

SD397

T4V35  
e.2

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES  
CENTRO DE ESTUDIOS FORESTALES DE POSTGRADO

VARIACIONES EN EL CONTENIDO DE NUTRIENTES CON LA  
EDAD FOLIAR EN UNA PLANTACION DE TECA  
(*Tectona grandis* L.) EN DOS SITIOS DE DRENAJE  
CONTRASTANTE DE LA RESERVA FORESTAL DEL TICOPORO

José Godofredo Valero L.  
Profesor Guía: Rubén Hernández Gil

Trabajo de grado presentado  
como requisito parcial para  
optar al título de Magister  
Scientiae en Manejo de Bosques

SERVICIOS BIBLIOTECARIOS GENERALES  
"TULLIO FERRÉS CORDERO"  
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

Junio de 1993  
Mérida, Venezuela

*La originalidad no consiste  
en decir cosas nuevas, sino  
en decirlos como nunca habían  
sido dichas.*

*Goethe*  
(1749 - 1832)

**TABLA DE CONTENIDO**

	pág.
Resumen .....	vi
Lista de cuadros .....	vii
Lista de figuras .....	viii
Lista de anexos .....	x
Introducción .....	1
Hipótesis .....	5
Objetivos .....	6
Marco teórico .....	7
La nutrición mineral .....	7
El crecimiento foliar .....	9
El diagnóstico foliar .....	12
Efecto del drenaje sobre el crecimiento de la planta .....	15
Características generales del área .....	21
Ubicación, extensión y límites .....	21
Precipitación .....	21
Temperatura .....	24
Clasificación climática .....	25
Geología .....	25
Hidrología .....	26
Geomorfología .....	26
Suelos .....	27
Vegetación .....	28
Características de la plantación .....	30
El vuelo forestal .....	30

El suelo .....	33
<b>Materiales y métodos .....</b>	<b>37</b>
Obtención de las muestras .....	37
Análisis de elementos .....	37
Determinación de la edad foliar .....	38
Procesamiento estadístico .....	39
<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>41</b>
Crecimiento de la teca en sitios contrastantes de suelos .....	41
El crecimiento foliar en suelos con drenaje moderado y deficiente .....	45
Variación de los contenidos de nutrientes con la edad en suelos con drenaje moderado y deficiente ..	56
Efecto sinérgico .....	69
Estado nutricional de las plantaciones .....	73
<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>75</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>81</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>88</b>

## RESUMEN

El siguiente trabajo trata de determinar la edad relativa foliar en brotes de *Tectona grandis* L. considerando los cambios de tamaño durante el desarrollo y, probar que la edad foliar relativa puede ser definida en términos de plastocronos. Además se busca determinar cómo varía el contenido de N, P, K, Ca, Mg y Fe con la edad foliar y cómo estos cambios son afectados por las condiciones de drenaje. Por último, se quiere caracterizar el estado nutricional de plantas que crecen en condiciones de drenaje moderado y deficiente.

En una plantación de *Tectona grandis* de 14 años de edad se tomaron ramas de la parte superior de la copa, las hojas fueron medidas (longitud, ancho y área) y enumeradas tomando en cuenta el nudo que ocupaban. Se determinó la edad relativa utilizando el método de los índices plastocrónicos, tomando como valor de referencia los 15 cm. Luego fueron secadas en estufa a 65 °C, pesadas, trituradas y tamizadas con malla 20. La extracción de los elementos se hizo por digestión sulfúrica para el N y nítrico perclórica para el resto de los elementos. La determinación del N se hizo por el método Kjeldahl, el K, Ca, Mg y Fe por fotometría de absorción atómica y el fósforo por colorimetría usando el método del molibdato de amonio.

La base de datos fue creada con Dbase III, los análisis estadísticos se realizaron con el SPSS/PC+ y los gráficos con el Statgraphics. Se probaron once modelos de regresión, siendo el IPF la variable independiente y la longitud junto con los nutrientes, las variables dependientes.

El índice plastocrónico foliar resulta apropiado para estimar la edad relativa de las hojas de teca, las ecuaciones obtenidas resultaron de gran valor práctico.

Los contenidos de N, P y K presentan un gradiente de concentración que disminuye a medida que se incrementa la edad foliar, estos elementos presentan una gran movilidad posiblemente hacia las zonas de crecimiento meristemático. En cambio, el Ca, Mg y Fe no mostraron ningún tipo de gradiente, al parecer estos elementos son constituyentes estructurales de la planta.

La concentración de fósforo foliar resulta baja para el sitio II y normal para el sitio I, el nitrógeno y el hierro se encuentra en condiciones de deficiencias para ambos sitios, mientras que, el potasio y el magnesio presentan concentraciones normales en los dos sitios. En cambio, el calcio se encuentra en concentraciones normales para el sitio II y por encima de lo normal para el sitio I.

## LISTA DE CUADROS

	pág.
1.- Totales anuales, variabilidad intermensual e interanual y distribución porcentual mensual de la pluviosidad en la estación climatológica Michay y Quiú .....	23
2.- Caracterización del vuelo de teca, plantación del año 1978 .....	32
3.- Caracterización de los suelos en la plantación del año 1978 .....	34
4.- Resultados estadísticos para el sitio I .....	42
5.- Resultados estadísticos para el sitio II .....	43
6.- Prueba de la t-Student para los dos sitios ....	44
7.- Matriz de correlación para el sitio I .....	46
8.- Matriz de correlación para el sitio II .....	47
9.- Resultados del análisis de regresión para los dos sitios .....	51

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
1.- Ubicación de la Unidad II de la Reserva Forestal de Ticoporo .....	22
2.- Ubicación del área de estudio .....	31
3.- Longitud de las hojas con el índice plastocrónico foliar para el sitio I .....	49
4.- Longitud de las hojas con el índice plastocrónico foliar para el sitio II .....	50
5.- Variación en longitud de la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio I y II.....	53
6.- Variación en longitud y tasa instantánea de cambio en la hoja con la edad relativa (IPF), para el sitio I .....	54
7.- Variación en longitud y tasa instantánea de cambio en la hoja con la edad relativa (IPF), para el sitio II .....	55
8.- Contenido de fósforo en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio I .....	58
9.- Contenido de fósforo en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio II .....	59
10.- Variación en el contenido de fósforo en la hoja con la edad relativa (IPF) para el sitio I y II .....	61
11.- Tasa instantánea de cambio del contenido de fósforo en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio I y II .....	62
12.- Contenido de nitrógeno en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio II ..	64
13.- Variación en el contenido de nitrógeno y tasa instantánea de cambio de la hoja con la edad relativa (IPF), en el sitio II .....	65
14.- Contenido de potasio en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio I .....	66
15.- Variación en el contenido de potasio y tasa instantánea de cambio de la hoja con la edad relativa (IPF), en el sitio I .....	67

16.- Contenido de fósforo contra el contenido de potasio en la hoja, en el sitio I .....	71
17.- Contenido de fósforo contra el contenido de nitrógeno en la hoja, en el sitio II .....	72

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)



## LISTA DE ANEXOS

	pág.
1.- Diagrama de flujo del análisis foliar .....	89
2.- Ejemplo del cálculo del índice plastocrónico foliar en una rama .....	90
3.- Contenido de calcio en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio I .....	92
4.- Contenido de calcio en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio II .....	93
5.- Contenido de magnesio en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio I .....	94
6.- Contenido de magnesio en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio II .....	95
7.- Contenido de hierro en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio I .....	96
8.- Contenido de hierro en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio II .....	97

## INTRODUCCION

El Estado Barinas es uno de los principales productores de madera del país, ya que cuenta con grandes superficies boscosas de especies forestales valiosas. Desde hace aproximadamente 20 años, muchos de estos bosques fueron otorgados bajo concesión a empresas madereras, con el fin de desarrollar actividades de manejo que permitieran el aprovechamiento y la perpetuidad del recurso. Una de las actividades que se viene desarrollando, desde hace aproximadamente 16 años, es el establecimiento de plantaciones forestales industriales de teca.

