastoreo. Se calculó la cobertura promedio por especie para cada rodal, que varió entre 1 - 32%. El índice de cobertura más alto correspondió a *P. maximum*.

El crecimiento de *P. maximum* se midió siguiendo el régimen de pastoreos, en algunos casos combinado con cortes con machete para eliminar el material lignificado. Estos cortes se realizaron inmediatamente después de cada período de pastoreo, lo que resultó en valores de biomasa residual a medir en el primer corte muy bajos o nulos. Las estimaciones de crecimiento se hicieron utilizando el método de doble muestreo (Gardner, 1967), empleando marcos de 1 m<sup>2</sup> y calificaciones visuales de cobertura en una escala de 1 - 7. Se efectuaron dos cortes de biomasa por ciclo (a 40 cm de altura) y 14 parcelas por corte. Los cortes se realizaron inmediatamente a la finalización del período de pastoreo para estimar la biomasa no consumida e inmediatamente antes del inicio del siguiente período de pastoreo. El crecimiento se midió como la diferencia de biomasa entre dos cortes, dividida entre el número de días de descanso entre cortes (Anexo II.2). El contenido de materia seca del pasto en cada corte se determinó en muestras (200 g) de cada parcela de 1 m<sup>2</sup>, secadas en horno a 70°C durante 72 horas. Los datos de crecimiento y composición botánica de las parcelas (no incluidos en este estudio) se tomaron entre 1986-1990.

#### *Mediciones de los rodales e índices de densidad*

Los rodales se midieron anualmente entre 1985-1990. En 1985 se midió el diámetro a la altura del pecho (dap) y diámetros de copa (dos mediciones perpendiculares) de todos los árboles; en los años 1986 - 1990 se midió dap y altura total de todos los árboles (Anexo II.3). Con estos

datos se calculó (1986-1990) el área basal (G), índice de densidad de rodal (IDR), índice de espaciamiento relativo (RS) y factor de cubrimiento de copas (CCF)

Las fórmulas utilizadas fueron:

$$G = \frac{\pi}{4} \sum (dap)^2$$

$$IDR = N (25.4/dap)^\beta$$

donde,  $dap$  = diámetro (en m) de los árboles a 1.30 m de altura

$N$  = número de árboles /ha

$\beta$  = parámetro que define relación [1.67 para *P. caribaea* en Costa Rica (Ortiz, 1989)]

$$RS = \frac{\sqrt{10\,000/N}}{H_d}$$

donde,  $H_d$  = altura dominante en metros

$N$  = número de árboles /ha

Con los registros de diámetro de copa del año 1985 se determinó una ecuación para predecir el diámetro de copa en función del  $dap$  y posteriormente calcular el factor de cubrimiento de copas (CCF).

$$d_{\text{copa}} = b_0 + b_1 \, dap$$

$$S_{\text{copa}} = \frac{\pi}{4} (b_0 + b_1 \, dap)^2$$

donde,  $d_{\text{copa}}$  = diámetro de copa, en m

$S_{\text{copa}}$  = superficie de copa, en m<sup>2</sup>

$b_0$  y  $b_1$  = parámetros estimados a partir de mediciones de amplitud de copa y diámetro sobre árboles creciendo libremente. Los valores obtenidos fueron  $b_0 = 9.3829$  y  $b_1 = 1.32557$

$$S_{\text{copa max}} = \frac{100 (\pi/4) (b_0 + b_1 \text{dap})^2}{10\,000}$$

$$= 0.007854 (b_0 + b_1 \text{dap})^2$$

$$CCF = \sum_{\text{copa max}} \% = 0.007854 \sum^N (b_0 + b_1 \text{dap})^2$$

Con base en la bibliografía existente sobre la relación entre biomasa foliar y parámetros dasométricos en *P. caribaea* se adaptaron cuatro ecuaciones para predecir la biomasa foliar (BF).

1. BF= 3.8391 dap<sup>2.7496</sup> (Egunjobi, 1976)
2. BF= 1.2767 (dap<sup>2</sup> h)<sup>1.0824</sup> (Egunjobi, 1976)
3. BF= e<sup>(-4.0691)</sup> + 2.3979 log<sub>e</sub> dap (Kadeba, 1989)
4. BF= 10<sup>(2.237425382)</sup> + 1.6099561 log<sub>10</sub> dap (Souza y Viana, 1983)

donde, dap = diámetro (en cm) de los árboles a 1.30 m de altura

h = altura promedio (en m) de los árboles

Los modelos 1 y 2 fueron desarrollados para una plantación de *P. caribaea* de seis años de edad y una densidad aproximada de 2700 árboles /ha en Nigeria. El modelo 3 fue desarrollado a partir de datos de tres plantaciones de 14 años en la región subhúmeda del norte de Nigeria, con una densidad inicial de 1330 árboles/ha. La ecuación 4 se desarrolló a partir de plantaciones de 7.5 años, a una densidad inicial de 1430 árboles /ha en una zona de bosque húmedo subtropical, en Brasil. Los valores predichos por los cuatro modelos se presentan en el Anexo II.4

#### *Modelos evaluados*

La producción de forraje se promedió para cada intervalo anual transcurrido entre las fechas de medición de diámetros y alturas en las plantaciones luego del raleo (junio 1986 - julio 1990). A partir de los registros de precipitaciones diarias durante el período considerado, se determinó la correlación entre la precipitación y el crecimiento de *P. maximum*. Debido a que la precipitación y la duración del ciclo no presentaron coeficientes significativos cuando fueron

incluidos como variables independientes en los modelos de regresión, no se consideraron como parámetros en este estudio.

Una vez estimados los indicadores de densidad de los rodales y la biomasa de pasto producida por ciclo en cada parcela, se examinaron las relaciones existentes entre las variables mediante técnicas de regresión. La variable dependiente ( $y$ ) fue producción de materia seca (kg/ha/día) de *P. maximum* y la variable independiente ( $x$ ) los indicadores de densidad de *P. caribaea*. Se evaluaron los siguientes modelos:

$$y = a + b x$$

$$y = a + b \log (x)$$

$$\log y = a + b x$$

$$y = a e^{bx}$$

$$y = a b^{-x}$$

Para todas las variables se aplicaron estadísticas descriptivas en las regresiones y sus respectivas transformaciones (Anexo III). Los estadísticos utilizados para seleccionar el mejor modelo de ajuste fueron:

Coefficiente de determinación. Indica la proporción de la variación total observada en la variable dependiente que puede ser explicada por el modelo utilizado (Draper y Smith, 1981; Mc Daniel *et al.*, 1993).

Error estándar, está en función del número de coeficientes de regresión incluidos en el modelo de ajuste. Solo puede utilizarse para comparar modelos de regresión en los cuales la variable dependiente está expresada en las mismas unidades (Chatterjee y Price, 1991; Mc Daniel *et al.*, 1993).

Análisis de residuos, es un criterio de comparación de modelos que permite determinar si los supuestos del análisis de regresión se cumplen, evaluar la falta de ajuste del modelo utilizado y examinar el comportamiento de los residuos respecto a las variables independientes introducidas en el modelo (Alder, 1980; Chatterjee y Price, 1991; Mc Daniel *et al.*, 1993).

En los modelos lineales y linealizables se aplicó el coeficiente de variación de la variable dependiente, que evalúa los resultados de diferentes experimentos en que interviene la misma característica (Steel y Torrie, 1988).

Una vez definida la significancia de los modelos, los valores de crecimiento de *P. maximum* y área basal de *P. caribaea* se convirtieron en producción potencial de carne (ganado vacuno) y volumen de madera respectivamente. Se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$\text{Ganancia de peso vivo (kg /ha/año)} = \frac{4.4 \times 0.62 \times 0.82 \times 0.5}{20.4}$$

donde,

4.4 = Energía bruta de *P. maximum* (kcal/g) (NRC, 1978)

0.62 = digestibilidad *in vitro* de la materia seca para *P. maximum* bajo sombra parcial (Deinum *et al.* 1996)

0.82 = Factor de conversión de energía digerible a energía metabolizable (NRC, 1978)

0.5 = Factor de uso de la pastura (Gutiérrez, 1996)

20.4 = Energía metabolizable requerida para una ganancia diaria de 1.1 kg de peso vivo por un novillo de 300 kg de peso

$$\text{Volumen de } P. \text{ caribaea (m}^3\text{/ha)} = G \cdot h \cdot 0.47$$

donde,

G = área basal (m<sup>2</sup>/ha)

h = altura (m)

0.47 = factor de forma de *P. caribaea* (Reyna y Gewald, 1980)



## CAPITULO III

## RESULTADOS

El crecimiento de *P. maximum* varió entre 3 y 23 kg MS/ha/día. El rendimiento disminuye a medida que aumenta la densidad de los rodales (Cuadro 1). A nivel de ciclo de pastoreo, los crecimientos promedio de pasto variaron entre 11.5 - 15.6 kg MS/ha/día (Cuadro 2).

Cuadro 1. Crecimiento de *Panicum maximum* e indicadores de densidad de *Pinus caribaea* por parcela e intervalos de medición (1986-1990)

Parcela	Intervalo	<i>P. maximum</i> (kg MS/ha/día)	Indicadores de densidad de <i>P. caribaea</i>				
			G (m <sup>2</sup> /ha)	IDR	CCF (%)	RS (%)	BF (kg/ha)
1	1	17	14	311	48	25	6207
1	2	9	19	392	59	22	9742
1	3	4	21	427	64	19	12736
2	1	23	14	295	44	31	6926
2	2	15	17	341	50	25	10337
2	3	8	20	394	57	24	13066
2	4	4	22	417	60	23	15020
3	1	15	14	292	43	27	8302
3	2	9	18	360	52	24	12072
3	3	5	19	371	53	23	14130
4	1	17	9	191	29	35	3950
4	2	18	10	210	32	33	5188
4	3	13	12	247	37	29	7300
4	4	10	13	269	39	27	8603
5	1	17	12	263	40	28	5284
5	2	20	17	349	52	23	9089
5	3	10	19	383	57	21	11749
5	4	6	20	405	59	19	13410
6	1	22	9	194	30	32	3410
6	2	12	12	258	38	29	5764
6	3	7	15	306	45	26	8412
6	4	3	16	329	48	22	10788

G = área basal

IDR = índice de densidad de rodal

CCF = factor de cubrimiento de copas

RS = índice de espaciamento relativo

BF = biomasa foliar

Cuadro 2 . Ciclos de corte y crecimiento promedio de *Panicum maximum* por ciclo y por parcela (1986-1990)

Parcela	Nº de Ciclos	Duración (días)	<i>P.maximum</i> ( kg MS/ha/día)
1	10	99	11.5
2	13	98	15.0
3	8	103	10.8
4	14	90	15.6
5	14	93	15.1
6	11	109	12.3

Los modelos de regresión explican ( $P < 0.01$ ) entre 39-62% de la variación en productividad de *P. maximum* (Figuras 1-6). Los indicadores G, IDR y CCF mostraron los mayores valores de  $R^2$  para el modelo de la forma  $y = a + b x$ , seguidos de los modelos  $y = a e^{bx}$ ;  $y = a + b \log x$  y  $y = ab^{-x}$  (Cuadro 2). Aunque en todos los casos los modelos no-lineales son estadísticamente significativos, son estimadores menos precisos que las formas lineales, según su  $R^2$ . Sin embargo, sus valores pueden considerarse similares. RS presentó el mayor valor de  $R^2$  en el modelo semi log y el modelo exponencial mostró valores del intercepto no significativos. Los mayores valores de  $R^2$  se observaron respecto al RS y los menores respecto al CCF. Las ecuaciones de biomasa foliar que incluyeron la altura resultaron con los valores más altos de coeficiente de determinación (Cuadro 3).

La estimación de la capacidad potencial de ganancia de peso vivo y producción en volumen de madera, de carácter preliminar, se muestra en el Cuadro 4 y la Figura 7. Los valores de ganancia de peso vivo, varían entre 60 - 40 kg /ha/año para un volumen de madera de *P. caribaea* entre 55 -207 m<sup>3</sup>/ha. La ganancia de peso disminuye linealmente al aumentar la producción de madera.

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión de la relación dosel-pradera para los indicadores de densidad de rodal

INDICE	MODELO <sup>(1)</sup>	a (P<0.01)	b (P<0.01)	R <sup>2</sup>	CV <sup>(2)</sup>
G	$y = a + b x$	28.765	-1.0785	0.49	37.14
	$y = a + b \log (x)$	53.892	-15.455	0.47	37.73
	$y = a e^{(bx)}$	52.516	-0.1045	0.48	18.91
	$\log y = a + b \log (x)$	6.355	-1.483	0.45	19.37
	$y = a b^{-x}$	42.07	1.087	0.46	
IDR	$y = a + b x$	30.49	-0.0566	0.45	38.39
	$y = a + b \log (x)$	106.63	-16.496	0.43	38.99
	$\log y = a + b \log x$	11.415	-1.582	0.42	19.92
	$y = a e^{(bx)}$	59.3	-0.0054	0.44	19.54
	$y = a b^{-x}$	44.95	1.003	0.43	
CCF	$y = a + b x$	29.82	-0.3807	0.41	39.71
	$y = a + b \log (x)$	75.042	-16.497	0.40	40.14
	$\log y = a + b \log x$	8.409	-1.589	0.39	20.47
	$y = a e^{(bx)}$	58.262	-0.036945	0.41	20.16
	$y = a b^{-x}$	45.32	1.0296	0.39	
RS	$y = a + b x$	-13.61	0.993	0.51	34.68
	$y = a + b \log (x)$	-73.34	26.37	0.52	34.33
	$y = a e^{(bx)}$	no significativo			
	$\log y = a + b \log (x)$	-6.012	2.579	0.52	18.07
	$y = a b^{-x}$	1.99	0.934	0.46	
BF <sup>(3)</sup>	$y = a + b x$	24.821	-0.001376	0.62	31.29
	$y = a + b \log (x)$	113.097	-11.176	0.59	32.37
	$y = a e^{(bx)}$	35.73	-0.000136	0.60	15.78
	$\log y = a + b \log (x)$	11.909	-1.058	0.56	16.78
	$y = a b^{-x}$	45.453	1.00139	0.42	

(1)  $y$  = biomasa de *P. maximum* (kgMs/ha/día)

$x$  = indicador de la densidad del rodal

(2) CV = coeficiente de variación de la variable dependiente

(3) BF =  $1.2767 (\text{dap}^2 \text{h})^{1.0824} N$ , donde, dap = diámetro a 1.3m ; h = altura; N = número de árboles/ha

**Cuadro 4. Estimación preliminar de producción de madera y ganancia de peso vivo de ganado vacuno en pasturas de *Panicum maximum* bajo *Pinus caribaea*.**

Parcela	Intervalo	Volumen de <i>P. caribaea</i> (m <sup>3</sup> /ha)	Ganancia de peso vivo (kg/ha/año)
1	1	92	340
1	2	143	180
1	3	178	80
2	1	99	460
2	2	144	300
2	3	179	160
2	4	207	80
3	1	112	300
3	2	161	180
3	3	188	100
4	1	59	340
4	2	75	360
4	3	102	260
4	4	116	200
5	1	79	340
5	2	128	400
5	3	170	200
5	4	188	120
6	1	55	440
6	2	85	240
6	3	120	140
6	4	143	60

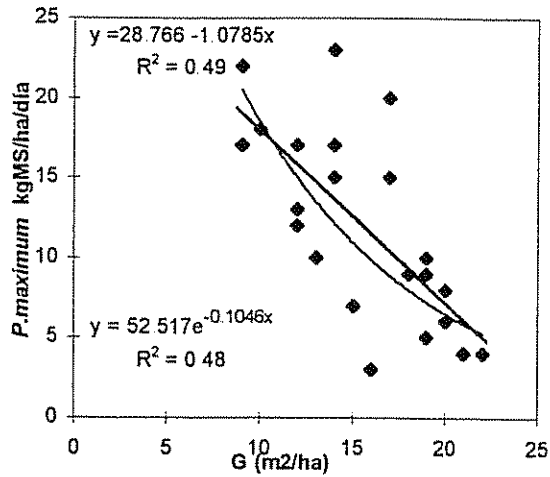


Figura 1. Modelos de regresión lineal y no lineal para la relación área basal (G) - estrato herbáceo

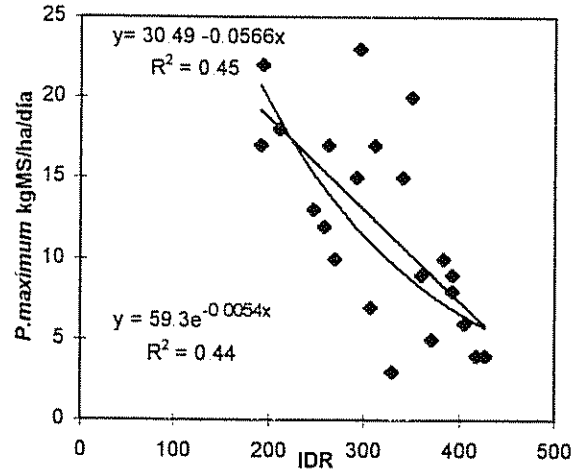


Figura 2. Modelos de regresión lineal y no lineal para la relación índice de densidad de rodal (IDR)- estrato herbáceo

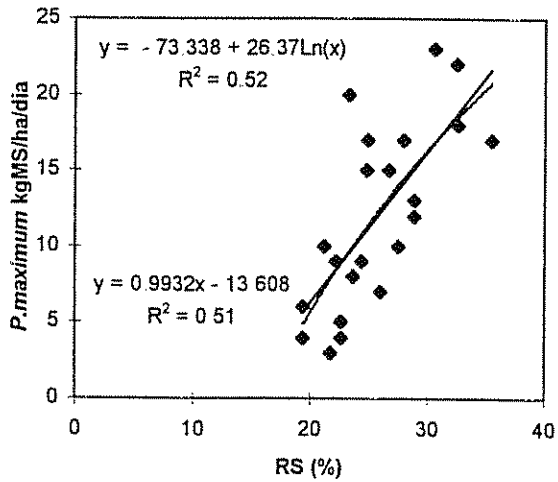


Figura 3. Modelos de regresión lineal y no lineal para la relación espaciamento relativo (RS) - estrato herbáceo

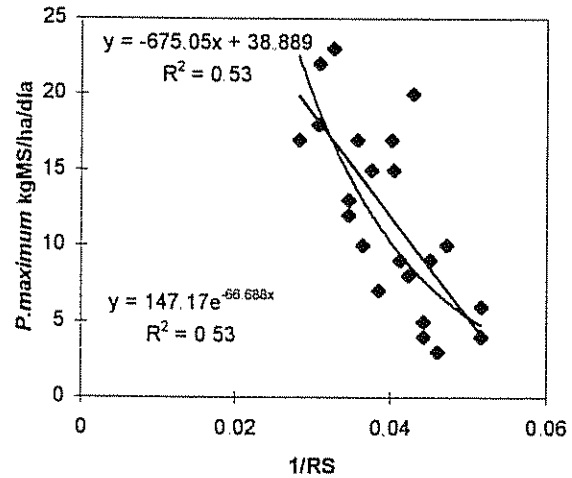


Figura 4. Modelos de regresión lineal y no lineal para la relación inversa espaciamento relativo (RS) - estrato herbáceo.

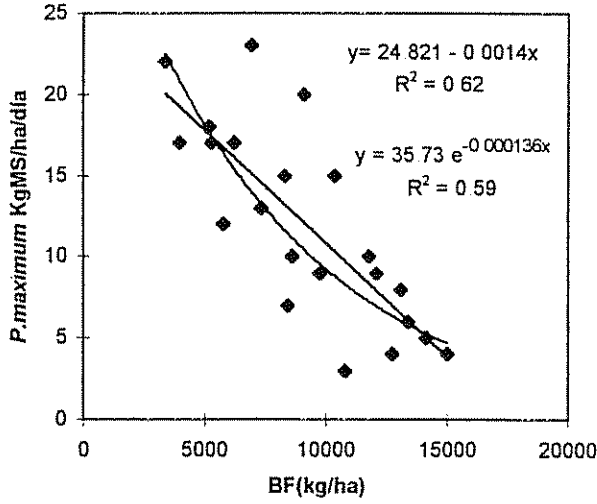


Figura 5. Modelos de regresión lineal y no lineal para la relación biomasa foliar (BF) - estrato herbáceo

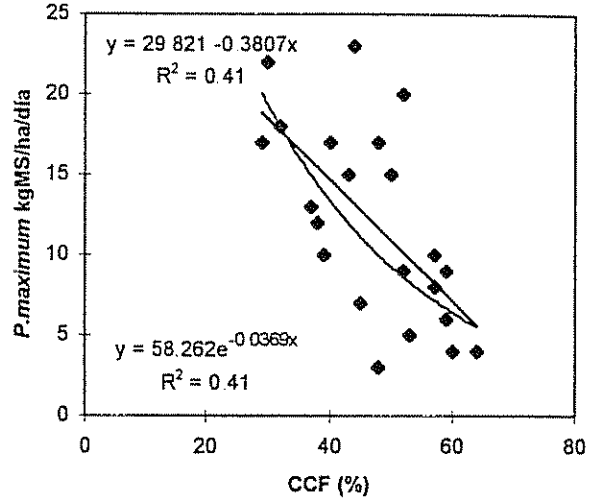


Figura 6. Modelos de regresión lineal y no lineal para la relación factor de cubrimiento de copas (CCF) - estrato herbáceo.

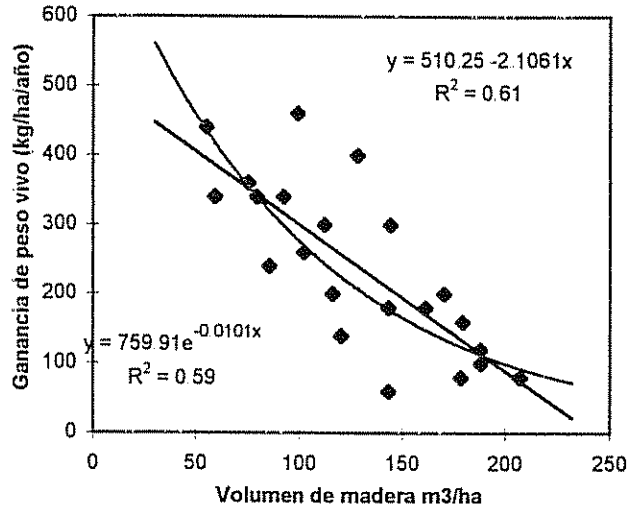


Figura 7. Modelos preliminares de regresión lineal y no lineal para la relación ganancia de peso vivo - producción de madera.

## DISCUSION

Los modelos exponencial negativo y lineal fueron los que mejor explicaron la disminución de la productividad de *P. maximum* ante incrementos de la densidad de rodales de *P. caribaea*. Estas observaciones son consistentes con resultados reportados en trabajos en zonas templadas con *Pinus ponderosa* (Mc Connell y Smith 1965; Beale 1973; Walker *et al.* 1986; Uresk y Severson 1989; Mitchell y Bartling, 1991; Mc Daniel *et al.* 1993). Los modelos exponenciales negativos son biológicamente más fáciles de interpretar que los lineales. Se esperaría que cuando la densidad del dosel tiende a cero, los interceptos de los modelos deben aproximarse a un valor "H" que representa la productividad de la pradera en condiciones de plena exposición solar. Por otro lado, se espera que la productividad tienda a cero cuando la densidad del rodal se incremente considerablemente. Este "realismo" no se puede alcanzar con un modelo lineal, ya que a altas densidades de rodal los modelos predicen productividades negativas. Estudios con pinos y latifoliadas en EE.UU. muestran que los modelos lineales subestiman la productividad de la pradera en los extremos de densidad y la sobre estiman en densidades intermedias (Halls y Schuster, 1965). El modelo  $y = a e^{-bx}$  resulta el más indicado de los modelos exponenciales evaluados en este estudio porque: 1) es linealizable ( $\log y = a + bx$ ) y esto permite estimar un coeficiente de determinación mediante mínimos cuadrados; 2) es sencillo; 3) la variable dependiente e independiente se miden en escalas naturales, fáciles de interpretar.

El rango de densidades utilizadas en el ajuste de los modelos no incluye condiciones cercanas a plena exposición solar, lo que puede limitar las proyecciones de los modelos en los rangos de densidad más importantes desde el punto de vista de la producción animal. Sin embargo, cuando se utiliza G, IDR, CCF o BF como medida de densidad de rodal, los interceptos (cero densidad) predicen rendimientos de *P. maximum* de 28-30 kg MS/ha/día (modelos lineales) y de 39-59 (modelos exponenciales negativos). Estos últimos rendimientos son comparables con los 37-78 kg/ha/día reportados por Singh (1995) para *P. maximum* creciendo a plena exposición solar con intervalos de corta entre 20 - 40 días, en un suelo franco limoso en clima húmedo subtropical. Los modelos semilogarítmicos evaluados en este estudio tienen interceptos que equivalen a crecimientos de *P. maximum* mucho mayores que lo reportado en la literatura. Esta es una desventaja importante en la utilización de estos modelos.

Las mayores densidades de rodal evaluadas en este estudio, aunque ideales desde un punto de vista puramente silvicultural, resultaron en muy bajos rendimientos de pasto (3 - 10 kg/ha/día). Esto muestra el estrecho margen de densidades donde la integración silvopastoril es posible y sugiere que el rango de densidades altas medidas en este estudio es adecuado para explorar el comportamiento de los modelos dosel-pradera. Plantaciones puras de *P. caribaea* alcanzan un máximo IDR de 1400, aunque el óptimo para la producción de madera de aserrío debe mantenerse entre 200-500 (Ortiz, 1989). El IDR de los rodales estudiados varió entre 190-400.

*P. maximum* produjo 15 - 23 kg MS/ha/día a bajas densidades de rodal, disminuyendo al incrementar la densidad. Este comportamiento refleja la insensibilidad de la pradera a baja densidad de rodal. Se conoce que el sombreado parcial promueve la germinación y sobrevivencia de *P. maximum*, sin inhibir su crecimiento (Kennard y Walker, 1973; Wong and Wilson 1980; Veenendaal *et al.*, 1993), mientras que otros estudios muestran que la respuesta del estrato herbáceo mejora a bajas densidades de rodal debido a cambios en el microclima, descomposición de materia orgánica y liberación de N y redistribución del agua de lluvia (Scanlan, 1992; Scifres *et al.*, 1982; Partridge, 1996; Wilson, 1996). A mayores densidades, el rendimiento herbáceo decrece por causa de la competencia por luz, agua y nutrientes (Lewis, 1989). En este estudio, el crecimiento de la pradera se redujo a 3 - 10 kg MS ha/día cuando la densidad de *P. caribaea* alcanzó sus máximos valores.

Los indicadores de densidad son todos muy similares. El área basal (G) e IDR son funciones directas del dap y de la población del rodal (N). El CCF se basa en una estimación de los diámetros de copa en función del dap, para calcular la proyección de la copa y extrapolar la superficie de copas a una hectárea. Su cálculo, por lo tanto, depende nuevamente del dap y N. La biomasa foliar (BF) es también una estimación alométrica basada en dap y altura, ajustada por N. El único indicador que no incorpora explícitamente el dap es RS, el cual se calcula en función de la altura dominante y el espaciamiento medio de los árboles (el cuál es una medida de N). Sin embargo, si tomamos en cuenta que existe una fuerte correlación entre dap-altura ( $r=0.73$ ), no es de extrañar que la capacidad explicativa de RS sea muy similar a la de los indicadores basados en dap. En este estudio, la población de las parcelas después del raleo en 1986 se mantuvo constante durante el período de mediciones, por lo que el comportamiento de los indicadores refleja el desarrollo en dap de los rodales.



Las respuestas de los modelos son similares para los diferentes indicadores de densidad, tanto en los coeficientes de determinación como las tendencias de los gráficos. Para G e IDR el modelo lineal explica la mayor variabilidad de la productividad de la pastura mientras que el modelo  $y = a e^{bx}$  tiene un  $R^2$  levemente inferior. CCF presentó los menores valores de  $R^2$  observados y los mayores CV; este índice se determinó a partir de mediciones de diámetros de copa realizadas en 1985, que fueron relacionadas por regresión con mediciones de dap realizadas entre 1987-1990. Esto puede determinar que CCF subestime la correlación existente entre las variables. Los modelos lineal y exponencial presentan los mayores coeficientes de determinación y son similares. Para la estimación de BF en *P. caribaea*, se seleccionó una ecuación que incluyó dap y altura (Egunjobi, 1976). Aunque BF es la variable que presenta los mayores valores de  $R^2$ , se estimó a partir de un modelo desarrollado en Nigeria, bajo condiciones climáticas (época seca definida) diferentes a las del estudio, por lo que BF podría estar subestimando la biomasa foliar y sobre estimando la productividad de la pastura. RS presenta los máximos valores de  $R^2$  en los modelos logarítmico y semilogarítmico, con valores del intercepto (cuando la densidad es máxima) negativos por lo que estas ecuaciones no reflejan situaciones reales.

De los indicadores considerados, G es fácil de calcular e interpretar y se utiliza normalmente para prescribir raleos, por lo que resulta el indicador más ventajoso. IDR, CCF y BF requieren conocer o determinar parámetros de regresión para su cálculo. RS aparece como el menos útil en la práctica, es difícil de estimar (usa altura dominante y no dap) e interpretar desde del punto de vista de la producción de forraje (la productividad aumenta a mayores valores de RS). Para comparar RS con los demás indicadores puede aplicarse la función inversa (Figura 4), pero pierde utilidad como herramienta de manejo forestal.

La relación lineal observada entre ganancia potencial de peso vivo y volumen de madera ( $R^2=0.61$ ), aunque de carácter preliminar, sugiere que es posible manejar densidades de *P. caribaea* acordes a objetivos de producción de madera para pulpa o aserrío para las edades y el sitio considerado (Reyna y Gewald, 1980) y obtener crecimientos de *Panicum maximum* que permitan el pastoreo de las plantaciones con ganado vacuno. Un análisis económico permitiría optimizar las cantidades de carne y madera a producir.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El rendimiento de *P. maximum* se reduce a medida que aumenta la densidad de los rodales de *P. caribaea*. La curva exponencial negativa, comúnmente utilizada para describir la relación dosel - sotobosque en términos de rendimiento herbáceo contra cobertura de copas o área basal, resultó ser el modelo más realista desde el punto de vista biológico.

Los modelos lineales resultan más simples de usar y evaluar, pero no reflejan situaciones reales desde el punto de vista biológico. Los modelos logarítmicos son más difíciles de interpretar y presentan valores de intercepto lejanos a los que pueden esperarse en situaciones reales.

Los indicadores de densidad utilizados para explicar la productividad de *P. maximum* bajo *P. caribaea* mostraron respuestas similares. El área basal es el que presenta más ventajas como herramienta de manejo forestal y RS es el menos útil desde el punto de vista práctico.

Las ecuaciones desarrolladas explican la relación dosel-pradera en las condiciones en que se realizó el estudio, pero no tienen carácter predictivo.

La disminución en la productividad de *P. maximum* al aumentar los valores de densidad de los rodales, muestra la necesidad de realizar raleos sucesivos si el objetivo es obtener carne y madera. La planificación del momento y el volumen a cosechar para una mejor producción de madera y forraje puede ser coordinada para alcanzar cantidades aceptables de ambos productos. Una curva que relacione el rendimiento de forraje con la densidad del rodal puede ser utilizada para programar operaciones de manejo de forma de optimizar los productos a extraer.

Para desarrollar modelos capaces de ser utilizados con fines predictivos, cuyos coeficientes sean extrapolables a diferentes escenarios, es necesario generar datos sobre la productividad de *P. maximum* creciendo a bajas densidades de rodal.

## CAPITULO V

## BIBLIOGRAFIA CITADA

- Alder, D. 1980 . Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con especial referencia a los trópicos. 2. Predicción del rendimiento. FAO. Roma. 80 p.
- Anderson, G.W.; Moore, R.W. 1987 . Productivity in the first seven years of a *Pinus radiata* annual pasture agroforest in Western Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture 27:231-238.
- Beale, I.F.; 1973 . Tree density effects on yields of herbage and tree components in south west Queenlands mulga (*Acacia neura*). Tropical Grassland 7:135-142.
- Chatterjee, S.; Price, B. 1991 . Regression Analysis by Example. John Wiley & Sons, New York. 278p.
- Deinum, B.; Sulastri R.D.; Zeinab, M.H.J.; Maasen, A. 1996. Effects of light intensity on growth, anatomy and forage quality of two tropical grasses (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* var. *trichoglume*). Netherlands Journal of Agricultural Science 44: 111-124.
- Draper, N.R.; Smith, H. 1981 . Applied Regression Analysis. John Wiley & Sons, New York. 709 p.
- Egunjobi, J.K. 1976 . An evaluation of five methods for estimating biomass of an even-aged plantation of *Pinus caribaea* L. Oecologia plantarum 11(2): 109-116.
- Gardner, A.L. 1967 . Estudios sobre los métodos agronómicos para la evaluación de pasturas. IICA Montevideo, Uruguay 80p.
- Gutiérrez, M.A. 1996. Pastos y forrajes en Guatemala. Su manejo y utilización: base de la producción animal. Universidad de San Carlos. Guatemala 318p.
- Halls, L.K.; Schuster, J.L. 1965 . Tree-herbage relations in pine hardwood forests of Texas. Journal of Forestry 63:282-283.
- Holdrige, L.R. 1982 . Ecología basada en las zonas de vida. IICA. San José, Costa Rica 216 p.
- Jameson, D.A. 1967 . The relationship of tree overstory and herbaceous understory vegetation. Journal of Range Management 20:247-249.
- Jones, A. 1985 . C<sub>4</sub> Grasses and cereals. Growth, development and stress response. John Wiley & sons New York. U.S.A. 415 p.
- Kadeba, O. 1989 . Biomass equations for evenaged stands of caribbean pine (*Pinus caribaea*) planted as an exotic in Nigeria. Journal of Forest Science 1(4): 346-355 .
- Kennard, D.G; Walker, B.H. 1973 . Relationships between canopy cover and *Panicum maximum* in the vicinity of Fort Victoria. Rhodesian Journal of Agricultural Research 11: 145-153.

- Krajicek, J.E.; Brinkman, K.A.; Gingrich, S.F. 1961 . Crown competition - a measure of density. *Forest Science*, 7:36-42.
- Lewis, C.E. 1989 . Herbage yield response to the maturation of a slash pine plantation. *Journal of Range Management* 42(3):191-195.
- Mc Daniel, K.C.; Torrell, L.A.; Bain, J.W. 1993 . Overstory-understory relationships for broom snakeweed-blue grama grasslands. *Journal of Range Management* 46:506-511.
- Mc Pherson, G.R. 1992 . Comparison of linear and non-linear overstory-understory models for ponderosa pine: a conceptual framework. *Forest Ecology and Management* 55:31-34.
- Mitchell, J.E.; Barting, P.N.; 1991 . Comparison of linear and no linear overstory-understory models for ponderosa pine. *Forest Ecology and Management* 42:195-204.
- Moore, M.; Deiter, A.; 1992 . Stand density index as a predictor of forage production in northern Arizona pine forests. *Journal of Range Management* 45(3):265-271.
- NRC; 1978. Nutrient requirements for beef cattle. National Academy of Sciences. Washington DC.
- Ortiz, E.; 1989 . Utilización del índice de densidad de rodal (IDR) en el manejo de la densidad de plantaciones forestales. Manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales con especies de uso múltiple: actas reunión IUFRO, Guatemala, abril 1989. Rodolfo Salazar ed. Turrialba, CR. CATIE p 329-350.
- Partridge, I. 1996 . Shady trees bring better grass. *Rural Research* 172:32-35.
- Percival, N.S; Knowles, R.L. 1983. Combinations of *Pinus radiata* and pastoral agriculture on New Zealand Hill Country. I. Agricultural Productivity. In "Foothills for Food and Forest". Ed. D.B. Hannaway. Symposium Series Nº 2, Oregon State University, College of Agricultural Science, Oregon, U.S.A. p185-202.
- Pinto, M.; Virgel S.; Rodríguez, M.; Besga, G.; 1997 . Suitability of different pasture species growing under pine. In *Agroforestry for sustainable land-use*. International workshop-Montpellier, France. 23-29 juin 1997 p-84.
- Reineke, L.H. 1933 . Perfecting a stand-density index for even aged forest. *Journal of Agricultural Research* 46:627-638.
- Reyna, N.; Gewald, N.J. 1980. Análisis del incremento de madera en plantaciones de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr et Golf en Turrialba, Costa Rica. *Turrialba* 30(2): 167-171.
- Rojas, F.; Ortiz, E. 1991 . Pino caribe (*Pinus caribaea*) especie de árbol de uso múltiple en America Central. CATIE Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica Informe Técnico Nº 175 57 p.
- Scanlan, J.C.; 1992. A model of woody-herbaceous biomass relationships en eucalypt and mesquite communities. *Journal of Range Management* 45:75-80.

- Scifres, C.J.; Mutz, J.L.; Whitson, R.E.; Drawe, D.L. 1982 . Interrelationships of huiscache canopy cover with range forage on the coastal prairie. *Journal of Range Management* 35:558-562.
- Singh, D.K.; Singh, V.; Sale, P.W.G. 1995. Effect of cutting management on yield and quality of different selections of Guinea grass [*Panicum maximum* (Jacq.) L.] in a humid subtropical environment. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 72(3): 181-187.
- Souza, G.; Viana, R. 1983 . Tabelas de peso da biomassa de copas de pinus tropicais na região de Sacramento, MG. *Floresta* XIV(1):14-23.
- Steele, K.W.; Percival, N.S. 1984 . Nitrogen fertiliser application under *Pinus radiata*. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 27: 49-55.
- Steel, R.D.G.; Torrie, J.C.; 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. 2ª ed . Trad. por Ricardo Martínez. México, Mc Graw Hill 622p.
- Tapia, L.A.B.; Ffolliot, P.F.; Guertin, D.P. 1990 . Herbage production - forest overstory relationships in two Arizona ponderosa pine forests. *Journal of Range Management* 43:25-28.
- Turner, J.; Lambert, M.J.; Bowman, V.; Knott, J. 1992 . Two post-thinning fertiliser trials in *Pinus radiata* in New South Wales, Australia. *Fertilizer Research* 32: 259-267.
- Uresk, D.W.; Severson, K.E. 1989 . Understory-overstory relationships in ponderosa pine forests, Black Hills, South Dakota. *Journal of Range Management* 42:203-208.
- Veenendaal E.M.; Shushu, D.D.; Scurlock, J.M. 1993 . Responses of seedlings of savanna grasses (with different C<sub>4</sub> photosynthetic pathways) in Botswana. *Journal of Tropical Ecology* 9:213-229.
- Walker, J.; Robertson, J.A.; Penridge, L.K.; Sharpe, P.J.H. 1986 . Herbage response to tree thinning in a *Eucalyptus crebra* woodland. *Australian Journal of Ecology* 11:135-140.
- Wilson, F.G. 1946 . Numerical expression of stocking in terms of height. *Journal of Forestry*. 77(8):483-486.
- Wilson, J.R.; 1996 . Shade-stimulated growth and nitrogen uptake by grasses in a subtropical environment . *Australian Journal of Agricultural Research* 47:1075-1093.
- Wolters, G., Martin, A., Pearson, A. 1982 . Forage response to overstory reduction on Loblolly-Shortleaf Pine hardwood forest range. *Journal of Range Management* 35(4):443-446.
- Wong, C.C.; Wilson, J.R. 1980 . Effects of shading on the growth and nitrogen content of Green Panic and Siratro in pure and mixed sward defoliated at two frecuencies. *Australian Journal of Agricultural Research* 31: 269-285.