Las plantaciones de teca en la actualidad cubren alrededor de 20.000 ha en el occidente de Venezuela, siendo la especie más promisoras para la región, debido a la buena calidad de su madera, su facilidad de regeneración, su rusticidad, sus características silvícolas, así como por la relativa facilidad del manejo de sus plantaciones (Keogh, 1980). Sin embargo, en ciertos sitios se están presentando problemas que originan un escaso crecimiento y desarrollo de los árboles y, algunas veces, serios daños por clorosis y necrosis que culminan con la muerte del árbol. Franco (1988), reporta en suelos Oxic Dystropepts arcillosos, ácidos de drenaje moderado, isohipertérmico, plantaciones de teca con una tasa de crecimiento de 8 a 10 m<sup>3</sup>/ha/año y en suelos Tropopsamments, bien drenados, de pH neutro, una tasa de

crecimiento de 16 a 18 m<sup>3</sup>/ha/año. Sin embargo, se observan extensos rodales con signos de deficiencias nutricionales en el follaje.

Si se quiere tener éxito con las plantaciones forestales, uno de los aspectos más importantes que se debe considerar es el que se puedan determinar los requerimientos de sitio para la especie e identificar las condiciones limitantes. Luque (1981) y Torres (1982) han estudiado la influencia del sitio en el crecimiento de la teca, coincidiendo en que la especie exige suelos permeables y arenosos de banco, aunque se conoce muy poco sobre los requerimientos nutricionales de la teca, subestimando algunas veces la importancia que esto representa para su manejo intensivo. Una identificación clara y precisa de los nutrientes que limitan la producción, permitirá el uso más eficiente de insumos externos, fertilizantes o enmendadores del suelo, lo cual disminuirá considerablemente los costos de producción y mantenimiento.

Existe la necesidad de conocer los aspectos nutricionales de las plantaciones, en especial las que en su etapa inicial presentan suelos descubiertos. Hase y Foelster (1983) opinan que la explotación de madera afecta las reservas de calcio en el suelo, estando los rangos de salida en el orden de los 0,22 a 3,07 T/ha, para un período de rotación de 50 años. El primer ciclo de corta, en general, es

de excelente rendimiento, pero en los siguientes ciclos el crecimiento disminuye uniformemente en el tiempo a causa de un agotamiento de los nutrientes en los suelos.

La explotación de la madera de teca implica la eliminación del 50-60 % de los nutrientes capturados del suelo, en una plantación de 15 años establecida en Nigeria (Nwoboshi, 1984). Así mismo, durante la preparación del terreno, son muchos los nutrientes que se pierden por lixiviación y erosión, los cuales deben ser luego incorporados al suelo para evitar una disminución de la productividad, como consecuencia de la disminución en fertilidad. Además, se deben desarrollar técnicas silvícolas que impidan la pérdida de nutrientes por la exposición del terreno.

Debido a esta problemática y a los pocos experimentos de campo que se han realizado sobre teca en Venezuela, que consideren este aspecto, surge la necesidad de formar las bases que sustenten los estudios futuros y las decisiones que involucren el uso de fertilizantes, tendiendo así a mejorar el manejo de las plantaciones forestales.

En el siguiente trabajo, se pretende determinar la variación del contenido de nutrientes con la edad foliar en una plantación de teca que crece sobre suelos con drenaje contrastante de la Reserva Forestal de Ticoporo, Estado Barinas.

Si espera que la información obtenida sea de gran utilidad para la caracterización del estado nutricional de la teca que, apoyada en experiencias de otros países, servirá para determinar los niveles de nutrientes óptimos y deficientes y cómo se ven afectados por el drenaje. También, permitirá inferir sobre cuáles hojas serían las más adecuadas en los muestreos, con el fin de evaluar el estado nutricional, tomando en cuenta los niveles de nutrientes en el momento en que la planta presenta mayor actividad fotosintética.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## HIPOTESIS

En la época de lluvias, los suelos con características de mal drenaje sufren saturación hídrica, creando condiciones reductoras que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas, mientras que, los suelos con drenaje moderado presentan condiciones de aireación y humedad que resultan favorables. Tomando en cuenta las diferencias que se podrían encontrar, se plantean las siguientes hipótesis:

- Las plantas que crecen en condiciones de drenaje deficiente tienen menores niveles de nutrientes foliares que pueden estar acompañado por síntomas de clorosis y necrosis, que en algunos casos provocan la muerte del árbol, mientras que, en los sitios con drenaje moderado se presentan mayores concentraciones foliares de nutrientes que se reflejan en un mejor estado fitosanitario.
- La senescencia foliar y la variación en el contenido de nutrientes con la edad son afectadas por las condiciones de drenaje. En suelos mal drenados, estos cambios ocurren más rápido, en cambio, en suelos con drenaje moderado es más lento.
- Las plantas con mayor desarrollo y vigor presentan mayores concentraciones foliares de nutrientes.

## OBJETIVOS

- Medir las variaciones en el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y hierro en hojas de diferentes edades, de plantas que crecen en suelos con drenaje moderado y deficiente.
- Comparar los niveles de nutrientes foliares en plantas que se desarrollan en suelos con drenaje moderado y deficiente.
- Determinar si existen diferencias en los contenidos foliares de nutrientes en plantas que crecen en suelos con drenaje moderado y deficiente.
- Determinar cuáles serían las hojas más adecuadas para el muestreo, con el fin de evaluar el estado nutricional de las plantas.

## MARCO TEORICO

### La nutrición mineral.

Los ecosistemas forestales tropicales requieren de luz, agua, aire y minerales para su desarrollo. En la mayoría de los casos, la radiación solar y la precipitación se presentan en cantidades suficientes, pero el aporte nutritivo constituye un factor limitante, debido a la escasez de nutrientes en los suelos.

Los bosques naturales tropicales presentan una gran exuberancia, que podría explicarse por los numerosos mecanismos de captura y el ciclo cerrado de nutrientes dentro de la biomasa. Sin embargo, esto no ocurre en monocultivos forestales, donde los nutrientes son rápidamente lixiviados, originándose una escasez que se refleja en bajo crecimiento, tallos delgados, clorosis y necrosis foliar, en algunos casos produciéndose una alta mortalidad, como consecuencia de la baja fertilidad edáfica.

El problema nutricional de las plantaciones se hace más evidente, debido a que, en el campo forestal las tierras que se encuentran disponibles son las marginales, con serios problemas de acidez y drenaje.

Los minerales que son acumulados por los árboles eventualmente regresan al suelo, excepto la cantidad que permanecen en troncos y raíces. El retorno ocurre por la



caída de ramas y hojas, así como por el lavado producido por la lluvia. Además, la precipitación pluvial, el retorno, la muerte y descomposición de la raíces agregan nuevos minerales al suelo. Sobre el piso forestal y en el suelo, una miríada de mamíferos, insectos y otros artrópodos, lombrices, hongos y bacterias consumen la materia orgánica acumulada, descomponiéndola y convirtiéndola en sustancias aprovechables para la nutrición mineral (Jara et al., 1989).

La mayoría de los nutrientes disponibles se encuentran adsorbidos en la arcilla coloidal y partículas de humus, en tanto que en la solución del suelo es posible encontrar sales minerales. Las diminutas partículas de arcilla y humus, denominadas micelas (microcélulas), tienen áreas superficiales muy grandes cargadas negativamente, que adsorben la gran mayoría de los cationes (Jara et al., 1989). Los cationes desplazados de los coloides se desplazan dentro de la solución del suelo, donde se intercambian en la superficie radical, para ser luego absorbidos por los árboles o eliminados del sistema por percolación (Brinckmann, 1983).

Uno de los aspectos más importantes de la nutrición mineral lo constituye el conocimiento de la dinámica de los diferentes elementos en la biomasa y el suelo. Según Socalo y Guzman (1986), las condiciones del suelo tiene una influencia decisiva en la disponibilidad y aprovechamiento del fósforo, ya que se fija con facilidad formando complejos con el hierro

y aluminio (frecuentes en suelos arcillosos), pero sufren menos lixiviación con respecto a otros elementos donde las fuerzas de retención del suelo son relativamente pequeñas (suelos arenosos).

No todos los nutrientes necesarios para el crecimiento y la manutención de los tejidos jóvenes provienen de la absorción, sino que los compuestos solubles de nitrógeno y fósforo son translocados dependiendo de la eficiencia del árbol en este mecanismo; mientras que el calcio y, en menor proporción, el magnesio, constituyen compuestos estructurales insolubles (Jara et al., 1989).

El crecimiento foliar.

Para llevar a cabo este trabajo, resulta de gran importancia práctica determinar la edad de las hojas, de tal manera, que permita estudiar las variaciones en el contenido de nutrientes durante el proceso de senescencia foliar.

En los estudios que se han realizado sobre el crecimiento de plantas, es donde más se ha trabajado sobre la determinación de la edad foliar. Muchas plantas presentan patrones regulares en las tasas de iniciación de las hojas dentro de los meristemas (Hill y Malmberg, 1991), y en los brotes de varias plantas superiores las hojas aparecen periódicamente. Estas periodicidades o regularidades en la iniciación de hojas sucesivas, recibe el nombre de

plastocrono (Erickson y Michelini, 1957).

Hill y Malmberg (1991) definen al plastocrono, como "la longitud de tiempo entre la iniciación de sucesivos primordios de un brote meristemático"; en cambio, Erickson y Michelini (1957), quienes desarrollaron esta técnica, lo define como "el intervalo de tiempo entre la iniciación de dos hojas sucesivas".

El plastocrono constituye una medida de tiempo, el cual es evaluado en términos relativos, considerando los cambios de tamaño durante el desarrollo, sustituyendo así el tiempo cronológico y permitiendo diferenciar eventos, pasados y futuros. Este método se ha constituido en el más apropiado para aquellas mediciones donde los cambios en tamaño de los organismos, están relacionados linealmente con el tiempo (Hill y Malmberg, 1991).

El índice plastocrónico como un indicador de la edad relativa se desarrolla a partir del concepto del plastocrono. Este índice es usado como un patrón de predicción del desarrollo de brotes, para inferir tasas de crecimiento de un órgano y puede ser usado para estimar los estados pasados donde el crecimiento no puede ser observado directamente (Hill y Malmberg, 1991).

Las regularidades observadas en las hojas implican que los plastocronos son constantes y predecibles bajo ciertas

condiciones del medio ambiente (Hill y Malmberg, 1991). Esto le brinda confiabilidad a los índices que, según Erickson y Michelini (1957), cuando los plastocronos sucesivos son iguales en duración, pueden servir como una unidad de escala de desarrollo, permitiendo determinar el estado de desarrollo de un brote con un error de pocas horas.

Al calcular el índice plastocrónico, se tiene que seleccionar un estado de desarrollo como nivel de referencia, para un intervalo de tiempo de hojas sucesivas. Según Erickson y Michelini (1957), se puede seleccionar la iniciación, maduración o cualquier otro estado intermedio de desarrollo, el cual puede estar definido en términos de longitud de la hoja. Así mismo, se pueden considerar otras variables dimensionales como el ancho, el área y el peso seco foliar.

Hill y Malmberg (1991), que realizaron un estudio de crecimiento en plantas de *Nicotiana tabacum* L., usaron como valor de referencia tres centímetros y Erickson y Michelini (1957), quienes trabajaron con *Xanthium italicum* Moretti, usaron un centímetro. Estos últimos investigadores sugieren que la longitud de referencia debe ser seleccionada de la fase de crecimiento exponencial del órgano y ser lo suficientemente grande para medirse sin causar daño al brote.

## El diagnóstico foliar

Hasta ahora, los análisis foliares han demostrado ser un buen indicador del estado nutricional de la planta. Los estudios realizados básicamente han sido dirigidos a la comparación de los niveles de nutrientes de árboles que crecen vigorosa y pobremente, o árboles que presentan o no síntomas de clorosis y necrosis. La técnica de análisis de tejidos vegetales constituye el método más efectivo y moderno para determinar las cantidades y clases de nutrientes que la planta contiene (Brinnkmann, 1983).

Cabe señalar que para llevar a cabo un buen diagnóstico nutricional, se tiene que contar con un apropiado muestreo foliar, basado en la elaboración de criterios que permitan disminuir en lo posible las variaciones inter e intra-árbol.

En plantaciones de una misma edad se encuentran diferencias de altura y diámetro, permitiendo diferenciar árboles dominantes y codominantes. La concentración de nutrientes en estos bosques difieren significativamente; esto se atribuye a que los árboles codominantes se encuentran en un estado mucho más dinámico, en constante lucha por alcanzar el estrato superior, con una alta demanda de nutrientes para lograr el equilibrio nutricional y cumplir sus roles fisiológicos, como la floración y la fructificación (Jara et al., 1989).

Drechsel y Zech (1990), definieron como tamaño óptimo de parcela para muestreos foliares de 20x25 a 30x35 m<sup>2</sup> (0,05 a 0,10 ha), dependiendo de la densidad de los árboles.

Con respecto a la variación de los niveles de nutrientes inter-árbol, Bowen y Nambiar (1984) y Brunck (1987), recomiendan para fines de diagnóstico, la recolección de muestras de por lo menos 20 árboles por parcela. La variación inter-árbol y el número de muestras puede reducirse muestreando la misma posición de la copa de árboles codominantes de la misma edad, el mismo estado de salud y que crezcan en las mismas condición de sitio (Drechsel y Zech, 1990).

La recolección de muestras foliares en árboles debe restringirse a la parte media de la copa, descartando el tercio inferior (Bakula et al., 1978). Jara et al. (1989) por su parte, sugiere la recolección en la parte media de las ramas terminales, pertenecientes al tercio medio de la copa del árbol.

Levy (1967), Merino et al. (1974) y Jara et al. (1989), proponen la recolección de hojas enteras, incluyendo limbos y pecíolos. Cook et al. (1960), estudiaron deficiencias de boro, encontrando que, en plantas deficientes, los pecíolos y limbos tienen los mismos niveles de nutrientes, mientras que en presencia de niveles tóxicos, la acumulación de boro resulta mayor en la lámina.

Ciertos elementos como el nitrógeno y el fósforo, presentan gran movilidad en la planta; por ésto, se recomienda el muestreo de hojas jóvenes (sin completar el desarrollo) y las dos primeras hojas maduras, de los brotes terminales de la parte alta de la copa (Zech y Drechsel, 1991), donde las hojas deben estar completamente expuestas a la luz (Drechsel y Zech, 1990).

En cuanto al efecto que tiene la posición de la hoja en la rama en relación a su contenido de nutrientes, Smith (1966), trabajando con hojas de naranjo, encontró que el contenido de nitrógeno y potasio aumentaban a medida que se avanzaba del ápice hacia la base de la rama. En cambio, Koo y Sites (1956), en la misma especie, encontraron un comportamiento similar para el potasio, pero inverso para el nitrógeno.

Tanto los niveles como las necesidades de nutrientes en las hojas varían durante el año ya que la floración y la fructificación implican una mayor demanda de nutrientes. Según Jara et al. (1989), las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio en las hojas de *Quararibea cordata* Aubl., disminuyen en la época de fructificación en 84%, 24%, 69% y 37 %, respectivamente. Esto se debe a que la planta requiere de una mayor cantidad de nutrientes para la formación de flores y frutos. Weir (1966), encontró que las hojas de *Citrus*, tomadas de ramas con frutos presentan niveles más bajos de nitrógeno, fósforo y potasio que las

ramas sin frutos, mientras que el calcio muestra un aumento de 75 %, pero exhibe síntomas de translocación como los demás nutrientes, es por esto que se acumula en el follaje durante el desarrollo vegetativo (Jara et al., 1989).

El muestreo foliar debe realizarse en la época de floración y, en caso necesario, un mes después (Cook et al., 1960). Durante y después de la floración, se agudizan las deficiencias entre las plantas con niveles de suficiencia y deficiencia (Scott, 1941 y Levy, 1967). En las regiones tropicales, la época ideal es a comienzo de la estación lluviosa o en medio de ésta (Drechsel y Zech, 1990).

#### Efecto del drenaje sobre el crecimiento de la planta

Cuando el suelo es inundado se originan una serie de procesos que, posteriormente, se ven reflejados en la parte aérea de las plantas; estos efectos no son inmediatos, aunque están muy ligados a las características de las especies afectadas.