ANEXO I

## REVISION BIBLIOGRAFICA

### *Pinus caribaea*

*P. caribaea*, conocido comúnmente como pino caribe, se distribuye naturalmente entre los 12° 13' N en Nicaragua, en América Central y los 27° N en las islas Little Abaco (Bahamas) y entre los 71° W en las islas Caicos y los 89° 25' W en Guatemala; desde el nivel del mar en las llanuras costeras hasta las tierras del interior, con una elevación máxima de 850 msnm (Lamprecht, 1990). En el área de distribución natural existen grandes variaciones climáticas, pero sin heladas. *P. caribaea* muestra buen crecimiento en climas húmedos de las regiones tropicales. Crece en suelos poco fértiles, podsoles y latosoles; en suelos con buen drenaje y sin horizontes duros e impermeables (Anouro, 1993; Rojas y Ortiz, 1991). En Malasia, Surinam, Venezuela, Jamaica y Costa Rica, la mayoría de los estudios han indicado que el drenaje, la textura, la profundidad hasta la cual pueden penetrar las raíces y algunas variables relacionadas como el nivel freático, la posición topográfica y la pendiente, son los limitantes del crecimiento de esta especie. Es una de las especies forestales de gran potencial económico para la producción forestal en el área centroamericana (Rojas y Ortiz, 1991).

En las Islas Bahamas y Caicos, *Pinus caribaea* crece sobre suelos duros y porosos sobre calizas, mientras en Cuba y América Central se encuentra siempre sobre suelos ácidos. Se pueden reconocer tres diferentes variedades: var. *caribaea* en Cuba y la Isla de los Pinos; var. *hondurensis* en Centroamérica (Belize, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Isla Guanaja y probablemente Méjico); y var. *bahamensis* en cuatro islas en el grupo Bahamas y dos en el grupo Caicos. Las diferencias morfológicas entre estas variedades son apoyadas por diferencias fisiológicas mostradas en sus rendimientos. En Sud Africa, plantaciones de la var. *hondurensis* mostraron una forma extremadamente variable mientras que la forma de la var. *caribaea* fue mucho mejor y las plantaciones de la var. *bahamensis* sugirieron que esta podría ser intermedia entre las otras dos. La madera de la var. *hondurensis* proveniente de árboles de 9-14 años pesó  $< 400\text{kg/m}^3$  y no fue apta para propósitos estructurales. También se consideró inutilizable para pulpa química y, al menos a esa edad, la infiltración de resina en la parte central del tallo era una fuente de defectos. La calidad de la madera de la var. *caribaea* sería algo mejor (Luckhoff, 1964; Lamprecht, 1990).

*P. caribaea* es una especie heliófita que no se regenera naturalmente fuera de su hábitat natural. El distanciamiento en plantaciones varía según los objetivos, entre 2 x 2 y 5 x 5 m. En plantaciones de sabana, los tratamientos durante los dos primeros años, consisten en dar protección contra el fuego y combate de malezas. En Jarí, Brasil, las plantaciones de *Pinus caribaea* se utilizan como praderas 6 meses después de establecidas, ya que el ganado no las ramonea e inhibe el crecimiento de *Cecropia* (Rollet, 1980). En plantaciones con tratamientos silviculturales se recomienda la siembra de *Brachiaria humidicola* (Lamprecht, 1990).

Obiaga y Ekwebelam (1986) recomiendan en Nigeria distanciamientos de 2 x 2 m para obtener los máximos valores de área basal. En Costa Rica, empleando espaciamientos de 2.5 x 2.5 m, el dosel se cierra a una edad de 6 a 7 años. Hasta esa edad el desarrollo de gramíneas en las plantaciones de *P. caribaea* es bastante frecuente (Reyna y Gewald, 1980).

### ***Panicum maximum***

El género *Panicum* está representado por más de 500 especies anuales y perennes, siendo *P. maximum*, la más importante. Es una gramínea forrajera originaria de Africa, pero actualmente se encuentra muy diseminada en las zonas tropicales y subtropicales de todo el mundo, entre 10° N y 20° S siendo quizás el más importante de los pastos tropicales y subtropicales de toda América. Se ha adaptado a un amplio rango de suelos y es común encontrarlo hasta 2000 m de altura donde la precipitación anual excede los 1300 mm. Prefiere climas cálidos, es sensible a las bajas temperaturas y no se puede cultivar con éxito en climas fríos aunque resiste heladas ocasionales poco intensas. Produce forraje de alta calidad y palatabilidad, pudiéndose combinar con varias leguminosas tropicales (Jones, 1985).

*P. maximum* alcanza una altura de hasta 3 m en plena madurez. Se desarrolla en casi todos los suelos tropicales no pantanosos, pero para un buen desarrollo requiere suelos fértiles. Se adapta a regiones tropicales y subtropicales, presentando una mayor producción en zonas con precipitaciones entre 875 y 1750 mm. En praderas sin árboles soporta bien la sequía aunque no períodos mayores de 4 meses. *P. maximum* tolera bien la sombra, crece bien bajo árboles leguminosos así como en zonas abiertas, presentando un valor nutritivo algo mayor cuando se encuentra bajo los árboles. Normalmente se siembra al voleo pero puede propagarse por macollos, cepas o coronas. No forma césped, sino que permanece amacollado. Algunas



variedades pueden alcanzar una profundidad radicular de 4m, lo que le permite resistir el sobrepastoreo. Es un pasto bien aceptado por el ganado, sobre todo las variedades mejoradas (Carrillo y Carmona, 1985).

Algunos ecotipos de *P. maximum* se caracterizan por su alta producción de materia seca, como el CIAT 16061 con 57 t/ha/año y el CIAT 16051 con 46.8 ton/ha/año (Veiga y Serrao, 1987). Según una evaluación realizada por Vallejos (1988) la digestibilidad *in vitro* de la materia seca para estas dos accesiones, fue de 64% y 61.4%, con un contenido de proteína cruda de 17.4% y 17.1% respectivamente.

#### *Variables utilizadas para evaluar la densidad del rodal*

La densidad puede expresarse en términos absolutos o relativos (Prodan *et al.*, 1997). Al escoger una variable para evaluar la densidad debe considerarse que pueda ser utilizada eficientemente en la planificación y ejecución de un programa de raleos. Esto supone el cumplimiento de los siguientes requisitos:

1. Integrar la evaluación del tamaño medio de los árboles, su número por unidad de área y su distribución espacial en el terreno.
2. Permitir traducir un objetivo de manejo en un programa de aclareos.
3. Ser sensible a los cambios de densidad del rodal
4. Ser independiente de la calidad del sitio.
5. Ser de fácil medición y objetiva (no estar sujeta a variación debida a suposiciones u opiniones por parte del evaluador).

#### Area basal

El área basal es la medida más usada como índice de densidad de rodal. Es la suma de las áreas basimétricas de cada uno de los árboles existentes en una hectárea de terreno. Se estima por la siguiente fórmula:

$$G = \frac{\pi}{4} \sum (d_i)^2$$

$$G = \frac{\pi}{4} N (d_0)^2$$

donde,  $d_i$  es el diámetro (en m) de los árboles a 1.30 m de altura

$N$  es el número de árboles /ha y

$d_q$  es el diámetro cuadrático del rodal (en m)

El área basal es una medida que integra la evaluación del número de árboles/ha y su tamaño. Es una variable que se puede estimar fácil y objetivamente y permite traducir un objetivo de manejo en un programa de raleos. Se relaciona con la calidad de sitio; un sitio bueno puede sostener mayor área basal que uno malo. Debido a esto, el principal inconveniente que presenta es como determinar los niveles de densidad apropiados según los objetivos de manejo y para diferentes especies y calidades de sitio.

#### Índice de densidad de Reineke

Reineke (1933) desarrolló una medida relativa de la densidad de rodal llamada Índice de Densidad de Rodal (IDR) que da una relación entre número de árboles por hectárea y el diámetro medio del rodal. Este índice se define como la razón entre el número de árboles de un rodal observado y un rodal de densidad normal, ambos con igual diámetro medio.

$$IDR = N_o/N_n$$

El IDR es el número de árboles por unidad de superficie que un rodal puede llegar a tener al alcanzar un diámetro medio fijado convencionalmente como clave. Para una especie que crece bajo condiciones de máxima competencia, el número de árboles se relaciona negativamente con el diámetro medio.

El IDR puede ser obtenido con referencia a una relación entre tamaño medio del árbol y el número de árboles por hectárea. Esta relación es de la forma:

$$N = \alpha D_q^\beta$$

donde,  $N$  = número de árboles por unidad de área

$D_q$  = diámetro cuadrático medio a la altura del pecho

$\alpha, \beta$  = parámetros que definen la relación

Reineke encontró que graficando el número de árboles por unidad de área contra el correspondiente diámetro medio para rodales a máxima densidad resultó una línea recta cuando se usaban coordenadas logarítmicas (Fig.1). Para varias especies la pendiente de esta línea fue aproximadamente -1.605, pero el intercepto difirió con las especies y la curva se representó como:

$$\log(N) = -1.605 \log (D_q) + k$$

donde  $k$  es una constante para una especie en particular ( $k = \log (\alpha)$ ). Reineke basó su índice en un diámetro cuadrático de 25.4 cm (10 pulgadas), por lo que cuando el dap y en número de árboles por unidad de área son conocidos,

$$IDR = N (25.4/D_q)^{\beta}$$

Esto implica que todos los rodales al límite de densidad tienen el mismo IDR respecto al dap medio. Aparentemente IDR es solo la consecuencia de rodales totalmente arbolados. La pendiente es generalmente menor para especies más tolerantes (Zeide, 1987). Para un rodal que se encuentra muy por debajo de esta condición límite de competencia, la relación entre los logaritmos del número de árboles y del diámetro será casi horizontal (Prodan, *et al.*, 1997).

#### Índice de espaciamiento relativo

Wilson (1946) definió el espaciamiento relativo (RS) como el cociente de la distancia media entre árboles y el promedio de la altura dominante del rodal. El RS fue propuesto como una herramienta de manejo basada en el concepto del mantenimiento relativamente constante de la tasa de crecimiento dentro de los rodales.

El índice de espaciamiento o espaciamiento relativo se define como:

$$RS = \frac{\text{Distancia promedio entre árboles}}{\text{Altura promedio de los árboles dominantes}}$$

Con espaciamientos en cuadrado la relación puede ser expresada como:

$$RS = \frac{\sqrt{10\,000/N}}{H_d}$$

donde,  $N$  = número de árboles por hectárea

$H_d$  = altura dominante en metros

Respecto al diámetro, el espaciamento relativo es:

$$RS_D = \frac{\sqrt{10\,000/N}}{D}$$

donde  $D$  es el diámetro de los árboles dominantes (Prodan *et al.*, 1997)

Para cualquier calidad de sitio y edad inicial, todos los rodales de una especie dada se aproximan a un espaciamento relativo mínimo común asintótico con el tiempo (Figura 3). Para una curva altura-crecimiento dada, esta asíntota establece la máxima densidad de rodal para cualquier edad dada (Clutter *et al.*, 1983). El RS varía con las especies pero no es afectado por el índice de sitio. No obstante, un incremento anual en altura resulta en un decremento en la medida de la densidad cuando esta no es afectada por la mortalidad. La tendencia del RS en el tiempo está por lo tanto determinada por la relación del incremento de altura respecto a la mortalidad. Como la mortalidad debida a la competencia es prácticamente nula en los primeros años, el RS es afectado solo por el crecimiento en altura. Al cerrarse las copas, el incremento en la tasa de mortalidad comienza a jugar un rol más importante y el RS permanece constante cuando el porcentaje de la tasa de incremento en altura es la mitad del porcentaje de la tasa de mortalidad (Bredenkamp y Burkhart, 1990; Prodan *et al.*, 1997). El RS ha sido utilizado para controlar la densidad en plantaciones con manejo intensivo. Por ejemplo, se han programado regímenes de raleos para alcanzar valores pre establecidos de espaciamento relativo en cada raleo, y los intervalos entre raleos han sido determinados para coincidir con incrementos específicos en la altura dominante (Clutter *et al.*, 1983). En Chile se utiliza este método para determinar la necesidad e intensidad de raleo en *Pinus radiata*. Se considera que con un valor de RS inferior a 15 el raleo es insuficiente; sobre 20, es demasiado intenso y afecta la recuperación del área basal (Rocuant, 1972).

Factor de competencia de copas (CCF)

Krajicek *et al.* (1961) definieron el factor de competencia de copas como la suma de las áreas de copa máximas que alcanzan todos los individuos en el rodal, dividida por el área en que se encuentran.

La proyección horizontal de un árbol que crece libremente sin competencia puede ser expresada por el siguiente modelo:

$$d_{\text{copa}} = b_0 + b_1 d$$

$$S_{\text{copa}} = \frac{\pi}{4} (b_0 + b_1 d)^2$$

donde,  $d_{\text{copa}}$  = diámetro de copa, en m

$S_{\text{copa}}$  = superficie de copa, en m<sup>2</sup>

$d$  = dap, en cm

$b_0$  y  $b_1$  = parámetros estimados a partir de mediciones de amplitud de copa y diámetro sobre árboles creciendo libremente.

Para un árbol de diámetro  $d$  creciendo libremente en un rodal, el máximo de la superficie de copa expresada como porcentaje de una hectárea es:

$$S_{\text{copa}} \text{max} = \frac{100 (\pi/4) (b_0 + b_1 d)^2}{10\,000}$$

$$= 0.007854 (b_0 + b_1 d)^2$$

Se llama factor de competencia de copas CCF de un rodal a la suma de las superficies de copa de todos los árboles sobre la base de una hectárea y se calcula por la expresión siguiente:

$$CCF = \sum_{\text{copa}} \text{max} \% = 0.007854 \sum^N (b_0 + b_1 d)^2$$

$$CCF = K (N b_0^2 + b_1^2 \sum^N d^2 + 2 b_0 b_1 \sum^N d)$$

Si todos los árboles crecen libres,  $CCF < 100$ ; en el límite del crecimiento libre  $CCF = 100$ ; si hay competencia  $CCF > 100$ .

Los autores indican que el CCF es una interpretación de un índice de densidad en términos porcentuales y no constituye esencialmente una medida de oclusión del dosel. Teóricamente, una oclusión total puede ocurrir a partir de un  $CCF = 100$ . En vez de estimar densidad del dosel, CCF estima el área disponible para el árbol promedio en el rodal en relación al área máxima que podría utilizar, si creciera sin competencia.

## BIBLIOGRAFIA CITADA

- Anouro, A.O. 1993. Caribbean pine in sustainable tropical forestry: distribution, taxonomy, ecology, biotechnology and silvics. *Journal of Sustainable forestry* 1(1):1-23.
- Beale, I.F. 1973. Tree density effects on yields of herbage and tree components in south west Queenlands mulga (*Acacia aneura*). *Tropical Grassland* 7:135-142.
- Bredenkamp, B.; Burkhart, H. 1990. An examination of spacing indices for *Eucalyptus grandis*. *Canadian Journal of Forestry Research*, 20:1909-1916.
- Carrillo, F.; Carmona, G. 1985. Carga animal y frecuencia de pastoreo en pasto Guinea (*Panicum maximum* Jacq.) establecido en dos sistemas de siembra dentro del bosque de pino. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México DF, México Boletín Técnico N° 132 56p.
- Clutter, J.L.; Forston, J.C.; Pienaar, L.V.; Brister, G.H.; Bailey, R.L. 1983. Timber management: a qualitative approach. New York. J.Wiley. 333p.
- Jones, A. 1985. C<sub>4</sub> Grasses and cereals. Growth, development and stress response. John Wiley & sons New York. U.S.A. 415 p.
- Krajicec, J.E.; Brinkman, K.A.; Gingrich, S.F. 1961. Crown competition - a measure of density. *Forest Science*, 7:36-42.
- Lamprecht, H. 1990. Silvicultura en los trópicos. Los ecosistemas tropicales y sus especies arbóreas - posibilidades para un aprovechamiento sostenido - GTZ, Eschborn Alemania. 335p.
- Luckhoff, H.A. 1964. The natural distribution, growth and botanical variation of *Pinus caribaea* and its cultivation in South Africa. *Annale Universiteit van Stellenbosch* 39 A(1) p 160.
- Obiaga, P.C.; Ekwebelam, S.A. 1986. Growth and yield of caribbean and ocote pines as affected by escapements in the high forest zone of Nigeria. *The Malaysian Forester* 49(4):463-469.
- Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997. Mensura forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible. IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 561 p.
- Reineke, L.H. 1933. Perfecting a stand-density index for even aged forest. *Journal of Agricultural Research*, 46:627-638.
- Reyna, N.; Gewald, N.J. 1980. Análisis del incremento de madera en plantaciones de *Pinus caribaea* var *hondurensis* Barr et Golf en Turrialba, Costa Rica. *Turrialba* 30(2):167-171.
- Rocuant, L. 1972. Un método rápido para determinar la necesidad de raleo en pino insigne. Universidad Nacional de Concepción. Escuela de Agronomía. Notas informáticas N° 9.

- Rojas, F.; Ortiz, E. 1991 . Pino caribe (*Pinus caribaea*) especie de árbol de uso múltiple en America Central. CATIE Turrialba, Costa Rica. Serie Técnica Informe Técnico N° 175 57 p.
- Rollet, B. 1980 . Jari: succès ou échec?. Bois et forets des tropiques. 192:3-34.
- Tapia, L.A.B.; Ffolliot, P.F.; Guertin, D.P. 1990 . Herbage production - forest overstory relationships in two Arizona ponderosa pine forests. Journal of Range Management 43:25-28.
- Vallejos, A. 1988 . Caracterización y evaluación agronómica preliminar de accesiones de *Brachiaria* y *Panicum* en el trópico húmedo de Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE 126p.
- Veiga, J.B.; Serrao, E.A. 1987 . Recuperación de pasturas en la región este de la Amazonía brasileña. Pasturas Tropicales. Boletín 9:40-43.
- Wolters, G., Martin, A., Pearson, A. 1982 . Forage response to overstory reduction on Loblolly-Shortleaf Pine hardwood forest range. Journal of Range Management 35(4):443-446.



ANEXO II

Anexo II. 1. Fechas de plantación de *Pinus caribaea*

Parcela	Fecha de plantación	Nº de árboles	
		Preraleo	Postraleo
1	02 08 78	85	56
2	02 08 78	75	37
3	02 08 78	77	34
4	02 20 78	106	31
5	02 20 78	112	46
6	01 06 78	109	37

Anexo II. 2. Crecimiento de *Panicum maximum* por ciclo

PARCELA	CICLO	DIAS CRECIMIENTO DE <i>P.maximum</i>	kg MS/ha/año	
			kg MS/ha/día	kg MS/ha/año
1	1	67	17.46	6372.90
1	2	100	13.30	4854.50
1	3	91	21.98	8022.70
1	4	62	15.48	5650.20
1	5	62	9.03	3295.95
1	6	147	4.76	1737.40
1	7	68	8.68	3168.20
1	8	64	17.19	6274.35
1	9	157	3.31	1208.15
1	10	173	4.34	1584.10
2	1	59	30.68	11198.20
2	2	99	17.17	6267.05
2	3	102	20.69	7551.85
2	4	63	27.94	10198.10
2	5	61	19.51	7121.15
2	6	153	8.63	3149.95
2	7	68	24.71	9019.15
2	8	51	17.65	6442.25
2	9	153	9.48	3460.20
2	10	174	6.67	2434.55
2	11	129	7.13	2602.45
2	12	94	1.28	467.20
2	13	75	3.47	1266.55
3	1	20	10.00	3650.00
3	2	90	13.67	4989.55
3	3	98	16.73	6106.45
3	4	176	3.47	1266.55
3	5	63	17.62	6431.30
3	6	53	15.09	5507.85
3	7	154	5.39	1967.35
3	8	174	4.48	1635.20

## Anexo II. 2. Continuación

PARCELA	CICLO	DIAS	CRECIMIENTO DE P.maximum	
			kg MS/ha/dia	kg MS/ha/año
4	1	84	15.60	5694.00
4	2	50	0.00	0.00
4	3	81	14.07	5135.55
4	4	59	30.51	11136.15
4	5	62	25.97	9479.05
4	6	66	20.91	7632.15
4	7	137	12.63	4609.95
4	8	42	14.52	5299.80
4	9	57	27.89	10179.85
4	10	153	10.46	3817.90
4	11	121	15.79	5763.35
4	12	183	10.05	3668.25
4	13	94	11.70	4270.50
4	14	77	9.09	3317.85
5	1	45	19.56	7139.40
5	2	65	16.77	6121.05
5	3	80	3.88	1416.20
5	4	104	21.73	7931.45
5	5	63	24.92	9095.80
5	6	66	14.09	5142.85
5	7	137	13.87	5062.55
5	8	60	32.83	11982.95
5	9	57	25.26	9219.90
5	10	154	7.92	2890.80
5	11	121	13.55	4945.75
5	12	183	7.54	2752.10
5	13	95	4.11	1500.15
5	14	77	5.84	2131.60
6	1	80	16.75	6113.75
6	2	91	19.34	7059.10
6	3	67	30.60	11169.00
6	4	68	8.82	3219.30
6	5	144	12.08	4409.20
6	6	64	0.78	284.70
6	7	62	25.00	9125.00
6	8	158	5.63	2054.95
6	9	115	9.65	3522.25
6	10	184	4.46	1627.90
6	11	170	2.06	751.90

Anexo II. 3. Evolución de los parámetros dasométricos de los rodales de *Pinus caribaea*

FECHA	PARCELA	N	dap	hprom	G
04FEB1986	1	850	13.6	12	14
01JUL1987	1	560	17.6	14	14
01JUL1988	1	560	20.2	16	19
01JUL1989	1	550	21.5	18	21
01JUL1990	1	550	22.1	20	22
04FEB1986	2	740	16.1	14	17
01JUL1987	2	370	21.8	15	14
01JUL1988	2	370	23.8	18	17
01JUL1989	2	370	26.0	19	20
01JUL1990	2	370	26.8	20	22
04FEB1986	3	760	16.4	16	18
01JUL1987	3	340	22.8	17	14
01JUL1988	3	340	25.4	19	18
01JUL1989	3	340	26.4	21	19
01JUL1990	3	330	27.0	22	19
04FEB1986	4	1020	12.8	13	14
01JUL1987	4	310	18.7	14	9
01JUL1988	4	300	20.6	16	10
01JUL1989	4	300	22.3	18	12
01JUL1990	4	300	23.4	19	13
04FEB1986	5	1110	12.9	12	16
01JUL1987	5	460	18.6	14	12
01JUL1988	5	460	21.2	16	17
01JUL1989	5	460	22.4	19	19
01JUL1990	5	460	23.2	20	20
04FEB1986	6	980	12.4	10	13
01JUL1987	6	370	17.0	13	9
01JUL1988	6	370	20.1	15	12
01JUL1989	6	370	22.3	17	16
01JUL1990	6	370	23.3	19	16

N = número de árboles por ha

dap= diámetro a 1.3 m

hprom = altura promedio

G = área basal

Anexo I I.4. Ecuaciones de predicción de biomasa foliar de *Pinus caribaea*.

PARCELA	dap (cm)	hprom (m)	BC1	BC2 (kg MS /ha(año))	BC3	BC4
1	17.6	14	5715.83	6207.65	9281.44	9791.16
1	20.2	16	8348.56	9742.23	12915.24	12222.83
1	21.5	19	9733.41	12736.06	14730.90	13272.58
1	22.1	20	10498.64	14968.31	15735.96	13873.97
2	21.8	15	6802.23	6926.73	10244.69	9130.26
2	23.8	18	8658.99	10337.63	12644.68	10516.12
2	26.0	19	11041.85	13066.75	15630.71	12124.73
2	26.8	20	12001.36	15020.55	16808.87	12730.97
3	22.8	17	7071.08	8302.77	10482.94	9018.20
3	25.4	19	9795.54	12072.11	13980.77	11046.23
3	26.4	21	10581.58	14130.58	14898.94	11418.90
3	27.0	22	10924.99	15136.07	15261.37	11491.38
4	18.7	14	3738.06	3950.82	5941.87	5975.80
4	20.6	16	4562.86	5188.86	7010.23	6532.69
4	22.3	18	5870.16	7300.15	8770.69	7678.18
4	23.4	19	6701.11	8587.74	9844.11	8297.06
5	18.6	14	5109.17	5284.40	8136.65	8217.77
5	21.2	16	7832.14	9089.13	11912.17	10852.40
5	22.4	19	9112.33	11749.86	13593.46	11858.32
5	23.2	20	10035.36	13841.88	14786.79	12547.55
6	17.0	13	3433.00	3410.54	5642.97	6117.81
6	20.1	15	5441.25	5764.55	8432.34	8011.53
6	22.3	17	7239.86	8412.77	10817.19	9469.76
6	23.3	19	8167.95	10788.25	12017.02	10162.72

dap= diámetro a 1.3 m

hprom= altura promedio

$$BC1 = 3.8391 \text{ dap}^{2.7496}$$

(Egunjobi, 1976)

$$BC2 = 1.2767 (\text{dap}^2 \text{ hprom})^{1.0824}$$

(Egunjobi, 1976)

$$BC3 = e^{(-4.0691)} + 2.3979 \log_{10} \text{dap}$$

(Kadeba, 1989)

$$BC4 = 10^{(2.237425382)} + 1.6099561 \log_{10} \text{dap}$$

(Souza y Viana, 1983)

*ANEXO III*

## ANALISIS DE VARIANZA Y ANALISIS DE RESIDUOS DE LAS REGRESIONES

## VARIABLE AREA BASAL (G)

Model:  $y = a + b x$ 

Dependent Variable: BIOM

## Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	378.55056	378.55056	19.049	0.0003
Error	20	397.44944	19.87247		
C Total	21	776.00000			

Root MSE	4.45786	R-square	0.4878
Dep Mean	12.00000	Adj R-sq	0.4622
C.V.	37.14879		

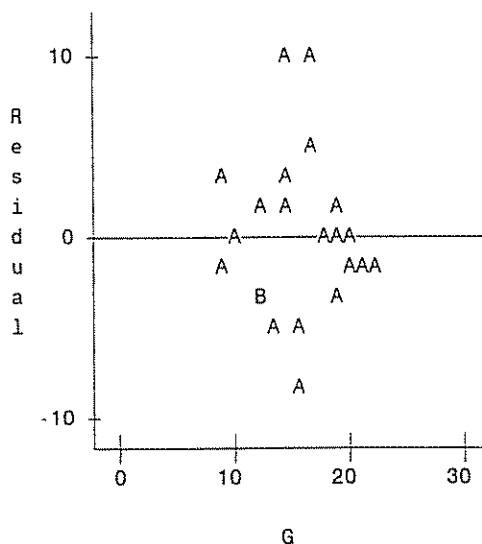
## Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	28.765642	3.95718157	7.269	0.0001
G	1	-1.078492	0.24710457	-4.365	0.0003

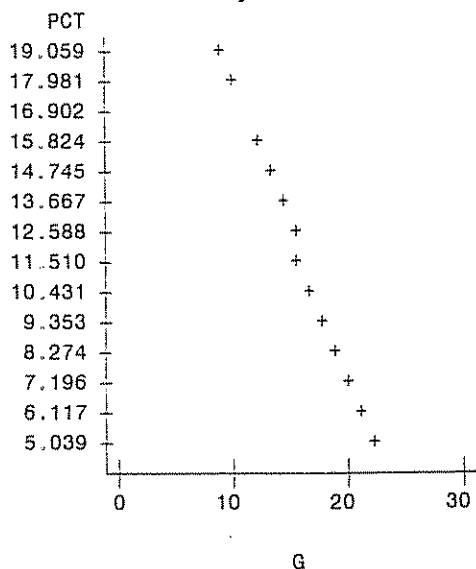
The SAS System

2

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*G.



Plot of PCT\*G. Symbol used is '+'.



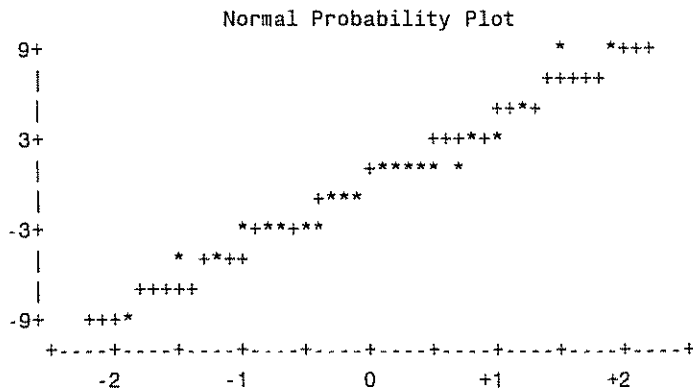
NOTE: 9 obs hidden.

Stem Leaf	#	Boxplot
8 36	2	0
6		
4 6	1	
2 93	2	
0 078237	6	+--+--+
-0 204	3	*-----*
-2 83811	5	+-----+
-4 67	2	
-6		
-8 5	1	
-----+-----+-----+		

Univariate Procedure

Variable=RCT

Residual



Model:  $\log y = a + b \log x$   
 Dependent Variable: LBIOM

Analysis of Variance

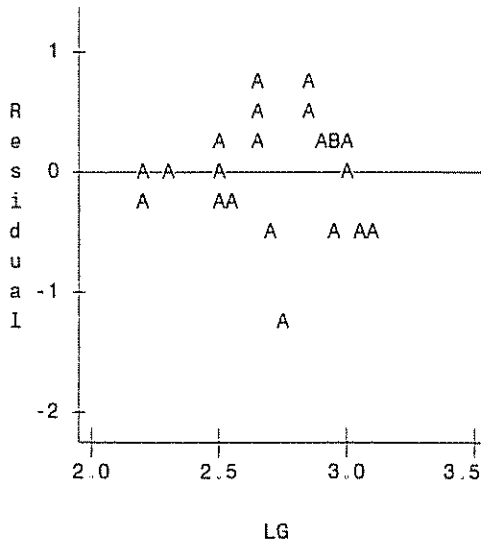
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	3.36975	3.36975	16.466	0.0006
Error	20	4.09303	0.20465		
C Total	21	7.46278			
Root MSE	0.45238	R-square	0.4515		
Dep Mean	2.33525	Adj R-sq	0.4241		
C.V.	19.37194				



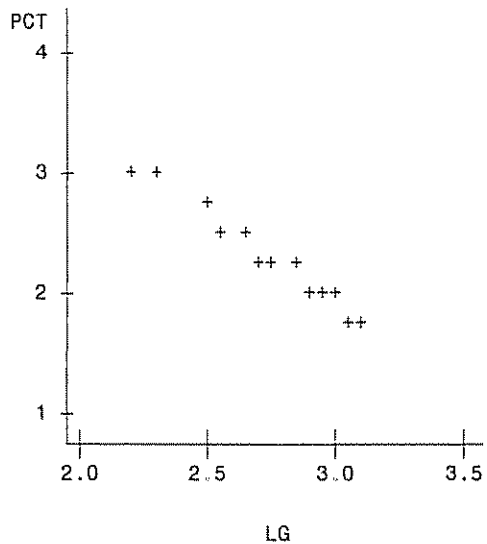
Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	6.355124	0.99533377	6.385	0.0001
LG	1	-1.483057	0.36548195	-4.058	0.0006

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*LG.



Plot of PCT\*LG. Symbol used is '+'.

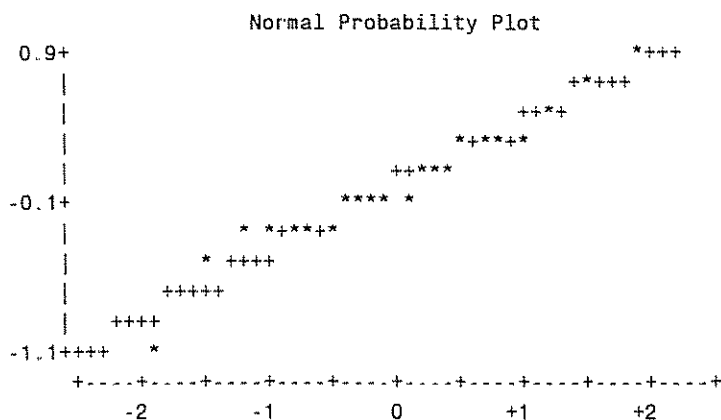


NOTE: 9 obs hidden.

Stem Leaf	#	Boxplot
8 4	1	
6 9	1	
4 5	1	
2 1719	4	+-----+
0 367	3	+
-0 82051	5	*-----*
-2 98865	5	+-----+
-4 5	1	
-6		
-8		
-10 4	1	0
-----+		

Variable=RCT

Residual



The SAS System

11

Model:  $y = a + b \log x$ 

Dependent Variable: BIOM

## Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	365.96612	365.96612	17.851	0.0004
Error	20	410.03388	20.50169		
C Total	21	776.00000			

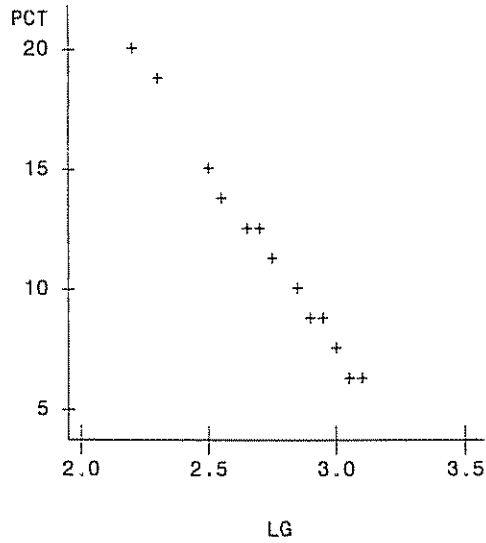
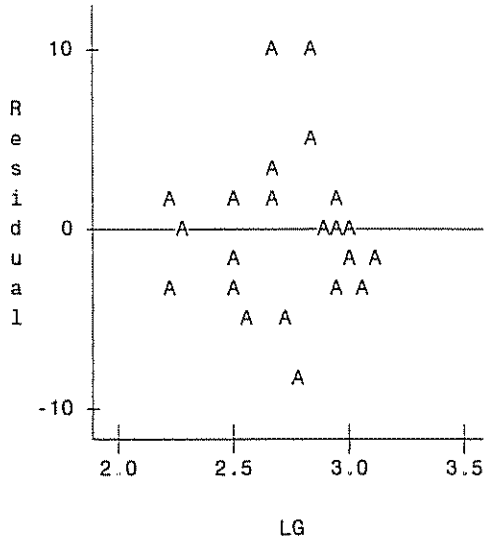
Root MSE	4.52788	R-square	0.4716
Dep Mean	12.00000	Adj R-sq	0.4452
C.V.	37.73233		

## Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	53.892207	9.96222322	5.410	0.0001
LG	1	-15.455356	3.65808221	-4.225	0.0004

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*LG.

Plot of PCT\*LG. Symbol used is '+'.

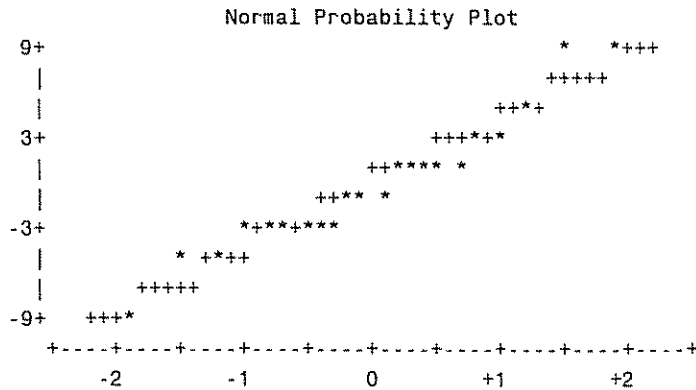


NOTE: 9 obs hidden.

Stem Leaf	#	Boxplot	
8 99	2	2	0
6			
4 9	1	1	
2 19	2	2	
0 46569	5	5	+---+--+
-0 632	3	3	*---*--*
-2 549851	6	6	+---+--+
-4 03	2		
-6			
-8 0	1	1	
-----+-----+-----+-----+			

Variable=RCT

Residual



Model:  $\log y = a + b x$   
 Dependent Variable: LBIOM

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	3.56009	3.56009	18.244	0.0004
Error	20	3.90269	0.19513		
C Total	21	7.46278			

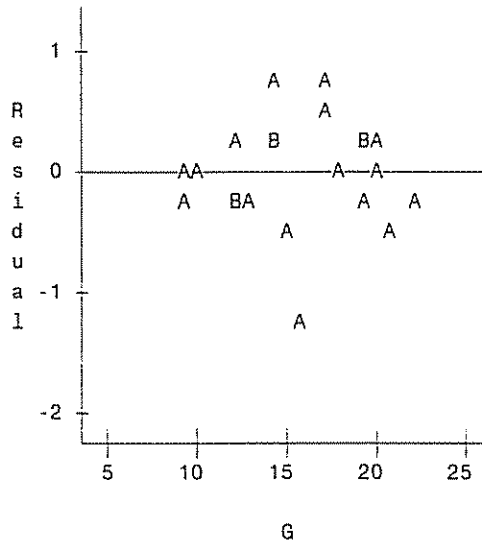
  

Root MSE	0.44174	R-square	0.4770
Dep Mean	2.33525	Adj R-sq	0.4509
C.V.	18.91615		

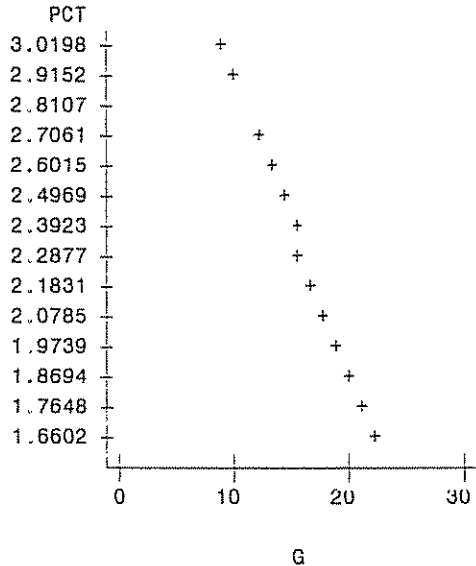
Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	3.961136	0.39212737	10.102	0.0001
G	1	-0.104589	0.02448623	-4.271	0.0004

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*G.



Plot of PCT\*G. Symbol used is '+'.

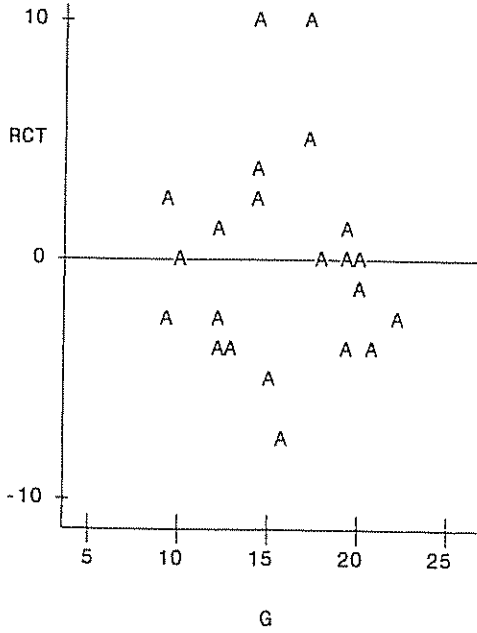


NOTE: 9 obs hidden.

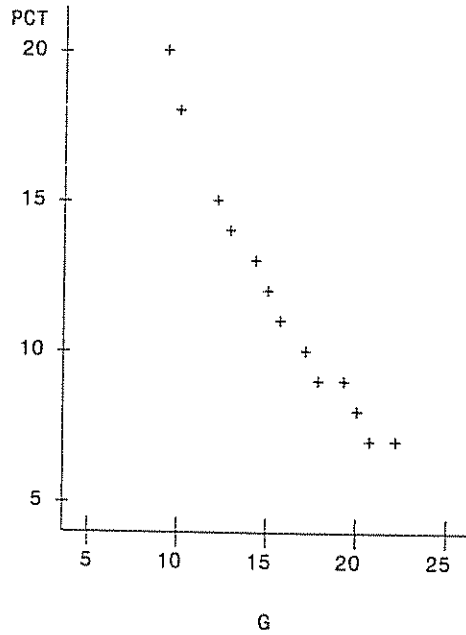
Stem Leaf	#	Boxplot
0 568	3	
0 11122233	8	+--+--+
-0 4443322110	10	+-----+
-0		
-1 2	1	0



A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*G.