En suelos inundados, la concentración de oxígeno que se encuentra en la superficie del suelo en contacto con el agua saturada con oxígeno, puede ser apreciable, en cambio, bajo esta capa, la concentración disminuye drásticamente a valores insignificantes (Ponnamperuma, 1972). Por otro lado, a las pocas horas del anegamiento, los microorganismos consumen prácticamente todo el oxígeno, tanto del agua como



del suelo (Kozlowski, 1982), creando condiciones anaeróbicas.

El anegamiento del suelo afecta todos los estados de desarrollo de los árboles, iniciándose con la germinación de las semillas. En árboles ya establecidos se produce el cierre estomático y una reducción de la absorción de agua, lo que trae como consecuencia una disminución de la fotosíntesis, de la permeabilidad de la membrana radicular y de la absorción de minerales. Aparte de esto, se generan alteraciones morfológicas en tallos y raíces, inhibición del crecimiento de tallos, raíces y brotes, amarillamiento y moteado de hojas, dando origen a la muerte y la caída foliar, y si el efecto es muy prolongado puede causar la muerte del árbol (Kozlowski, 1982).

La primera respuesta al anegamiento es el cierre de los estomas (Regehr et al., 1975), lo que reduce la fijación de bióxido de carbono, originando una rápida reducción de la fotosíntesis y la transpiración (Parker, 1950; Regehr et al., 1975). Aunque existe una alta correlación entre la tasa de fotosíntesis y la apertura estomática (Brix, 1962; Kriedemann, 1971), existen indicios que la inhibición de la fotosíntesis es también afectada por otras causas, que incluyen reducción del contenido de clorofila foliar, senescencia y abscisión prematura de la hoja, así como reducción del área foliar en respuesta a la inhibición de la formación y expansión foliar (Sena y Kozlowski, 1980).

Kramer y Jackson (1954), opinan que la deficiencia de aire origina una rápida pero temporal disminución de la permeabilidad radicular, probablemente causada por el aumento en la viscosidad del protoplasma. Si la deficiencia de aire continúa, puede causar daños y por último muerte de algunas células, provocando primero un aumento de la permeabilidad, seguida por una disminución que concluye con la destrucción del sistema radicular (Kozłowski, 1982).

La reducción en la disponibilidad del oxígeno causada por el anegamiento, reduce la respiración radicular aeróbica, reduciendo así la absorción de nutrientes minerales (Epstein, 1972), también, una reducción del crecimiento radicular bajo estas condiciones reduce la absorción de nutrientes (Kozłowski, 1982).

El alto nivel del bióxido de carbono en el suelo ha sido considerado como el responsable de la reducción de la absorción de agua y de minerales (Labanauskas et al., 1966) e inducción de clorosis (Grable y Danielson, 1965). Pero, aunque la deficiencia de oxígeno y el exceso de bióxido de carbono contribuyen de forma variable, según Kozłowski (1982) el efecto de la deficiencia de oxígeno parece ser más importante.

En los sitios anegados se presenta una disminución en la actividad de los microorganismos nitrificantes del suelo (Kramer, 1969), reduciendo así la captura de minerales por las micorrizas. La captura de nutrientes por las raíces se ve

reducida a causa de la disminución de los hongos micorrizógenos que son fuertemente aeróbicos (Kozlowski, 1982).

El anegamiento induce la liberación de fosfatos solubles, causados por la reducción del fosfato férrico a fosfato ferroso, que es más soluble (Kozlowski, 1982), y un aumento en la disponibilidad del hierro el cual puede ser tóxico para la planta (Sanderson y Armstrong, 1980). Gambrell y Patrick (1978), quienes realizaron estudios en plantas herbáceas han demostrado la fitotoxicidad de las formas reducidas de hierro y manganeso.

Los suelos asociados con escasa aireación producto del anegamiento, crean las condiciones para la acumulación de una amplia variedad de compuestos tóxicos (Turner y Patrick, 1968; Ponnampereuma, 1972). Las raíces producen etanol, acetaldehído (Fulton y Erickson 1964) y compuestos cianogénicos (Rowe y Catlin, 1971), en cambio, los suelos producen grandes cantidades de bióxido de carbono (Hook et al., 1971), sulfuro (Culbert y Ford, 1972) y magnesio y hierro solubles (Jones, 1972); entre los productos orgánicos del metabolismo anaeróbico microbial están el metano, etano, propileno, ácidos grasos, hidróxidos y ácidos dicarboxílicos, ácidos insaturados, aldehídos, cetonas, diaminas, mercaptanos y compuestos heterocíclicos. El etileno es producido por las plantas (Kawase, 1978) y por el metabolismo microbial (Lindberg et al., 1979).

Los primeros síntomas del anegamiento parecen estar asociados con la pobre aireación del suelo, los síntomas posteriores como son epinastia foliar, formación de raíces adventicias, caída del follaje, etc, están relacionados con cambios en los reguladores del crecimiento hormonal (Kozlowski, 1976).

La curvatura epinástica y formación de callo y raíces adventicias, generalmente están correlacionados con altos niveles de auxinas (Kozlowski, 1982). Kramer (1951) opina que la deficiencia de oxígeno causada por el anegamiento, causa una disminución en el transporte polar a través del tallo, dando origen a un alto contenido de auxina en los brotes. La clorosis de las hojas en la parte más baja de la copa es atribuida, en parte, a una disminución en la síntesis de citoquinina en las raíces (Burrow y Carr, 1969).

El cierre estomático puede estar asociado con la producción de ácido abscísico, aunque otras respuestas pueden estar asociadas a la producción de etileno. Estudios realizados con etileno en plantas normales, demostraron que las plantas tratadas presentaron síntomas similares a las plantas con problemas de anegamiento, estos síntomas son: epinastia foliar, hipertrofia de lenticelas y de tejidos corticales, formación de raíces adventicias, tallos delgados (Abeles, 1973) y senescencia y abscisión foliar (Kozlowski, 1984). Existen evidencias que en suelos inundados se presentan niveles altos de etileno, lo cual incrementa la

actividad de la celulasa, causando un ablandamiento de la pared celular, hipertrofia del tallo y desarrollo de aerénquima (Kawase, 1981).

En los suelos anegados el crecimiento radicular se ve restringido a las superficie del suelo, creando un anclaje deficiente contra los vientos y una gran desventaja, ya que ocupa un volumen pequeño de suelo que le impide obtener el agua suficiente para el desarrollo de los brotes durante la sequia (Kozlowski, 1984).