Plot of PCT\*G. Symbol used is '+'.

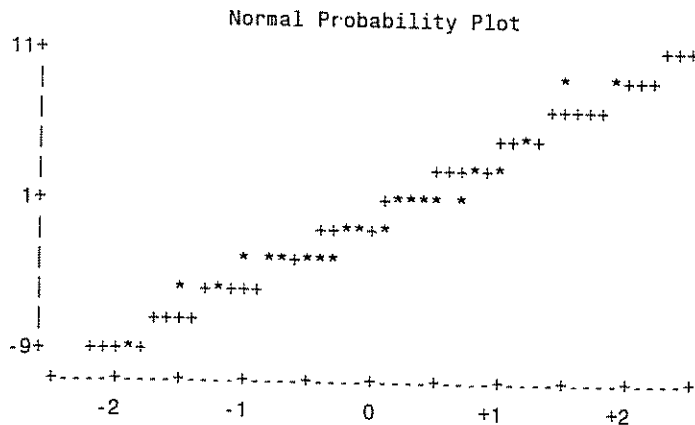


NOTE: 9 obs hidden.

Variable=RCT  
Stem Leaf

Stem Leaf	#	Boxplot
10 0	1	0
8 9	1	0
6		
4 09	2	
2 02	2	+-----+
0 1446	4	
-0 932	3	*-----*
-2 642874	6	+-----+
-4 02	2	
-6		
-8 0	1	
-----+		

Univariate Procedure  
Variable=RCT



## VARIABLE INDICE DE DENSIDAD DE RODAL (IDR)

Model:  $y = a + b x$

Dependent Variable: BIOM

### Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	351.48820	351.48820	16.560	0.0006
Error	20	424.51180	21.22559		
C Total	21	776.00000			

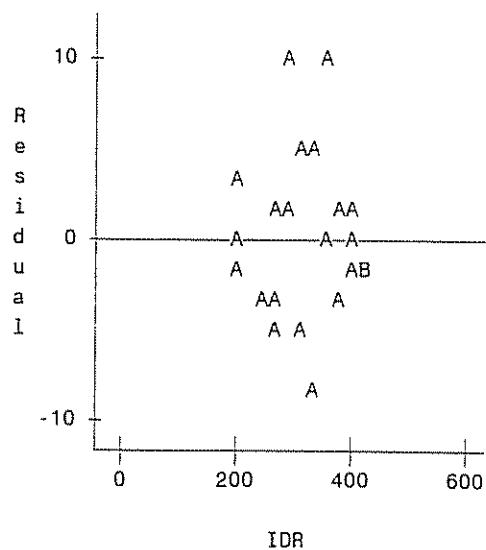
  

Root MSE	4.60712	R-square	0.4529
Dep Mean	12.00000	Adj R-sq	0.4256
C.V.	38.39270		

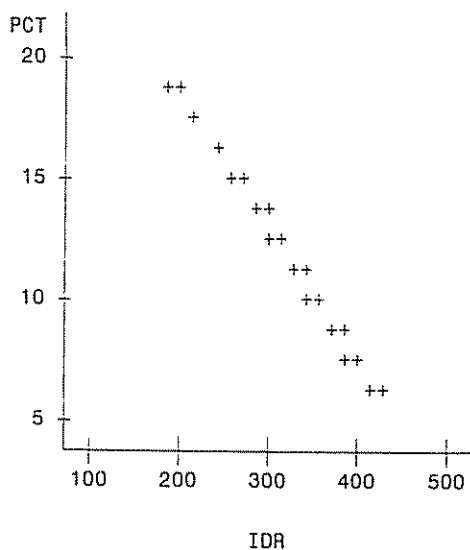
### Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	30.049383	4.54290018	6.615	0.0001
IDR	1	-0.056658	0.01392305	-4.069	0.0006

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*IDR.



Plot of PCT\*IDR. Symbol used is '+'. .



NOTE: 2 obs hidden.

Univariate Procedure

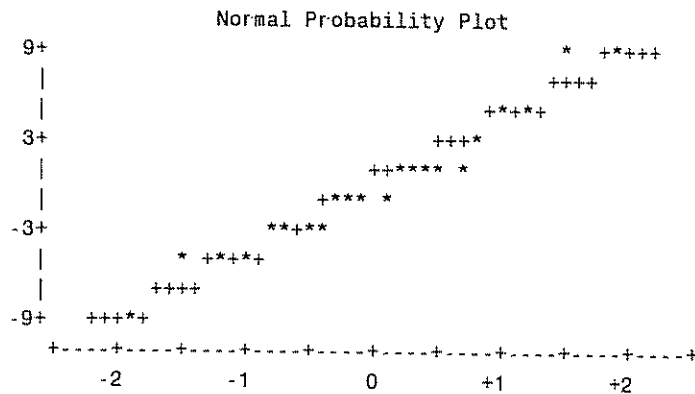
Stem Leaf	#	Boxplot
8 78	2	0
6		
4 26	2	
2 0	1	
0 32579	5	+---+---+
-0 9161	4	*-----*
-2 4042	4	+-----+
-4 780	3	
-6		
-8 4	1	

-----+-----+-----+

Univariate Procedure

Variable=RCT

Residual



The SAS System

5

Model:  $\log y = a + b \log x$   
 Dependent Variable: LBIOM

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	3.11119	3.11119	14.299	0.0012
Error	20	4.35159	0.21758		
C Total	21	7.46278			

Root MSE	0.46645	R-square	0.4169
Dep Mean	2.33525	Adj R-sq	0.3877
C.V.	19.97444		

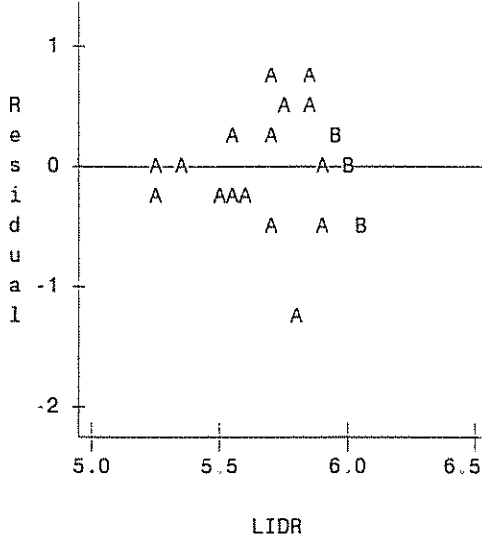


Parameter Estimates

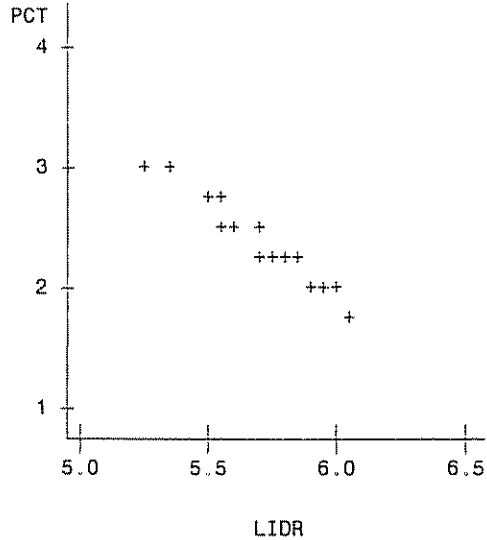
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	11.415561	2.40335565	4.750	0.0001
LIDR	1	-1.582765	0.41856403	-3.781	0.0012

The SAS System

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*LIDR.



Plot of PCT\*LIDR='+'.



NOTE: 7 obs hidden.

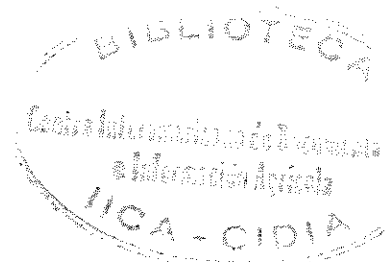
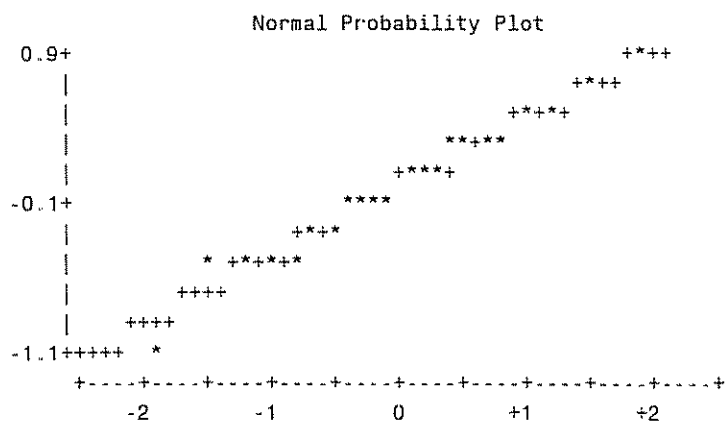
Univariate Procedure

Stem Leaf	#	Boxplot
8 5	1	
6 2	1	
4 02	2	
2 3481	4	+-----+
0 202	3	+
-0 4326	4	*-----*
-2 76	2	+-----+
-4 8441	4	
-6		
-8		
-10 4	1	0
-----+-----+		

Multiply Stem.Leaf by 10\*\* -1

Variable=RCT

Residual



Model:  $y = a + b \log x$   
 Dependent Variable: BIOM

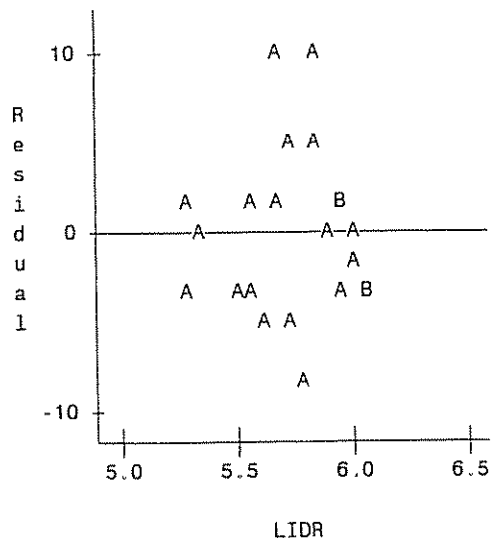
## Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	337.95221	337.95221	15.430	0.0008
Error	20	438.04779	21.90239		
C Total	21	776.00000			
Root MSE	4.68000	R-square	0.4355		
Dep Mean	12.00000	Adj R-sq	0.4073		
C.V.	38.99999				

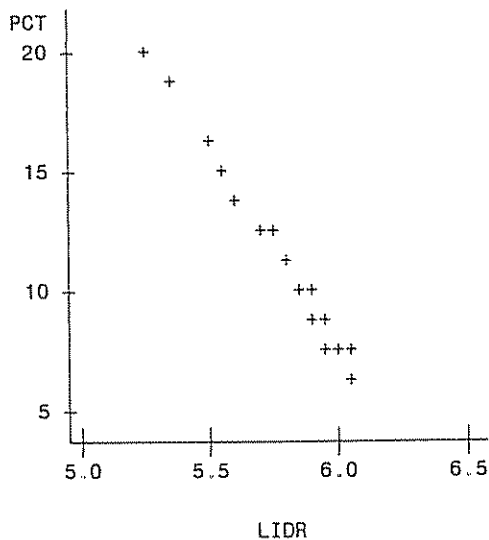
## Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	106.637797	24.11320000	4.422	0.0003
LIDR	1	-16.496074	4.19951090	-3.928	0.0008

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*LIDR.



Plot of PCT\*LIDR='+'.



NOTE: 6 obs hidden.

Univariate Procedure

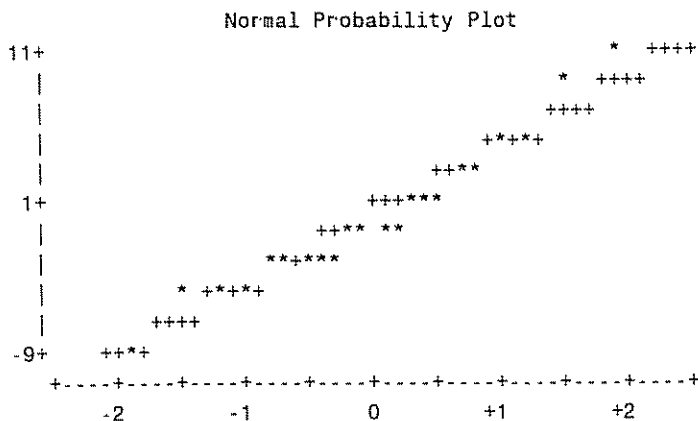
Stem Leaf	#	Boxplot
10 02	2	
8		
6		
4 50	2	
2 033	3	+-----+
0 95	2	+
-0 6541	4	*-----*
-2 10077	5	+-----+
-4 230	3	
-6		
-8 0	1	

-----+-----+-----+

Univariate Procedure

Variable=RCT

Residual



Model:  $\log y = a + b x$   
 Dependent Variable: LBIOM

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	3.29451	3.29451	15.808	0.0007
Error	20	4.16827	0.20841		
C Total	21	7.46278			

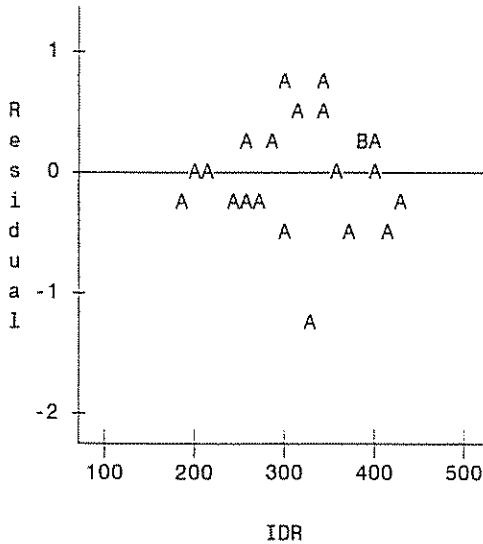
  

Root MSE	0.45652	R-square	0.4415
Dep Mean	2.33525	Adj R-sq	0.4135
C.V.	19.54919		

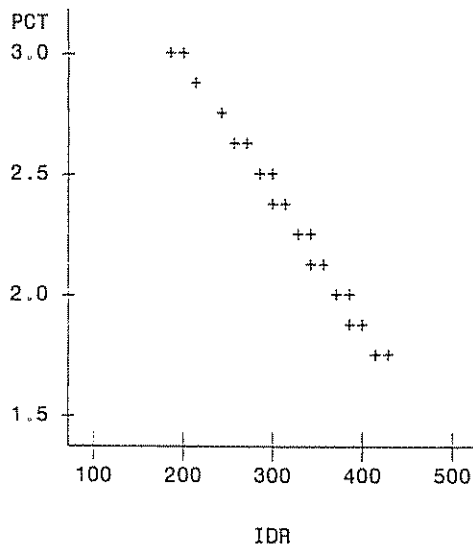
Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	4.082695	0.45015949	9.069	0.0001
IDR	1	-0.005485	0.00137965	-3.976	0.0007

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*IDR.



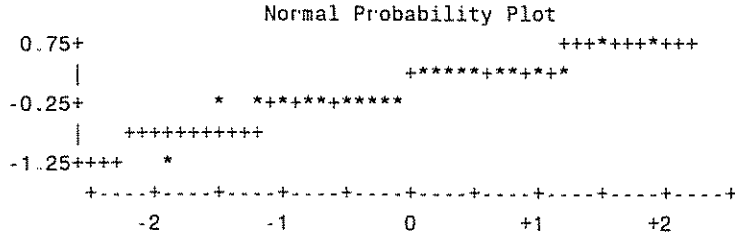
Plot of PCT\*IDR. Symbol used is '+'.



NOTE: 2 obs hidden.

Stem Leaf	#	Boxplot
0 5578	4	
0 1122233	7	+---+---
-0 444322210	9	+-----+
-0 5	1	
-1 2	1	0

-----+



Model:  $y = a b^x$

Non-Linear Least Squares Summary Statistics      Dependent Variable BIOM

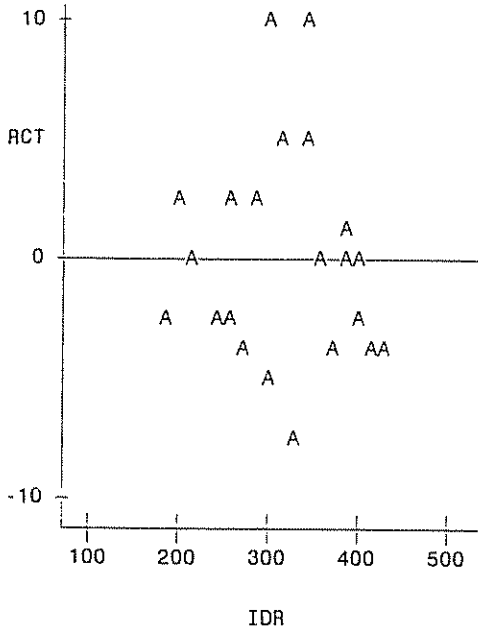
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	3499.6229092	1749.8114546
Residual	20	444.3770908	22.2188545
Uncorrected Total	22	3944.0000000	
(Corrected Total)	21	776.0000000	

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower	Upper
B	1.00428896	0.001166443	1.001855825	1.006722102
A	44.94805331	14.832035152	14.009203266	75.886903351

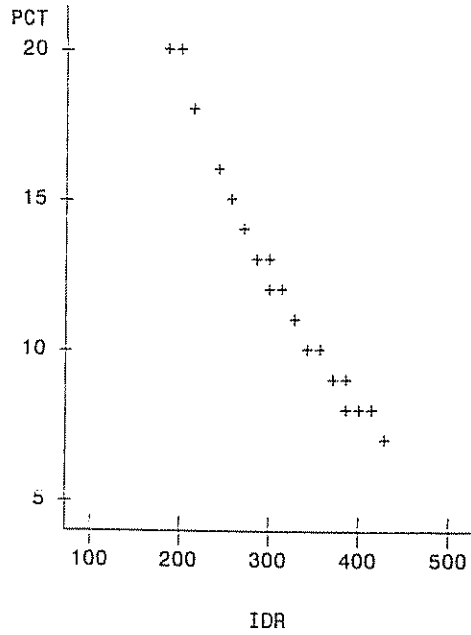
Asymptotic Correlation Matrix

Corr	B	A
B	1	0.9704086768
A	0.9704086768	1

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*IDR.



Plot of PCT\*IDR. Symbol used is '+'. Symbol used is '+'.

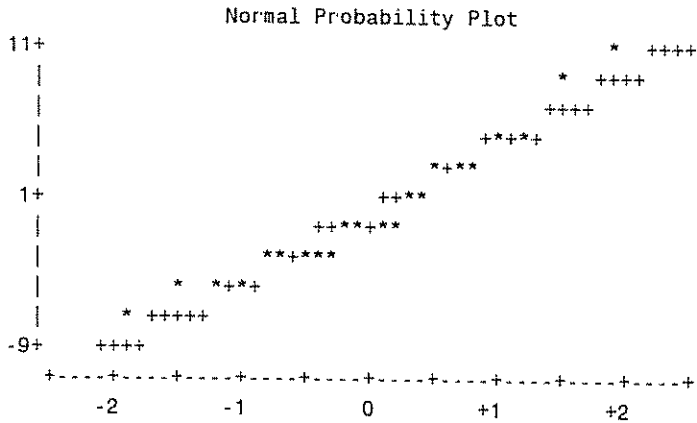


NOTE: 3 obs hidden.