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA

### Ubicación, extensión y límites.

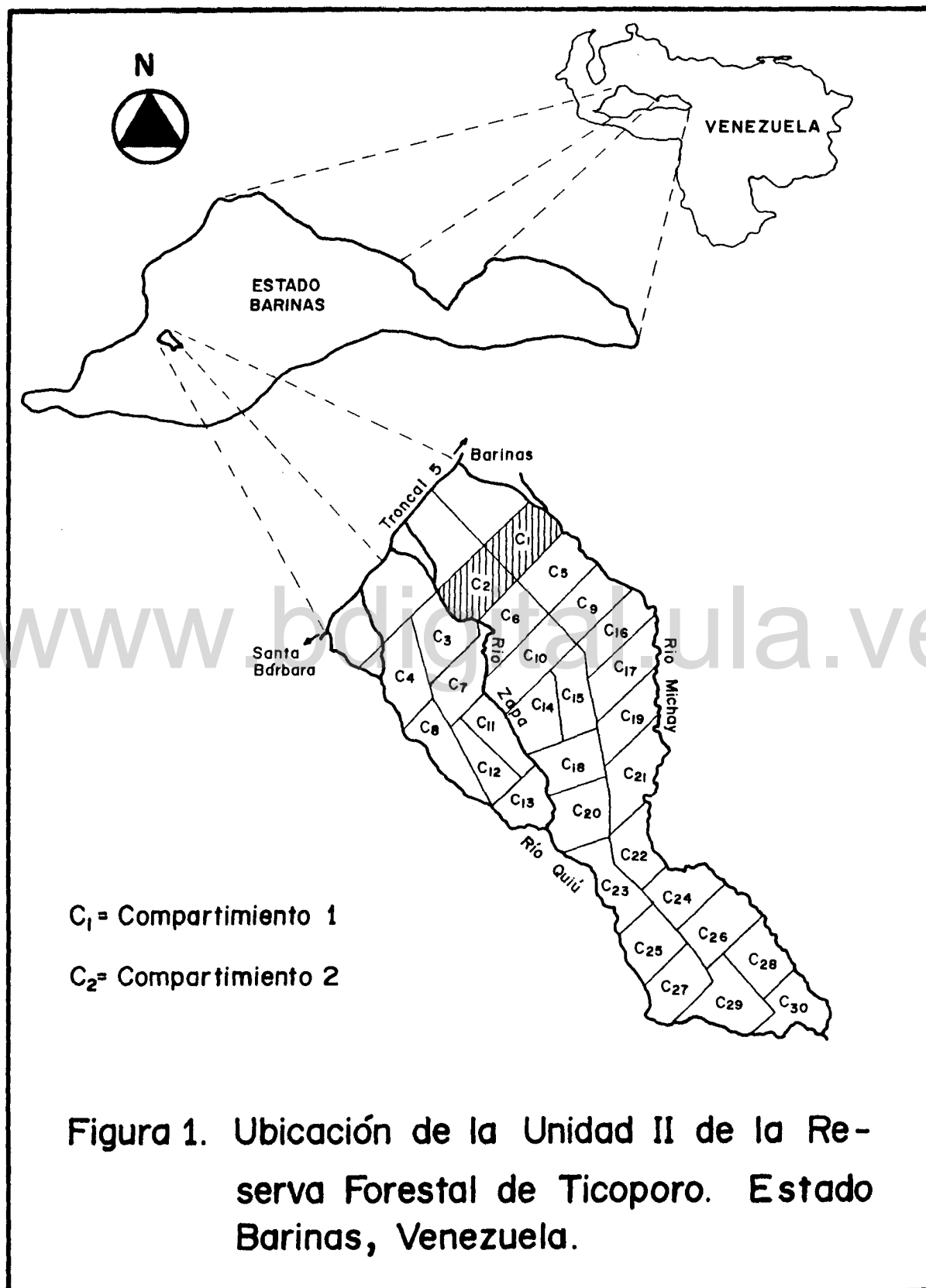
La plantación objeto de estudio se encuentra ubicada en la Unidad II de la Reserva Forestal de Ticoporo en el Distrito Pedraza del Estado Barinas. Geográficamente, está comprendida entre los paralelos 7°43'00'' y 8°12'00'' de latitud norte y los meridianos 70°43'35'' y 70°53'00'' de longitud oeste (Figura 1).

La Unidad II tiene una superficie de 40775 ha y se encuentra limitada por los ríos Michay al norte, Suripá al sur, Quiú al oeste y por una línea denominada "La número uno" que va desde el río Michay al río Quiú al este.

### Precipitación.

Las estaciones climatológicas más próximas corresponden a la del Michay y el Quiú, a 260 y 250 msnm respectivamente.

La precipitación promedio anual es de 2362,1 mm (Michay) y 2133,8 mm (Quiú), de los cuales el 92,7 % se distribuye entre los meses de abril y diciembre, presentándose la mayor concentración entre los meses de abril a octubre (83 %), con totales mensuales que superan los 200 mm, mostrando los valores más altos en los meses de junio, julio y agosto, dando origen a un patrón de distribución unimodal (Cuadro 1) (MARNR, 1982).



CUADRO 1. TOTALES ANUALES, VARIABILIDAD INTERMENSUAL E INTERANUAL Y DISTRIBUCION PORCENTUAL MENSUAL DE LA PLUVIOSIDAD EN LA ESTACION CLIMATOLOGICA MICHAY Y QUIU.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Total anual	CV(IA)
Michay	39,6	34,1	52,3	190,6	266,2	317,7	330,4	315,3	296,8	245,9	156,2	89,3		
CV(m)	86,8	>100	>100	62,5	37,1	40,6	31,2	23,7	36,5	36,4	25,7	53,4	2352,1	13,7
%	1,7	1,4	3,9	8,1	11,3	13,5	14,0	13,4	12,6	10,5	6,6	2,9		
Quiu	28,2	19,7	70,2	152,2	216,8	306,7	316,4	330,1	234,9	261,2	131,8	65,7		
CV(m)	90,0	>100	>100	65,2	22,8	45,0	30,9	17,6	36,5	33,6	26,9	60,5	2133,8	17,2
%	1,3	0,9	3,3	7,1	10,2	14,4	14,8	8,5	11,0	12,2	6,2	3,1		

CV(m) coeficiente de variación intermensual

Fuente: MARNR (1982)

CV(IA) coeficiente de variación interanual



La variabilidad media interanual de los totales de lluvia es de 13,7 % (Michay) y 17,2 % (Quiú), la intermensual es máxima durante la época seca (> 100 %) y mínima en la época húmeda (23,7 y 17,6 % para Michay y Quiú, respectivamente) (MARNR, 1982).

Este comportamiento viene dado fundamentalmente por la convergencia intertropical y el centro semipermanente de altas presiones, incluyendo los vientos alisos que provienen del noreste (MARNR, 1982).

Los meses típicos secos son enero y febrero (Michay) y de enero a marzo (Quiú), con un período que varía entre 60 a 75 días no consecutivos, creando deficiencias de agua en la sección de control de humedad de los suelos. Los meses de transición corresponden a marzo y diciembre (Michay) y, abril y diciembre (Quiú) con 8 y 7 meses húmedos, respectivamente (MARNR, 1982).

#### Temperatura.

La temperatura media anual (26,4 °C) corresponde a un promedio registrado por la estación Barinas-Socany, la cual resulta representativa para el área de estudio. La evaporación potencial es de 1586,9 mm y la real de 1400,5 mm (Rojas, 1988).

### Clasificación climática.

De acuerdo al sistema de clasificación de Köppen (1948), se tiene un clima tropical lluvioso de selva, megatérmico e isotérmico (Afwgi), ya que hay una estación seca no mayor de dos meses, pero con suficiente agua en el suelo para mantener una vegetación boscosa, presentándose los meses más cálidos antes de la época húmeda (gangético).

Según el sistema de Thornthwaite (1948), el sector se clasifica como clima húmedo y cálido, con deficiencias moderadas en verano (B3SA'a'). El sistema de clasificación de Holdridge (1967) lo denomina formación bosque húmedo tropical (Bh-t), debido a que presenta una precipitación promedio anual que oscila entre 1800 y 3800 mm, con una temperatura promedio anual superior a los 24 °C, y Pittier (1926) lo clasifica como clima tropófito macrotérmico.

### Geología.

El sector de Ticoporo se originó en el Cuaternario y está formado por aportes de sedimentos, productos del escurrimiento de la precipitación y el desborde de los ríos. Entre las principales formaciones geológicas que aportan sedimentos, están las siguientes: Bella Vista (Precámbrico Superior), Sabaneta (Permo Carbonífero), Paguey (Eoceno Superior), Gobernador (Eoceno Medio y Superior), Parángula (Mioceno Inferior) y Cerro Azul (Cámbrico) (Ochoa, 1982).

### **Hidrología.**

La Unidad II se encuentra surcada por los ríos Michay, Quiú y Suripá que son de régimen permanente y por otros más pequeños de régimen intermitente; todos provienen de la montaña andina y escurren en dirección noroeste-sureste.

Los ríos Quiú y Michay tienen forma torrencial y son relativamente estables; se explayan desembocando al río Suripá. Este último, con un curso más estable, es el colector de aguas del sector Ticoporo y constituye un drenaje, que se ubica en el límite de los explayamientos de la Cordillera Andina con la antigua planicie del río Caparo (MARNR, 1979).

En general, estos cursos de aguas tienen un comportamiento que se caracteriza por una sucesión de aguas altas y bajas. El régimen hidrológico de los ríos presenta fluctuaciones intermensuales, estrechamente asociado al patrón de distribución de las lluvias, que constituyen su causa directa (MARNR, 1982).

### **Geomorfología.**

El sector de Ticoporo se encuentra en la región natural de los Llanos Occidentales y presenta un paisaje de planicie constituido principalmente por la llanura aluvial. La región está formada casi en su totalidad por los aportes provenientes de los Andes, y se caracteriza por presentar

superposiciones de una gran cantidad de sedimentos depositados por los diferentes ríos; de esta forma, el terreno se ha modelado en tres tipos fisiográficos aluviales bien definidos (dique, napa y cubeta) (Ochoa, 1989).