Stem Leaf	#	Boxplot
10 3	1	
8 9	1	
6		
4 51	2	
2 144	3	+-----+
0 63	2	
-0 9633	4	*-+-*
-2 62986	5	+-----+
-4 122	3	
-6		
-8 0	1	
-----+-----+-----+		

Univariate Procedure

Variable=RCT



# VARIABLE FACTOR DE CUBRIMIENTO DE COPAS (CCF)

Model:  $y = a + b x$   
 Dependent Variable: BIOM

## Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	321.73828	321.73828	14.165	0.0012
Error	20	454.26172	22.71309		
C Total	21	776.00000			

Root MSE	4.76582	R-square	0.4146
Dep Mean	12.00000	Adj R-sq	0.3853
C.V.	39.71521		

## Parameter Estimates

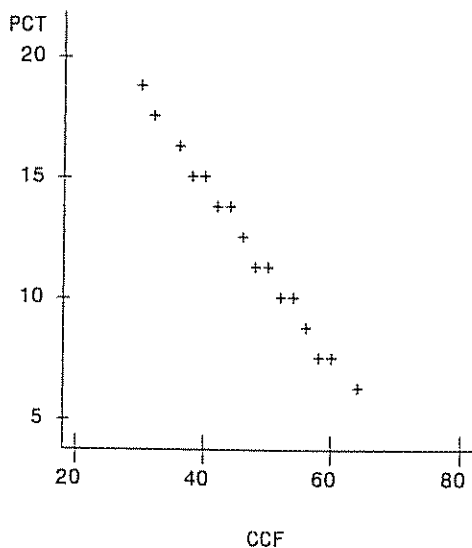
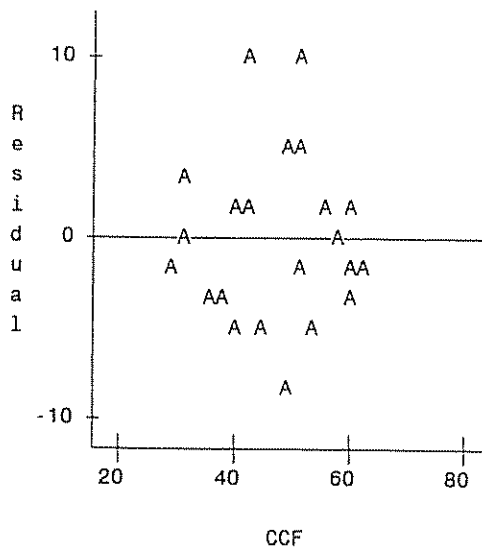
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	29.826274	4.84414953	6.157	0.0001
CCF	1	-0.380755	0.10116557	-3.764	0.0012

The SAS System

2

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*CCF.

Plot of PCT\*CCF. Symbol used is '+'.  
 Symbol used is '+'.



NOTE: 6 obs hidden.

Stem Leaf	#	Boxplot
10 0	1	
8 5	1	
6		
4 24	2	
2 46	2	+-----+
0 256	3	+
-0 884010	6	*-----*
-2 410	3	+-----+
-4 706	3	
-6		
-8 6	1	

-----+

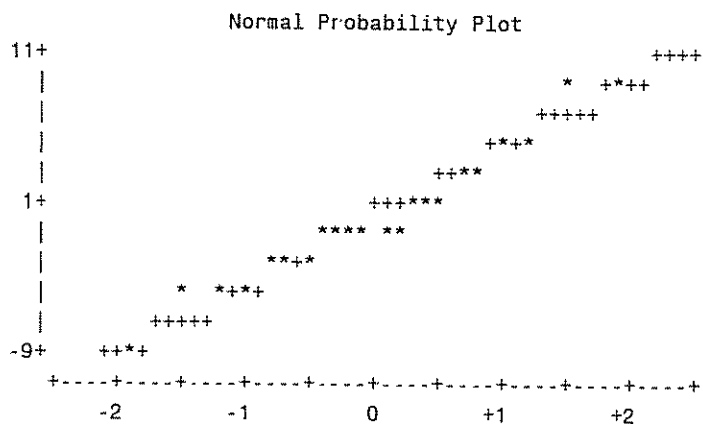
The SAS System

4

## Univariate Procedure

Variable=RCT

Residual



The SAS System

5

Model:  $\log y = a + b \log x$   
 Dependent Variable: LBIOM

## Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	2.89429	2.89429	12.671	0.0020
Error	20	4.56849	0.22842		
C Total	21	7.46278			

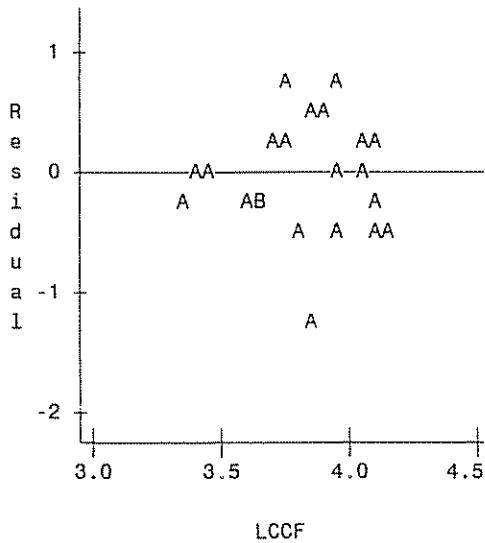
Root MSE	0.47794	R-square	0.3878
Dep Mean	2.33525	Adj R-sq	0.3572
C.V.	20.46620		



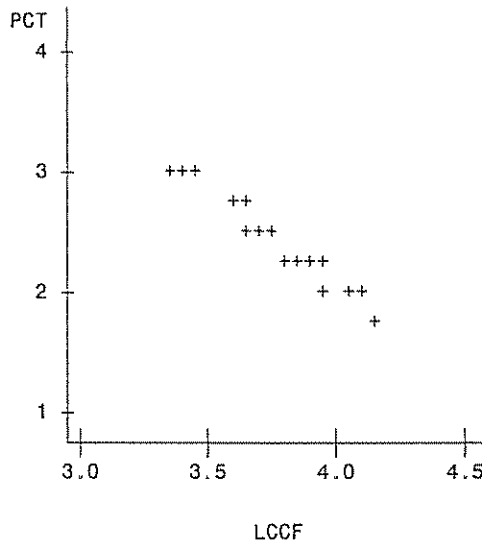
Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	8.409255	1.70941824	4.919	0.0001
LCCF	1	-1.589490	0.44653804	-3.560	0.0020

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*LCCF.



Plot of PCT\*LCCF='+'.



NOTE: 6 obs hidden.

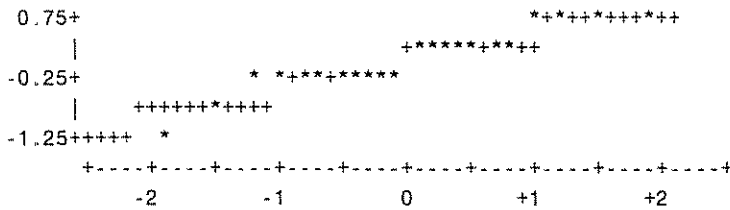
The SAS System

7

Stem Leaf	#	Boxplot
0 5679	4	
0 1112333	7	+---+--+
-0 44321111	8	+-----+
-0 55	2	
-1 2	1	0

-----+-----+

Normal Probability Plot



The SAS System

8

Model:  $y = a + b \log x$   
 Dependent Variable: BIOM

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	311.78478	311.78478	13.433	0.0015
Error	20	464.21522	23.21076		
C Total	21	776.00000			

Root MSE	4.81775	R-square	0.4018
Dep Mean	12.00000	Adj R-sq	0.3719
C.V.	40.14796		

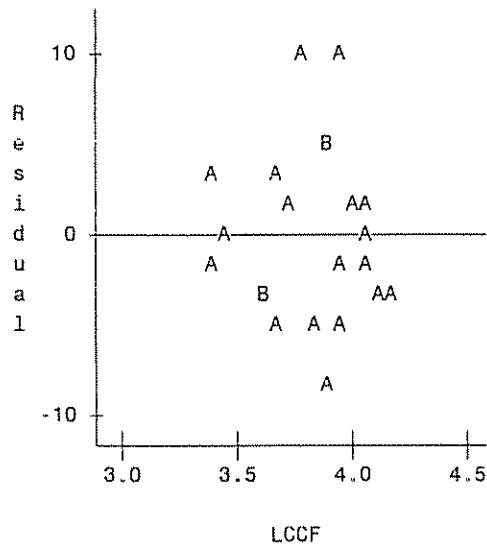
Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	75.042196	17.23143786	4.355	0.0003
LCCF	1	-16.497359	4.50123459	-3.665	0.0015

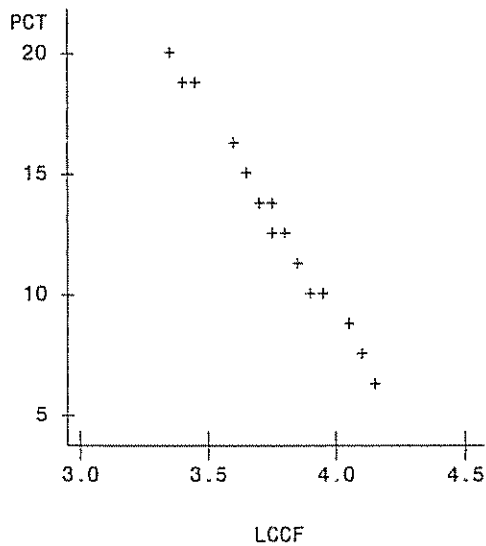
The SAS System

10

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*LCCF.



Plot of PCT\*LCCF='+'.



Stem Leaf	#	Boxplot
10 01	2	
8		
6		
4 58	2	
2 81	2	+-----+
0 246	3	+
-0 8943	4	*-----*
-2 50975	5	+-----+
-4 265	3	
-6		
-8 2	1	

-----+-----+-----+

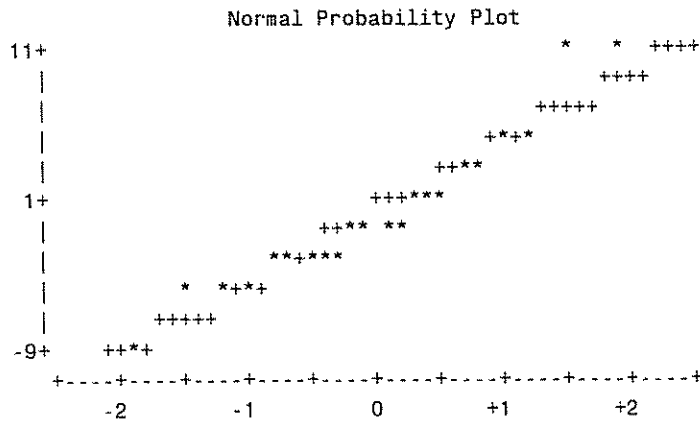
The SAS System

12

## Univariate Procedure

Variable=RCT

Residual



The SAS System

13

Model:  $\log y = a + b x$ 

Dependent Variable: LBIOM

## Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	3.02915	3.02915	13.664	0.0014
Error	20	4.43363	0.22168		
C Total	21	7.46278			

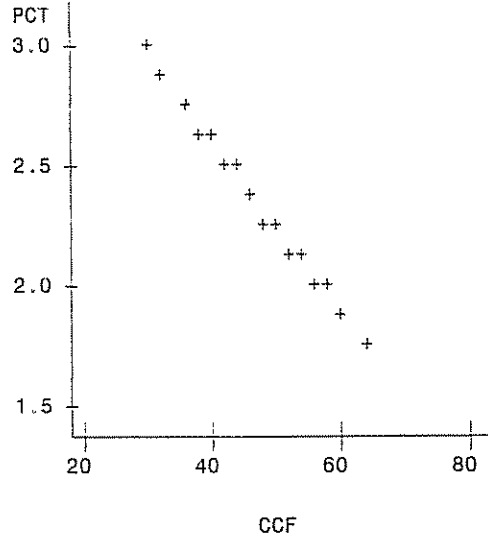
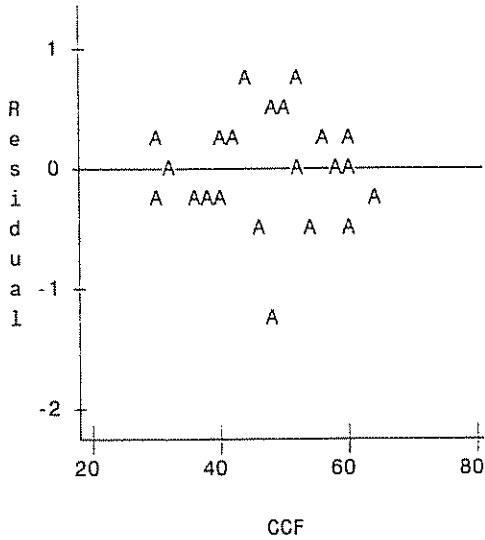
Root MSE	0.47083	R-square	0.4059
Dep Mean	2.33525	Adj R-sq	0.3762
C.V.	20.16186		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	4.064950	0.47856878	8.494	0.0001
CCF	1	-0.036945	0.00999447	-3.697	0.0014

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*CCF.

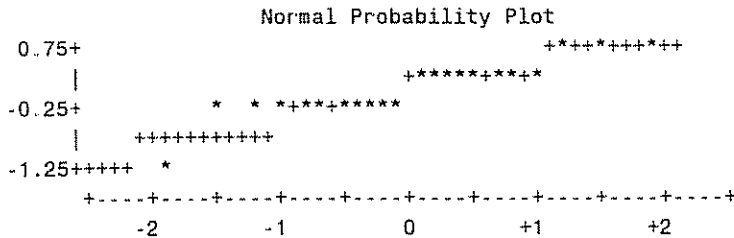
Plot of PCT\*CCF. Symbol used is '+'.



NOTE: 6 obs hidden.

Stem Leaf	#	Boxplot
0 5579	4	
0 1112233	7	+-----+
-0 4322210	7	+-----+
-0 555	3	
-1 2	1	

-----+-----+-----+



Model:  $y = a b^x$ 

Non-Linear Least Squares Summary Statistics

Dependent Variable BIOM

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	3474.5893221	1737.2946611
Residual	20	469.4106779	23.4705339
Uncorrected Total	22	3944.0000000	

(Corrected Total) 21 776.0000000  
The SAS System

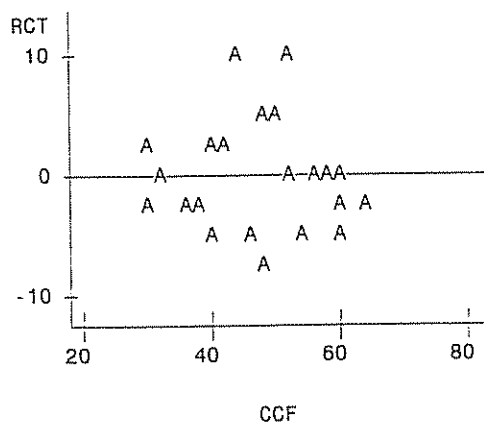
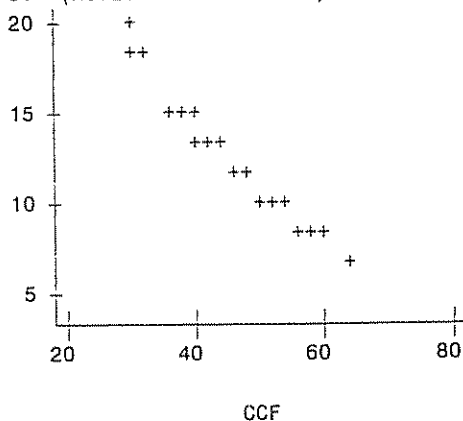
24

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower	Upper
B	1.02969193	0.008729945	1.011481717	1.047902136
A	45.32316692	16.162748078	11.608519268	79.037814562

Asymptotic Correlation Matrix

Corr	B	A
B	1	0.9730793824
A	0.9730793824	1

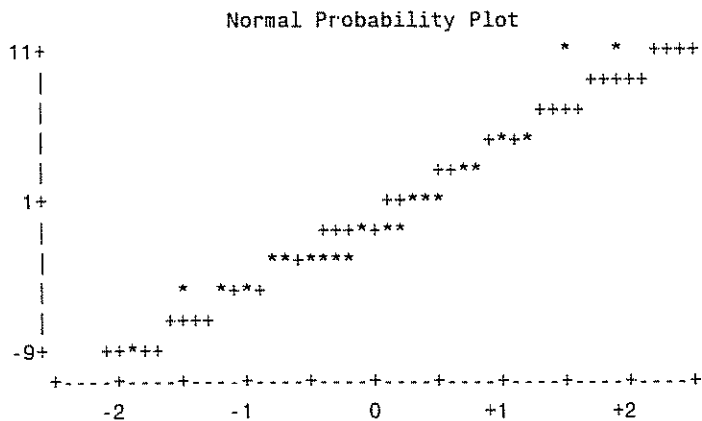
A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*CCF.

Plot of PCT\*CCF. Symbol used is '+'.  
PCT (NOTE: 4 obs hidden.)

Stem Leaf	#	Boxplot
10 11	2	
8		
6		
4 59	2	
2 92	2	+-----+
0 927	3	
-0 963	3	*-----*
-2 829841	6	+-----+
-4 165	3	
-6		
-8 1	1	
-----+-----+-----+-----+		

## Univariate Procedure

Variable=RCT



# VARIABLE INDICE DE ESPACIAMIENTO RELATIVO (RS)

Model:  $y = a + b x$   
 Dependent Variable: BIOM

## Analysis of Variance

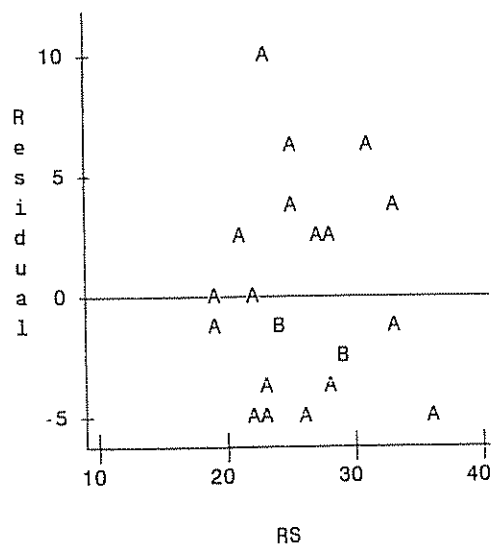
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	399.08573	399.08573	21.176	0.0002
Error	20	376.91427	18.84571		
C Total	21	776.00000			

Root MSE	4.34116	R-square	0.5143
Dep Mean	12.00000	Adj R-sq	0.4900
C.V.	36.17637		

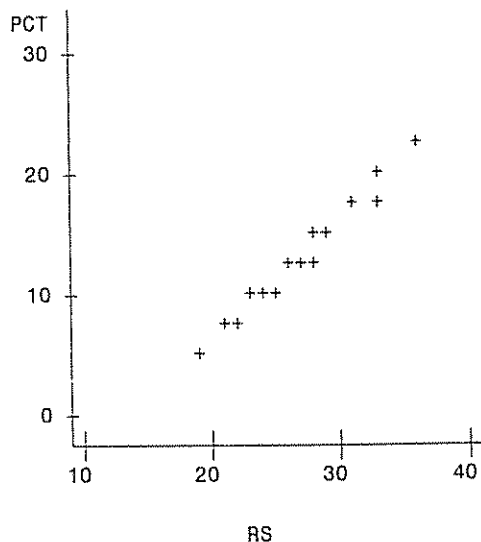
## Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	-13.607655	5.64116007	-2.412	0.0256
RS	1	0.993245	0.21583877	4.602	0.0002

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*RS.



Plot of PCT\*RS. Symbol used is '+'.