Desde el punto de vista geomorfológico, y asociado con su posición, se presentan las siguientes unidades: depósitos por exceso de carga, asociados a albardones de orilla, ejes de explayamiento y napas de explayamiento; depósitos de desbordamiento o de acumulación libre, asociado a napas de limos de desbordamiento y cubetas de desbordamientos; y depósitos por decantación, asociados a cubetas de decantación y esteros (Ochoa, 1989).

#### Suelos.

Los suelos se desarrollaron a partir de sedimentos provenientes de los Andes, transportados por los diferentes ríos y caños del sector. Estos sedimentos son de carácter fluvio-torrencial y consisten en la acumulación forzada de un material heterométrico (piedras y guijarros), que se va haciendo cada vez más homométrico y con mayor cantidad de material fino a medida que se acerca a la planicie, donde predomina el tipo de material aluvial (MARNR, 1982).

El material que dá origen a estos suelos presenta una naturaleza mineralógica pobre que, unido al efecto de la precipitación, afectan sus propiedades químicas, causando el

lavado de los cationes, lo que determina un bajo porcentaje de saturación de bases y alta acidez (MARNR, 1982).

Las lluvias causan problemas de inundaciones periódicas, por los numerosos caños y ríos; lo que agrava las condiciones hídricas, principalmente en los bajos, dando origen a los procesos de gleización (MARNR, 1982).

La alternancia de las estaciones húmeda y seca incrementa los procesos de lixiviación de arcillas, gleización y agrietamiento de los suelos. La cubierta boscosa posiblemente contribuyó a la formación de los suelos a través de la estructuración y melanización, como procesos expresivos que dieron origen a los subhorizontes cámbricos y epipedones úmbricos. A causa del gran aporte de residuos vegetales, se presenta una acumulación relativamente alta de materia orgánica, en los Molisoles y Tropohumults (MARNR, 1982).

#### Vegetación.

A grandes rasgos, se pueden diferenciar dos formaciones:

a. El bosque alto, en parte conservado y en otra completamente deforestado, florísticamente mixto, muy heterogéneo y variado en cuanto a composición estructural. Presenta varios estratos verticales: Un estrato herbáceo, un estrato arbustivo, en algunos casos superior e inferior, y un estrato arbóreo, pudiendo ser también superior e inferior (Santaromita, 1966 y Monasterio et al., 1971).

Dentro del bosque alto se pueden diferenciar varios tipos, como: el bosque alto denso, donde predominan especies arbóreas como *Brosimum sp Sw.*, *Bombacopsis quinata (Jacq) Dugand*, *Anacardium excelsum (B. & B.) Skeels*, etc; la asociación bosque alto denso con bosque ralo, donde abundan las especies *Bombacopsis quinata*, *Pouteria sp Aublet*, *Swietenia macrophylla King* y varias especies de la familia *Arecaceae*; el bosque arbustivo o bosque de rebalse, es un bosque bajo donde predominan especies arbustivas asociadas con algunas especies encontradas en las anteriores agrupaciones vegetales, como casildo (*Mimosaceae*), *Spondias mombin L.*, *Triplaris sp Loefl.*, *Inga sp Scop.*, *Ceiba pentandra (L.) Gaertn.*, etc (MARNR, 1982).

b. En las sabanas húmedas o hiperestacionales, donde pueden presentarse láminas de aguas altas durante casi toda la estación lluviosa, se encuentran especies como *Paspalum fasciculatum Willd.*, *Scleria sp Berg.* y otras menos dominantes, como *Thalia geniculata L.* y *Eleocharis sp R. Br.* (MARNR, 1982).

## CARACTERISTICAS DE LA PLANTACION

El vuelo forestal.

Los sitios seleccionados corresponden a la plantación del año 1978; el área con drenaje moderado (sitio I) tiene una superficie de 45 ha y se encuentra en el compartimiento 1; el otro, con drenaje deficiente (sitio II), tiene una superficie de 137,31 ha y pertenece al compartimiento 2. El distanciamiento de plantación es de 3 X 3 m, excepto en algunas parcelas donde se han realizado aclareos con fines de investigación (Figura 2).

La información del vuelo forestal (Cuadro 2) corresponde a las evaluaciones realizadas por Ortegano (1991) y Zambrano (1993).

La densidad de la plantación resulta similar en ambos sitios, siendo algo mayor para el sitio con drenaje deficiente. El sitio con drenaje moderado presenta mayores promedios de altura, diámetros y por lo tanto, mayor volumen y área basal, así mismo los incrementos de altura, diámetro, volumen y área basal son mayores.

El sitio con drenaje deficiente presenta el mayor porcentaje de individuos bifurcados. Según Benitez (1991), la plantación en el sitio con drenaje moderado, presenta un 85 % de los individuos en la categoría de fustes rectos y el sitio con drenaje deficiente un 61% en la misma categoría.

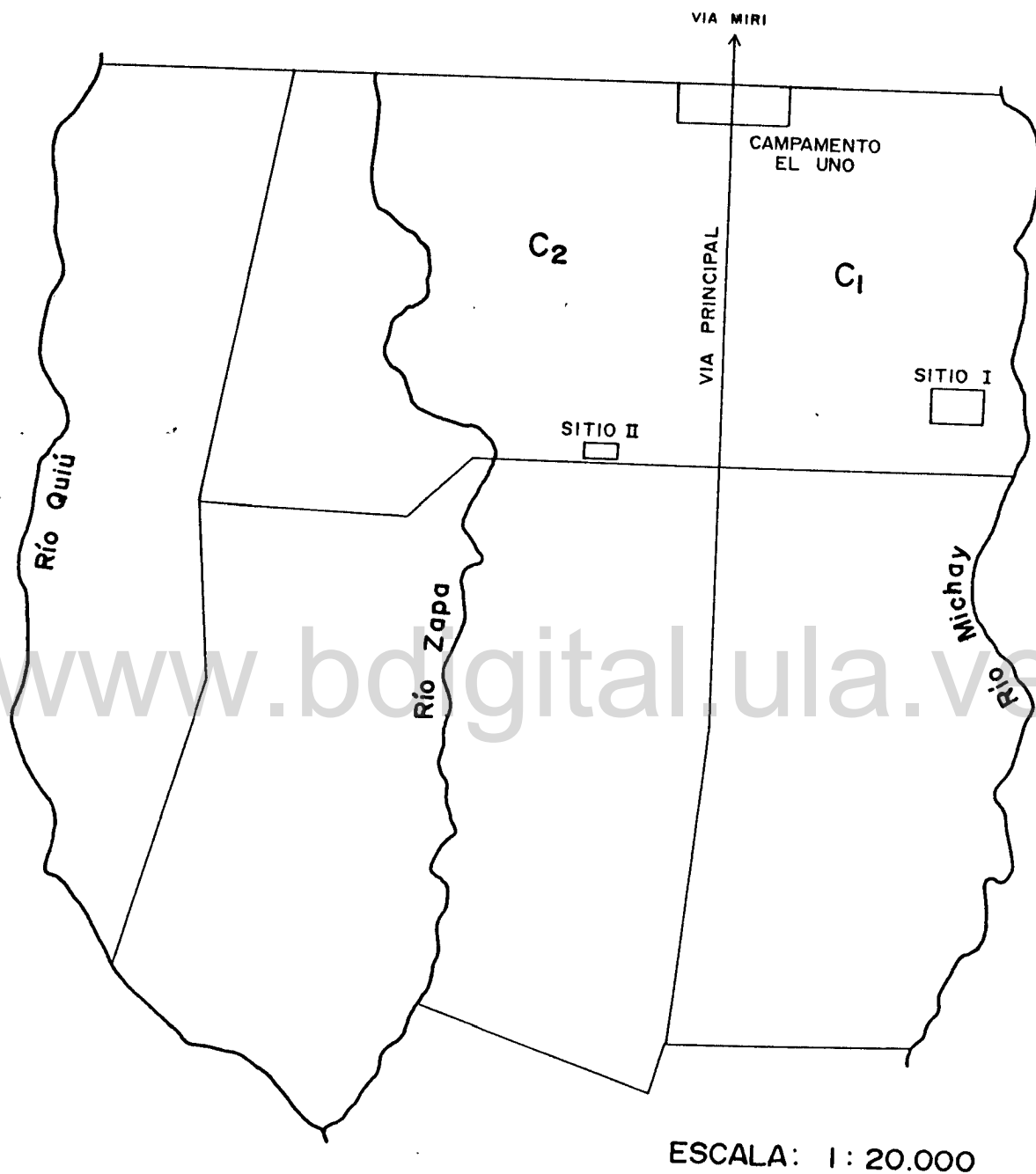


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

Fuente: Ortegano (1991)



CUADRO 2. CARACTERIZACION DEL VUELO DE TECA, PLANTACION DEL AÑO 1978.

Variables	Estadísticos	Sitio I	Sitio II
Altura (m)	Prom y DE EMC	18,59 ± 2,93 16,96	13,98 ± 1,72 13,36
Diámetro (cm)	Prom y DE EMC	20,41 ± 2,08 19,04	16,43 ± 1,24 15,90
Area basal (m <sup>2</sup> /ha)	Prom y DE EMC	31,13 ± 4,64 29,08	22,39 ± 4,18 21,42
Densidad (árbs/ha)	Prom Y DE EMC	864,00 ± 57,27 856,78	934,29 ± 114,34 929,22

Prom = promedio

DE = desviación estandar

EMC = estimación mínima confiable

Fuente: Zambrano (1993)

CARACTERISTICAS	SITIO	
	MEJOR DRENADO	DRENAJE DEFICIENTE
% Individuos bifurcados	17,86	38,73
Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	193,14	155,51
IMA Altura (m/árb/año)	1,32	1,12
IMA Diámetro (cm/árb/año)	1,48	1,24
IMA Volumen (m <sup>3</sup> /árb/año)	15,25	9,12
IMA Area basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	2,35	1,65

IMA =incremento medio anual

Fuente: Ortegano (1991)

La necrosis foliar resulta más crítica en el sitio mal drenado, donde el 100% de los árboles presentan entre 1/3 y 2/3 de la copa fuertemente afectada (categoría 3), mientras en el sitio mejor drenado un 91% de los árboles mostraron daños hasta un 1/3 de la copa (categoría 2).

#### El suelo.

El sitio con drenaje moderado presenta, en los primeros 50 cm, una textura Franco Arcillosa con 48,26 % de limo, 17,05 % de arena y 34,69 % de arcilla, mientras que, en el sitio con drenaje deficiente, a la misma profundidad, se tiene una textura Franco Arcillo Limosa con 39,04 % de limo, 27,47 % de arena y 33,49 % de arcilla, encontrándose que existen diferencias significativas en los contenidos de limo y arena (Cuadro 3).

A pesar que la Napa baja presentó un mayor contenido de arena, se encuentra en una posición geomorfológica más baja, y por debajo de 30 cm se produce un cambio textural a Franco Arcilloso que ocasiona un estrato no permeable, lo cual causa problemas de saturación (Linares, 1991).

En cambio, la Napa alta que presenta un contenido menor de arena, tiene una relación a/L más favorable que permite una mejor relación agua/aire en los primeros 50 cm; esto influye directamente en el drenaje, lo cual se manifiesta en un mejor desarrollo del vuelo (Linares, 1991).

CUADRO 3. CARACTERIZACION DE LOS SUELOS EN LA PLANTACION DEL AÑO 1978.

CARACTERISTICAS	SITIO		
	MEJOR DRENADA	DRENAJE DEFICIENTE	sig
Fracción de arcilla (%)	48,26	39,04	**
Fracción de arena (%)	17,05	27,47	**
pH	5,56	5,44	
Fósforo (pmm)	1,20	1,55	
Calcio (meq/100 g)	6,62	3,22	**
Magnesio (meq/100 g)	3,00	1,17	**
Potasio (meq/100 g)	0,31	0,19	**

Fuente: Linares (1991)

Aluminio (meq/100 g)	0,17	0,31	ns
CIC	15,86	8,76	**
Materia orgánica	3,52	2,35	ns
Nitrógeno (%)	0,24	0,17	**

ns= no significativo  
\*\*= significativo

Fuente: Cañizales (1990)

La Napa alta presenta, en su mayoría, moderadas limitaciones de drenaje (3B y 3(C1-C2) \*), ya que se manifiestan períodos de saturación a partir de los 50 cm de profundidad. En el primer estrato se observa un moteado escaso y nódulos que van de pocos a frecuentes, estos últimos, de consistencia blanda y pueden ser de Fe (amarillo), Mn (negros) y Fe-Mn (marrón), con tamaños que van de pequeños a medianos. En los otros estratos, la presencia de nódulos es poca; cuando aparecen, son de consistencia semidura y pequeños, mientras que se presenta un mayor número de moteado.

La Napa baja presenta saturación continua a partir de los 50 cm de profundidad (C1-C2) y saturación de oscilante a continua entre los 10 y 50 cm de profundidad (4C2). Presenta moteado de pocos a comunes (C1-C2) y de comunes a abundantes (4C2). Se observan nódulos de Fe, Mn y Fe-Mn en orden creciente desde pocos a frecuentes, con consistencia de semidura a dura. Este sitio presenta limitaciones de drenaje evidenciado por la existencia de moteado a partir del primer horizonte.

En cuanto a las características químicas, ambos suelos presentan un pH ligeramente ácido (5,56 y 5,44 para el sitio I y II respectivamente) y contenidos de fósforo muy bajos (< 3 ppm). En el sitio con drenaje moderado los contenidos de

---

\* tipos ecopedológicos.

calcio, magnesio y potasio resultaron mayores, en comparación con el sitio con drenaje deficiente, encontrándose diferencias estadísticas significativas entre los sitios.

En el sitio con drenaje moderado, el nitrógeno presenta una concentración entre baja y mediana ( $0,18-0,24$  %), y resulta baja para el sitio con drenaje deficiente. En ambos sitios predominan las bases cambiables sobre la acidez cambiante, con una capacidad de intercambio catiónico que va de  $5 - 29$  meq/100 g de suelo, niveles que se consideran que están entre bajos y medianos.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## MATERIALES Y METODOS

### Obtención de las muestras.

Las muestras fueron colectadas en la última semana del mes de julio del año 1992, después que las plantas recuperaron su follaje. En ambos sitios, se seleccionaron cinco árboles dominantes y, en cada árbol, tres ramas de la parte superior de la copa, que presentaran como mínimo tres pares de hojas en diferentes estados de desarrollo. El material seleccionado fué identificado y guardado en bolsas de papel para ser analizado en el laboratorio.

A los árboles seleccionados se les midió el diámetro y la altura, y a las hojas se les determinó la posición del nudo, iniciando la enumeración a partir de la base de la rama. Luego, cada hoja fué dibujada en láminas de papel bond, en donde se realizaron las mediciones de longitud, ancho y área, esta última con el uso de un planímetro polar.

En el laboratorio, las muestras fueron colocadas en estufa y secadas a 65 °C por tres días; luego de pesadas, fueron trituradas y tamizadas en un Molino Thomas Wiley, modelo 4, que contenía un cedazo malla 20, mientras que las muestras de pequeñas dimensiones fueron trituradas en un mortero de porcelana.

### Análisis de elementos.

Los análisis foliares fueron hechos por duplicado y

promediados para cada par de hojas, el procedimiento seguido en el laboratorio se muestra en el Anexo 1.

Los elementos determinados fueron: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y hierro. La extracción de los elementos se hizo mediante la digestión sulfúrica para el nitrógeno y la nítrico perclórica para el resto de los elementos.

El nitrógeno se determinó por el método Kjeldahl (López y López, 1978), el fósforo por el método del Molibdato de amonio (Hernández y García, 1980) y el resto de los elementos por fotometría de absorción con el espectrómetro de absorción atómica Perkin Elmer 303 (Jackson, 1970).

#### Determinación de la edad foliar.

La edad relativa de las hojas se determinó usando el método de los índices plastocrónicos, desarrollado por Erickson y Michelini (1957) en estudios de crecimiento de *Xanthium italicum* y empleada por Hill y Malmberg (1991) para estudios de crecimiento de *Nicotiana tabacum*.