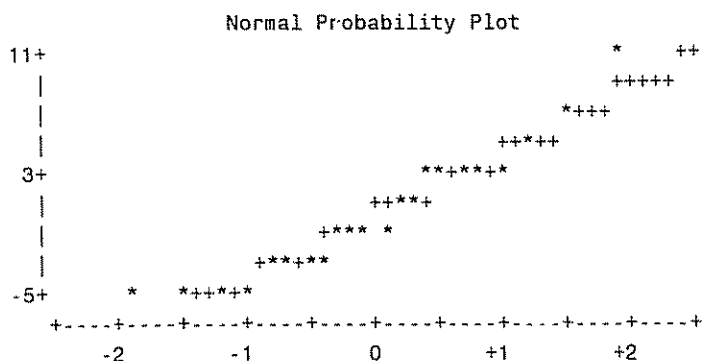


NOTE: 7 obs hidden.

Stem Leaf	#	Boxplot
10 5	1	
8		
6 2	1	
4 09	2	
2 1683	4	+-----+
0 36	2	+
-0 8758	4	*-----*
-2 8711	4	+-----+
-4 2987	4	
-----+-----+-----+-----+		

Variable=RCT

Residual



The SAS System

5

Model: log y = a + b log x  
 Dependent Variable: LBIOM

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	3.89778	3.89778	21.867	0.0001
Error	20	3.56500	0.17825		
C Total	21	7.46278			

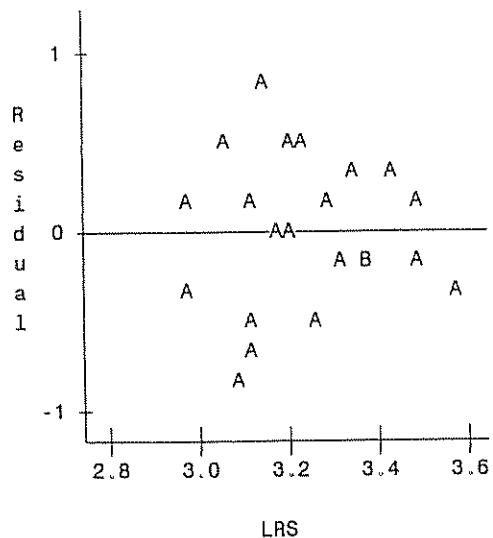
Root MSE	0.42220	R-square	0.5223
Dep Mean	2.33525	Adj R-sq	0.4984
C.V.	18.07926		

Parameter Estimates

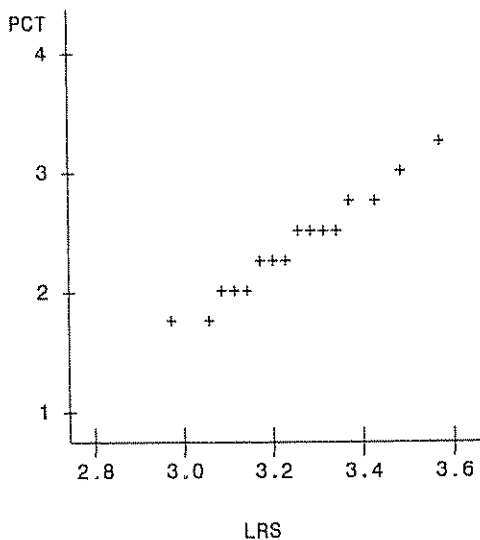
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	-6.012383	1.78739769	-3.364	0.0031
LRS	1	2.579447	0.55161092	4.676	0.0001



A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*LRS.



Plot of PCT\*LRS='+'.



Stem Leaf	#	Boxplot
8 9	1	
6		
4 445	3	
2 1552	4	+-----+
0 26	2	+
-0 80862	5	*-----*
-2 653	3	+-----+
-4 52	2	
-6 4	1	
-8 3	1	

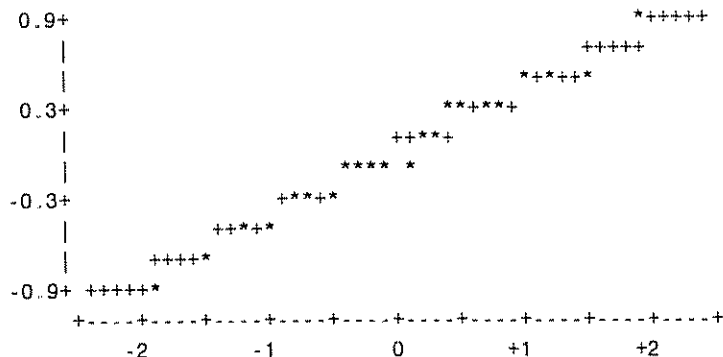
-----+-----+-----+-----+  
 Multiply Stem.Leaf by 10\*\*-1

Univariate Procedure

Variable=RCT

Residual

Normal Probability Plot



Model:  $y = a + b \log x$   
 Dependent Variable: BIOM

## Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	407.35447	407.35447	22.100	0.0001
Error	20	368.64553	18.43228		
C Total	21	776.00000			

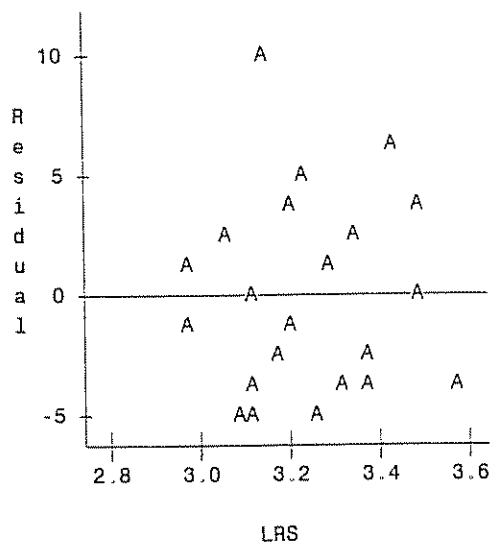
  

Root MSE	4.29328	R-square	0.5249
Dep Mean	12.00000	Adj R-sq	0.5012
C.V.	35.77736		

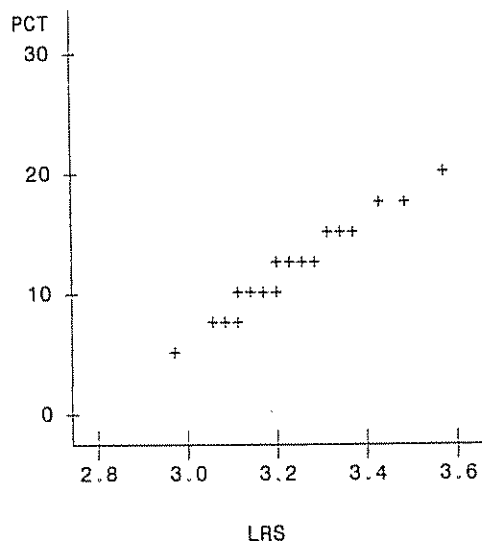
## Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	-73.337740	18.17589443	-4.035	0.0006
LRS	1	26.369640	5.60928436	4.701	0.0001

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*LRS.



Plot of PCT\*LRS='+'.

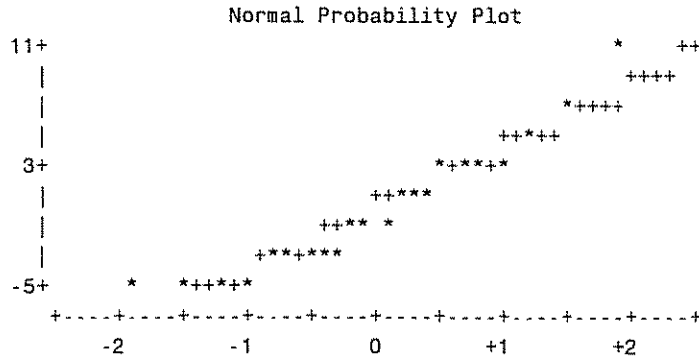


Stem Leaf	#	Boxplot
10 3	1	
8		
6 1	1	
4 6	1	
2 5857	4	+-----+
0 617	3	+
-0 895	3	*-----*
-2 98440	5	+-----+
-4 6981	4	
-----+		

The SAS System  
Univariate Procedure

Variable=RCT

Residual



Model:  $\log y = a + b x$   
Dependent Variable: LBIOM

Analysis of Variance

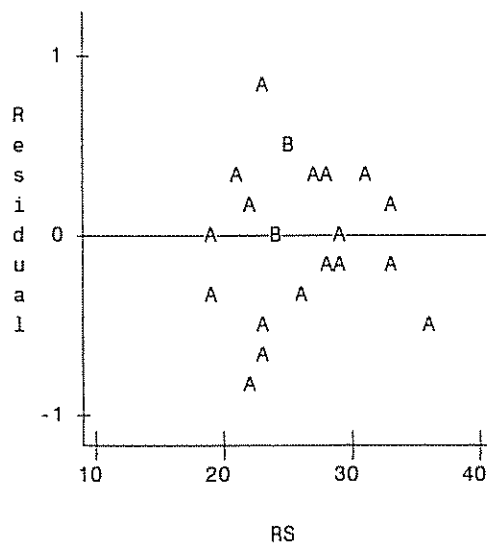
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	3.74249	3.74249	20.119	0.0002
Error	20	3.72030	0.18601		
C Total	21	7.46278			

Root MSE	0.43129	R-square	0.5015
Dep Mean	2.33525	Adj R-sq	0.4766
C.V.	18.46883		

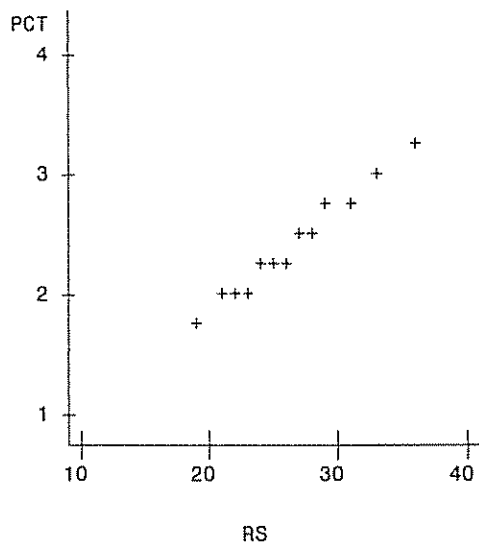
Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	-0.144546	0.56044865	-0.258	0.7991
RS	1	0.096184	0.02144356	4.485	0.0002

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*RS.



Plot of PCT\*RS. Symbol used is '+'.



NOTE: 9 obs hidden.

#### Univariate Procedure

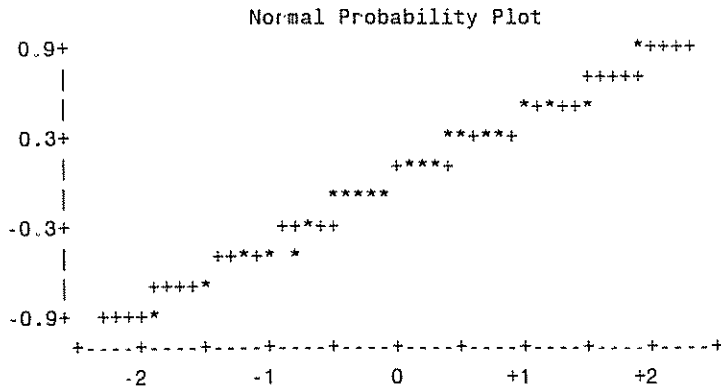
Stem Leaf	#	Boxplot
8 0	1	
6		
4 178	3	
2 1884	4	+-----+
0 071	3	+
-0 5075	4	*-----*
-2 40	2	+-----+
-4 421	3	
-6 4	1	
-8 4	1	
-----+		

Multiply Stem.Leaf by 10\*\*<sup>-1</sup>

## Univariate Procedure

Variable=RCT

Residual



The SAS System

Model:  $y = a b^x$ 

Non-Linear Least Squares Summary Statistics

Dependent Variable BIOM

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	3531.9315045	1765.9657522
Residual	20	412.0684955	20.6034248
Uncorrected Total	22	3944.0000000	
(Corrected Total)	21	776.0000000	

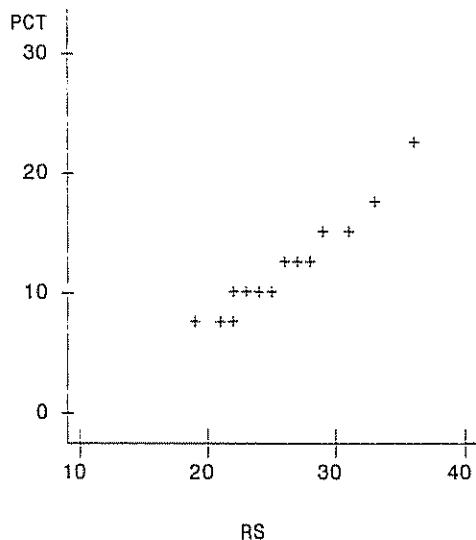
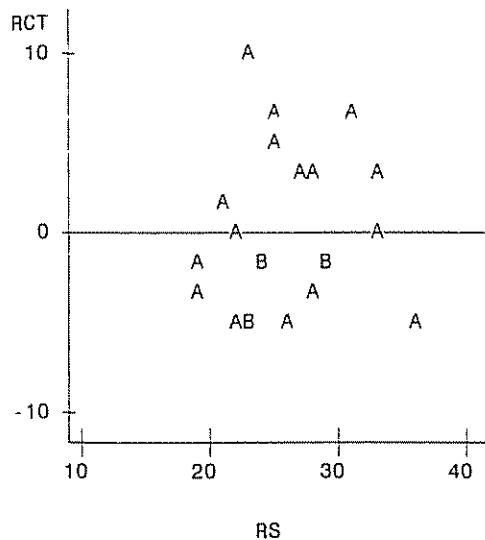
Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower	Upper
B	0.933568685	0.01555085583	0.90113041231	0.9660069571
A	1.960593381	0.94507698150	-.01078780183	3.9319745647

## Asymptotic Correlation Matrix

Corr	B	A
B	1	0.9873674898
A	0.9873674898	1

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*RS.

Plot of PCT\*RS. Symbol used is '+'.



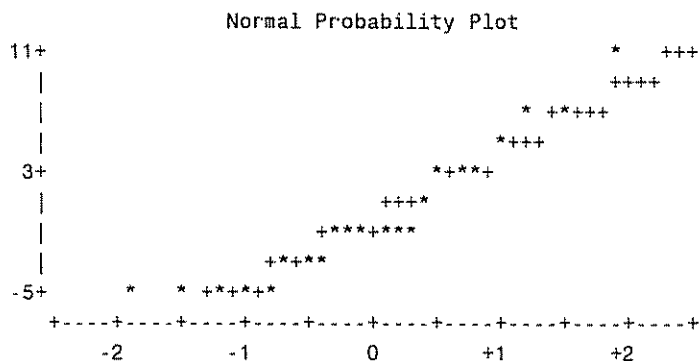
NOTE: 8 obs hidden.

Univariate Procedure

Stem Leaf	#	Boxplot
10 3	1	
8		
6 19	2	
4 2	1	
2 767	3	+-----+
0 6	1	
-0 944340	6	*-+---*
-2 403	3	+-----+
-4 75373	5	
-----+-----+-----+		

Univariate Procedure

Variable=RCT



# VARIABLE BIOMASA FOLIAR (BF)

Model:  $y = a + b x$   
 Dependent Variable: BIOM

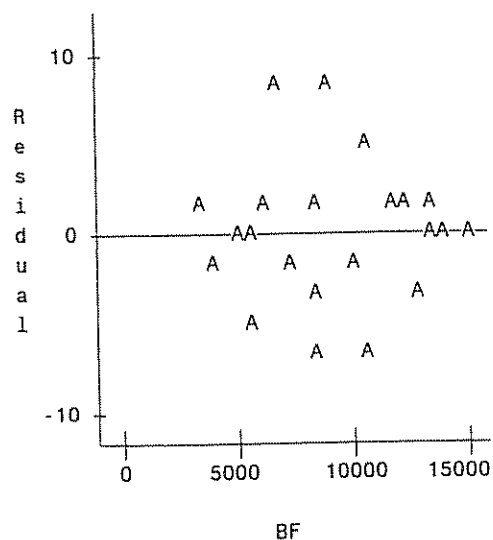
## Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	482.19912	482.19912	32.825	0.0001
Error	20	293.80088	14.69004		
C Total	21	776.00000			
Root MSE		3.83276	R-square	0.6214	
Dep Mean		12.00000	Adj R-sq	0.6025	
C.V.		31.93966			

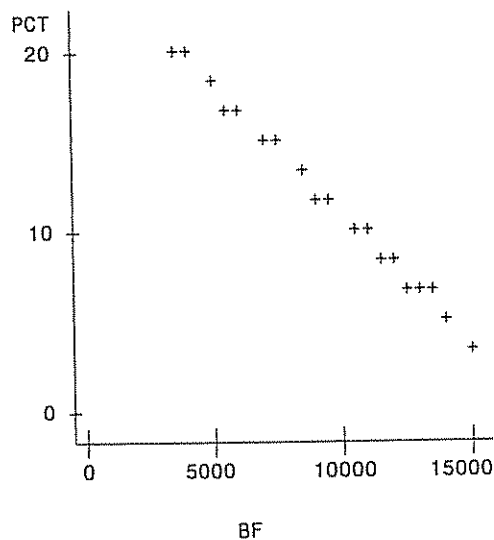
## Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	24.821622	2.38242316	10.419	0.0001
BF	1	-0.001400	0.00024436	-5.729	0.0001

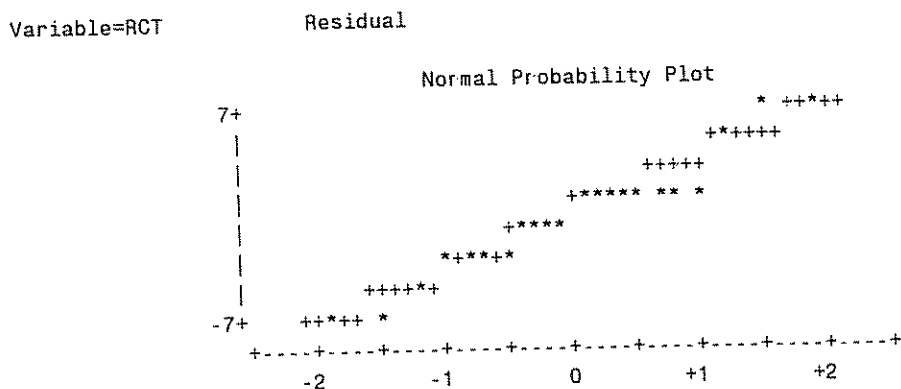
A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*BF.



Plot of PCT\*BF='+'.



Stem Leaf	#	Boxplot
6 99		2
4 7		1
2 0		1
0 2491568		7
-0 6400		4
-2 0832		4
-4 8		1
-6 70		2



The SAS System

5

Model:  $\log y = a + b \log x$   
 Dependent Variable: LBIOM

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	4.13597	4.13597	24.864	0.0001
Error	20	3.32681	0.16634		
C Total	21	7.46278			

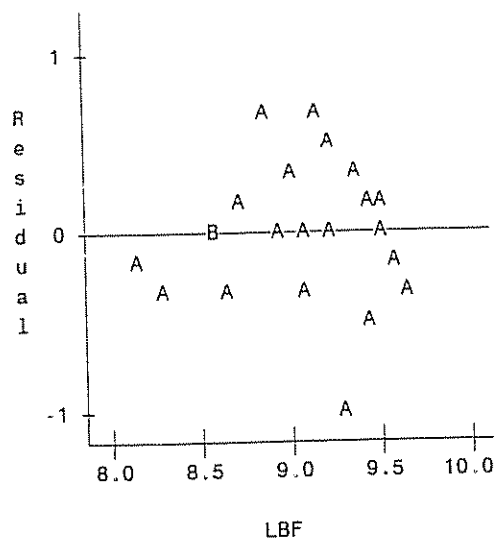
Root MSE	0.40785	R-square	0.5542
Dep Mean	2.33525	Adj R-sq	0.5319
C.V.	17.46485		

Parameter Estimates

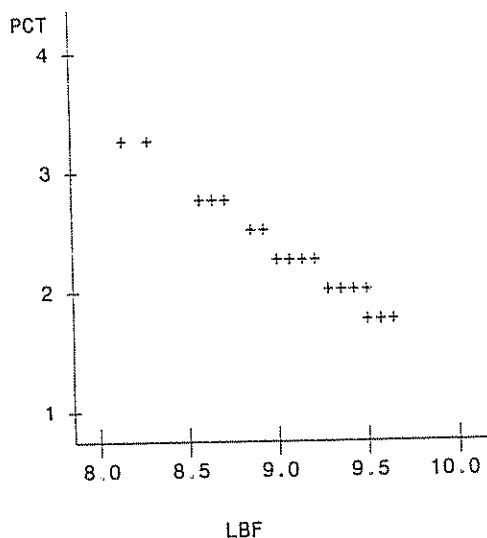
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	11.909869	1.92210344	6.196	0.0001
LBF	1	-1.058493	0.21227494	-4.986	0.0001



A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*LBF.



Plot of PCT\*LBF='+'.



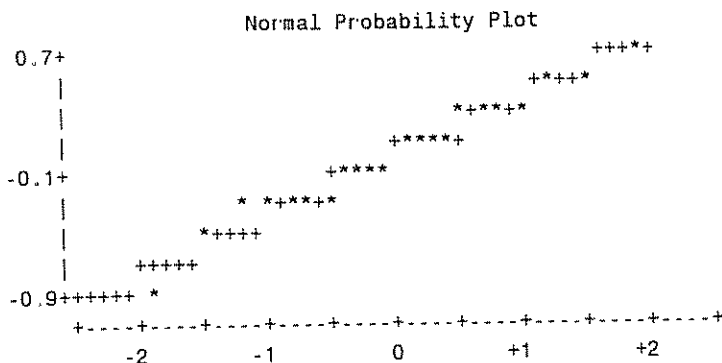
NOTE: 4 obs hidden.

Stem Leaf	#	Boxplot
6 3	1	
4 89	2	
2 0415	4	+-----+
0 1377	4	*---*---
-0 9620	4	
-2 4161	4	+-----+
-4 20	2	
-6		
-8 8	1	

-----+-----+-----+-----+  
 Multiply Stem.Leaf by 10\*\*1

Variable=RCT

Residual



Model:  $y = a + b \log x$   
 Dependent Variable: BIOM

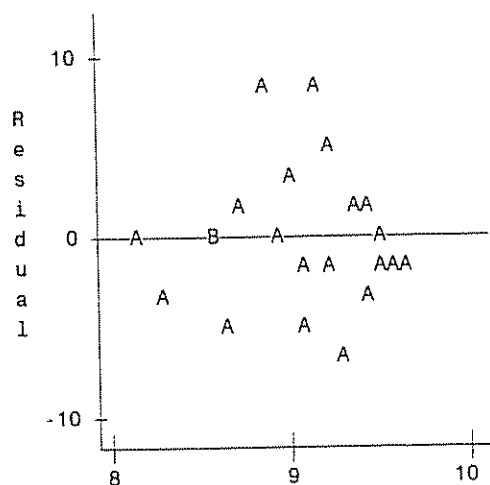
## Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	461.11869	461.11869	29.288	0.0001
Error	20	314.88131	15.74407		
C Total	21	776.00000			
Root MSE	3.96788	R-square	0.5942		
Dep Mean	12.00000	Adj R-sq	0.5739		
C.V.	33.06566				

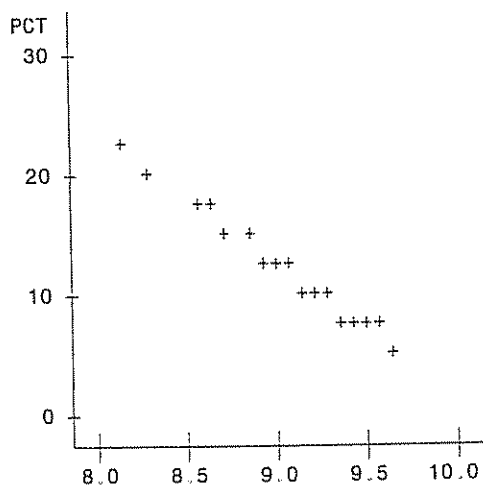
## Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	113.097176	18.69975685	6.048	0.0001
LBF	1	-11.176501	2.06518011	-5.412	0.0001

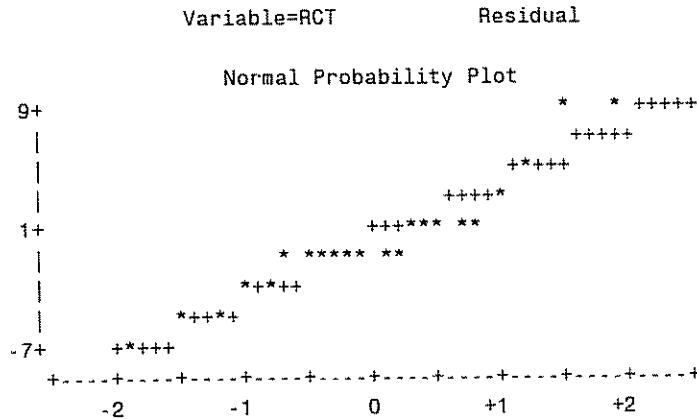
A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*LBF.



Plot of PCT\*LBF='+'.



Stem Leaf	#	Boxplot
8 78	2	0
6		
4 2	1	
2 8	1	
0 58956	5	+---+---+
-0 86439732	8	*-----*
-2 55	2	
-4 13	2	
-6 3	1	
-----+-----+-----+		



Model:  $\log y = a + b x$   
 Dependent Variable: LBIOM

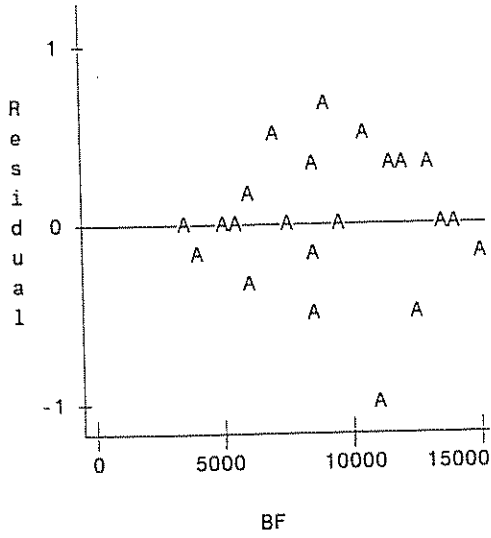
#### Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	4.51757	4.51757	30.677	0.0001
Error	20	2.94522	0.14726		
C Total	21	7.46278			
Root MSE	0.38375	R-square	0.6053		
Dep Mean	2.33525	Adj R-sq	0.5856		
C.V.	16.43271				

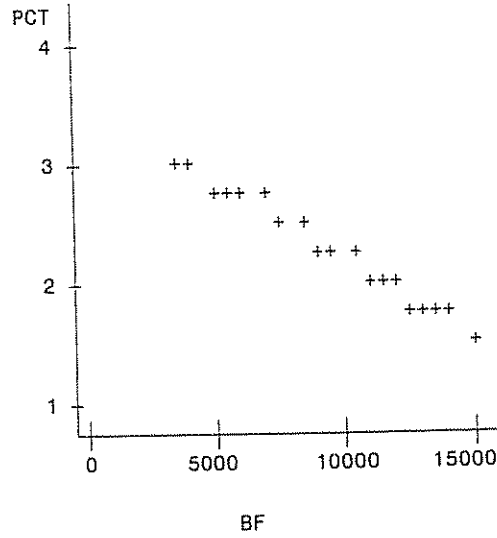
#### Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	3.576284	0.23853435	14.993	0.0001
BF	1	-0.000136	0.00002447	-5.539	0.0001

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*BF.



Plot of PCT\*BF='+'.



NOTE: 3 obs hidden.

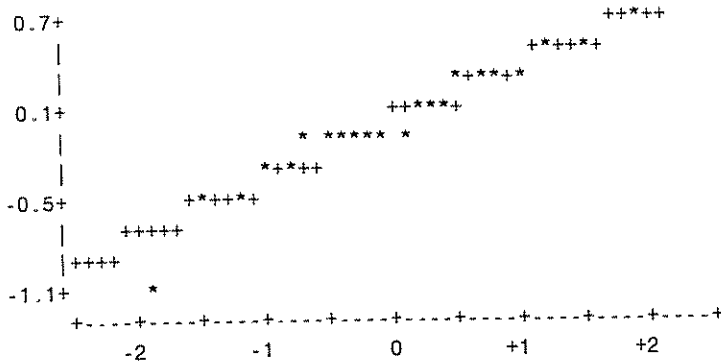
Stem Leaf	#	Boxplot
6 5	1	
4 03	2	
2 6672	4	+-----+
0 230	3	+
-0 5165322	7	*-----*
-2 11	2	
-4 96	2	
-6		
-8		
-10 2	1	0

Multiply Stem.Leaf by 10\*\*-.1

Variable=RCT

Residual

Normal Probability Plot



Model:  $y = a \cdot b^x$

Non-Linear Least Squares Summary Statistics      Dependent Variable BIOM

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	3492.1581662	1746.0790831
Residual	20	451.8418338	22.5920917
Uncorrected Total	22	3944.0000000	
(Corrected Total)	21	776.0000000	

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower	Upper
B	1.00139306	0.000385283	1.000589384	1.002196746
A	45.45316727	15.437085979	13.252212829	77.654121708

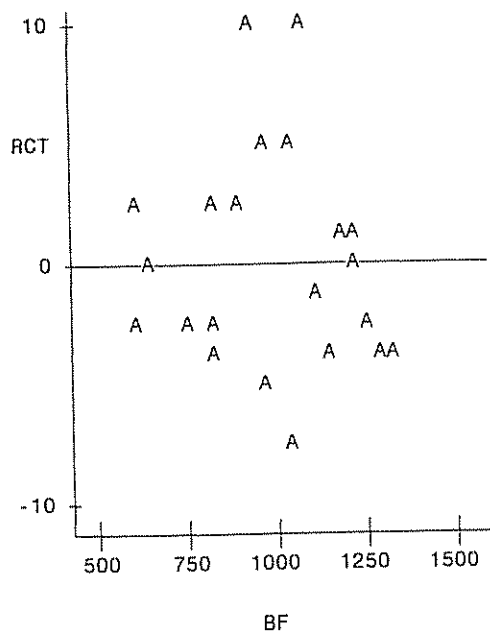
Asymptotic Correlation Matrix

Corr	B	A
B	1	0.9715519856
A	0.9715519856	1

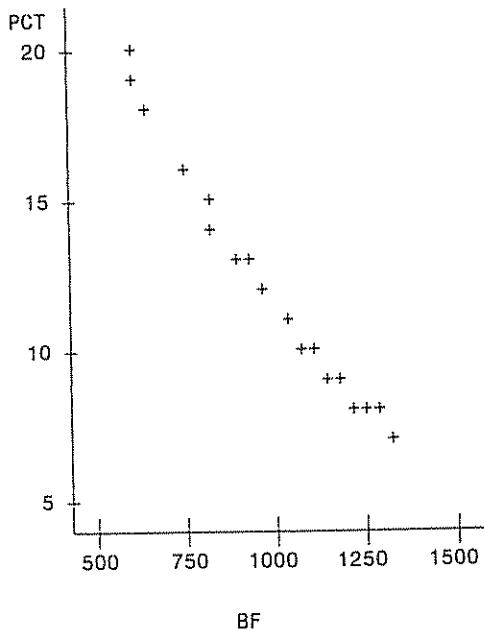
The SAS System

2

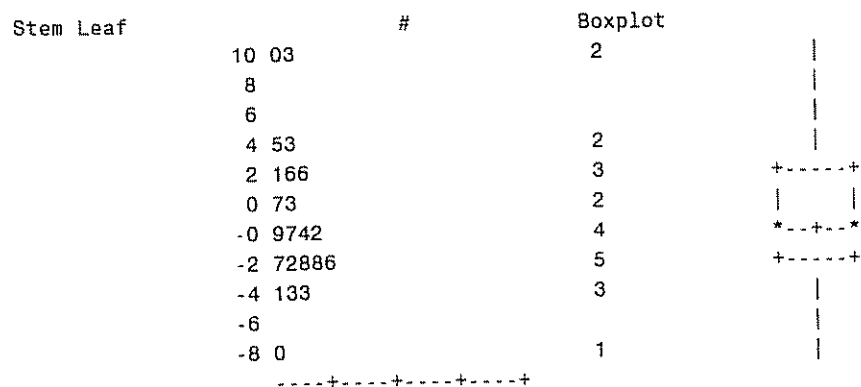
A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*BF.



Plot of PCT\*BF='+'.

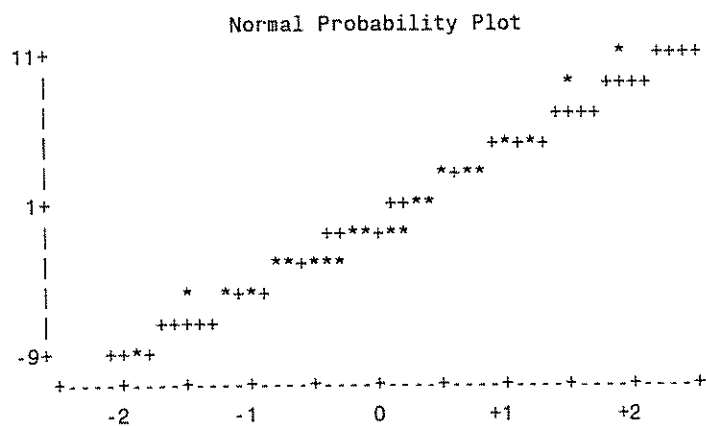


NOTE: 4 obs hidden.



Univariate Procedure

Variable=RCT



# VARIABLES GANANCIA DE PESO VIVO Y VOLUMEN DE MADERA

Model:  $y = a + b x$

Dependent Variable: GAN

## Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	188619.31730	188619.31730	30.977	0.0001
Error	20	121780.68270	6089.03414		
C Total	21	310400.00000			

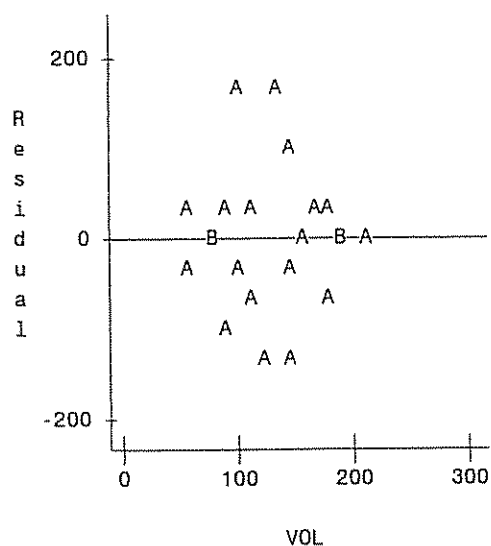
  

Root MSE	78.03226	R-square	0.6077
Dep Mean	240.00000	Adj R-sq	0.5880
C.V.	32.51344		

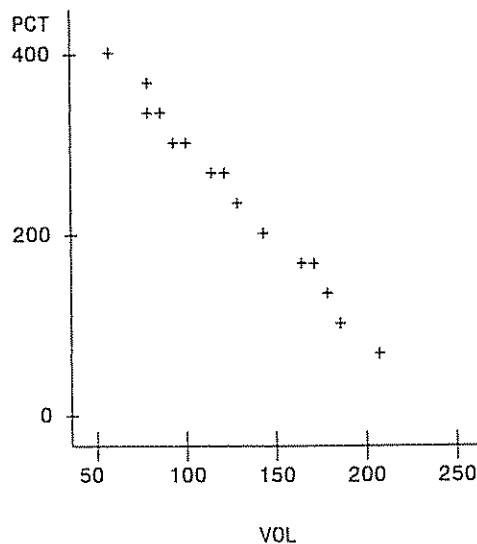
## Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	510.246626	51.32682642	9.941	0.0001
VOL	1	-2.106067	0.37840181	-5.566	0.0001

A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*VOL.



Plot of PCT\*VOL. Symbol used is '+'.



NOTE: 7 obs hidden.

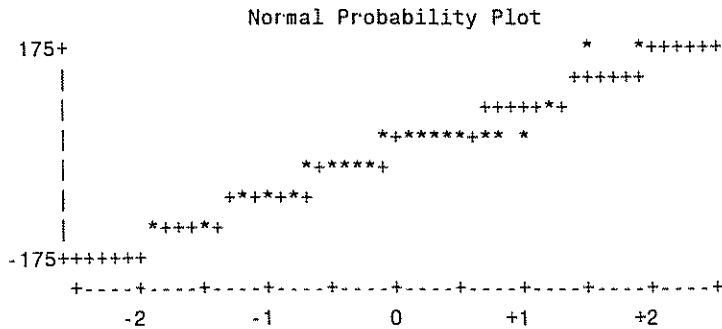
```

Stem Leaf          #          Boxplot
  1 66             2           0
  1
  0 559            3           |
  0 1111233        7          +---+---+
 -0 4310           4           |       |
 -0 9765           4          +-----+
 -1 2              1           |
 -1 5              1           |
  -----+-----+-----+
Multiply Stem.Leaf by 10**+2
    
```

Univariate Procedure

Variable=RCT

Residual



Model:  $\log y = a + b x$   
 Dependent Variable: LGAN

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	4.37956	4.37956	28.409	0.0001
Error	20	3.08323	0.15416		
C Total	21	7.46278			

Root MSE	0.39263	R-square	0.5869
Dep Mean	5.33099	Adj R-sq	0.5662
C.V.	7.36512		

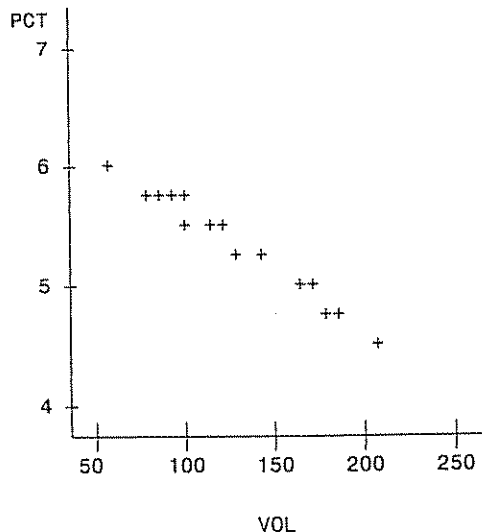
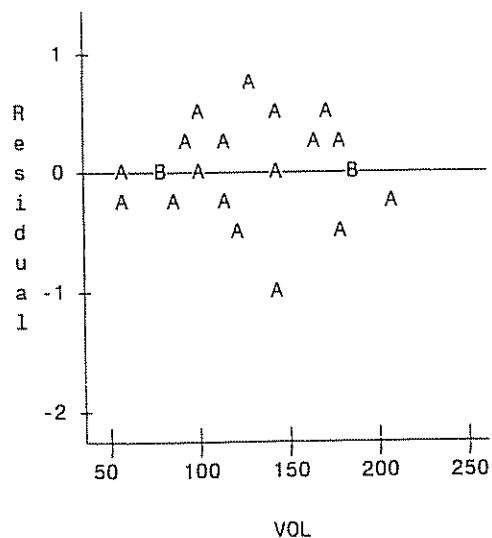
Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob >  T
INTERCEP	1	6.633201	0.25826048	25.684	0.0001
VOL	1	-0.010148	0.00190400	-5.330	0.0001



A=1, B=2, etc. Plot of RCT\*VOL.

Plot of PCT\*VOL. Symbol used is '+'.



NOTE: 7 obs hidden.

Stem Leaf	#	Boxplot
6 6	1	
4 03	2	
2 169	3	+-----+
0 111639	6	*-+--*
-0 65240	5	+-----+
-2 91	2	
-4 74	2	
-6		
-8		
-10 9	1	0

-----+-----+-----+-----+

Multiply Stem.Leaf by 10\*\*(-1)

Univariate Procedure

Variable=RCT

Residual