Los índices plastocrónicos foliares calculados, corresponden a un par de hojas (nudo). El cálculo se realizó utilizando la longitud y el número del nudo al cual pertenecía la hoja, esta medida resulta fácil de obtener en el campo y permite un procesamiento rápido.

El valor de referencia asumido fué 15 cm, longitud que corresponde a la fase de crecimiento exponencial de la curva de desarrollo foliar con la edad. Las ecuaciones utilizadas son las siguientes:

$$IPF = n - a + \frac{LN(ln/s)}{LN(ln/ln+1)}$$

$$IP = n + \frac{LN(ln/s)}{LN(ln/ln+1)}$$

IP = índice plastocrónico

IPF = índice plastocrónico foliar

n = número del nudo con longitud de hoja superior al valor de referencia

a = número del nudo de la hoja a calcular la edad

ln = longitud de la hoja por debajo del valor de referencia

ln+1 = longitud de la hoja n+1

s = valor de referencia

LN = logaritmo neperiano

Para lograr un mayor conocimiento de esta metodología, en el Anexo 2 se muestran los criterios empleados, el desarrollo de las fórmulas y un ejemplo de cómo se calcula del índice plastocrónico foliar.

#### Procesamiento estadístico.

Los datos obtenidos de longitud, ancho y área fueron promediados para cada par de hojas (por nudo).

La base de datos fué creada con el Dbase III y transformadas luego al Statgraphics; este último paquete se utilizó en la preparación e impresión de los gráficos, lo que



permitió observar determinadas tendencias que facilitaron el análisis estadístico. Los estadísticos descriptivos, la matriz de correlación, la diferencias de medias (t de Student) y los modelos de regresión fueron obtenidos con el paquete SPSS/PC+.

Se probaron once modelos matemáticos, seleccionando el que mejor se ajustaba a los datos observados. Se investigó la posible existencia de gradientes en relación a los contenidos de nutrientes, así como la presencia de diferencias significativas entre las variables de los dos sitios.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## RESULTADOS Y DISCUSION.

### Crecimiento de la teca en sitios con suelos contrastantes.

El Cuadro 4 y 5 muestra los estadísticos descriptivos para el sitio I y II, respectivamente. El sitio con drenaje moderado presenta los mayores promedios de altura y diámetro (19,33 m y 25,71 cm), en comparación al sitio con drenaje deficiente (11,90 m y 18,70 cm), siendo aproximadamente 1,7 y 1,4 veces mayor, respectivamente. Las diferencias que se presentan en altura y diámetro son similares a las encontradas por Zambrano (1993), para el mismo sitio y en el mismo año. La dispersión de los datos de altura y diámetro resultan mayores para el sitio I (DE, 3,29 m y 5,33 cm) en comparación al sitio II (DE, 1,96 m y 3,05), esto implica que los árboles seleccionados en el sitio II fueron más homogéneos que en el sitio I.

El Cuadro 6 muestra los promedios y el nivel de significancia del análisis de la t-Student para ambos sitios. Se tiene que existen diferencias estadísticas altamente significativas para la altura y el diámetro en los árboles que crecen en suelos con drenaje contrastante. Esto confirma lo encontrado por otros autores (Salazar, 1974, Luque, 1981, Torres, 1982 y Linares, 1991), donde diferencias en las condiciones de drenaje del suelo determinan rendimientos variables de las plantaciones. Esto se debe a que la teca requiere de suelos bien drenados, aireados y profundos,

CUADRO 4. ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS PARA EL SITIO I.

	Altura m	Diámetro cm	Longitud cm	Ancho cm	pesoseco g	Area <sub>2</sub> cm <sup>2</sup>	IPF	Nitrógeno %	Fósforo %	Potasio %	Calcio %	Magnesio %	Hierro ppm
Tamaño de muestra	72	72	68	72	72	72	72	54	51	51	54	54	44
Promedio	19,33	25,71	31,51	18,63	6,52	442,64	1,59	0,91	0,19	1,13	1,59	0,34	2,07
Mediana	17,00	23,71	36,50	21,25	5,39	439,83	1,31	0,87	0,17	0,93	1,56	0,34	2,23
Moda	22,00	33,77	35,70	0,10	0,00	0,02	1,29	0,87	0,18	0,75	1,28	0,43	2,35
Media geométrica	19,06	25,21	21,24	11,35		150,35		0,89	0,18	1,03	1,50	0,32	1,98
Varianza	10,85	28,39	262,61	112,75	36,03	113311,00	3,08	0,03	3,66E-3	0,29	0,28	0,01	0,38
Desviación estandar	3,29	5,33	16,21	10,62	6,00	336,62	1,75	0,18	0,06	0,54	0,53	0,10	0,61
Error estandar	0,39	0,63	1,97	1,25	0,71	39,67	0,21	0,03	8,47E-3	0,08	0,07	0,01	0,09
Valor mínimo	16,00	21,01	0,30	0,10	0,00	0,02	-0,87	0,52	0,10	0,45	0,53	0,15	0,90
Valor máximo	24,50	33,77	52,05	35,35	20,82	1128,66	6,28	1,37	0,38	2,58	3,24	0,58	3,40
Rango	8,50	12,76	51,75	35,25	20,82	1128,64	7,15	0,86	0,29	2,13	2,71	0,43	2,50

IPF: Índice plastocrónico Foliar

CUADRO 5. ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS PARA EL SITIO II.

	Altura m	Diámetro cm	Longitud cm	Ancho cm	pesoseco g	Área cm <sup>2</sup>	IPF	Nitrógeno %	Fósforo %	Potasio %	Calcio %	Magnesio %	Hierro ppm
Tamaño de muestra	95	95	90	95	95	95	95	76	75	82	82	79	76
Promedio	11,90	18,70	35,89	23,28	14,20	642,44	2,22	0,65	0,13	1,30	1,08	0,22	1,37
Mediana	11,45	18,21	42,00	25,20	14,55	648,47	2,12	0,64	0,12	1,04	1,08	0,21	1,25
Moda	10,01	18,21	0,30	0,10	0,00	0,02	2,09	0,60	0,12	0,88	1,05	0,20	0,50
Media geométrica	11,75	18,46	24,04	14,33		213,62		0,64	0,12	1,12	0,99	0,21	1,16
Varianza	3,85	9,32	283,28	150,18	89,90	198536,00	4,55	0,02	2,95E-3	0,55	0,16	1,77E-3	0,60
Desviación estandar	1,96	3,05	16,83	12,25	9,48	445,57	2,13	0,12	0,05	0,74	0,40	0,04	0,77
Error estandar	0,20	0,31	1,77	1,26	0,97	45,71	0,22	0,01	6,28E-3	0,08	0,04	4,74E-3	0,09
Valor mínimo	10,10	14,52	0,30	0,10	0,00	0,02	-0,92	0,44	0,05	0,18	0,23	0,13	0,35
Valor máximo	15,50	23,71	60,30	43,00	33,40	1582,14	8,18	1,18	0,34	3,53	2,14	0,31	3,15
Rango	5,40	9,19	60,00	42,90	33,40	1582,12	9,10	0,73	0,29	2,36	1,91	0,19	2,80

IPF: Índice plastocrónico Foliar.

**CUADRO 6. DIFERENCIAS DE MEDIAS ENTRE LOS SITIOS I Y II.**

	SITIO I	SITIO II	SIG
Altura (m)	19,33	11,90	**
Diámetro (cm)	25,71	18,70	**
Longitud (cm)	31,51	35,89	ns
Ancho (cm)	18,63	23,28	ns
Pesoseco (g)	6,52	14,20	**
Area (cm <sup>2</sup> )	442,64	642,44	*
IPF	1,59	2,22	ns
Nitrógeno (%)	0,91	0,65	**
Fósforo (%)	0,19	0,13	ns
Potasio (%)	1,13	1,30	*
Calcio (%)	1,59	1,08	*
Magnesio (%)	0,34	0,22	**
Hierro (ppm)	2,07	1,35	ns

\* = ligeramente significativo

\*\* = altamente significativo

ns = no significativo

características que se atribuyen a la composición granulométrica y régimen hídrico.

El crecimiento foliar en suelos con drenaje moderado y deficiente.

El cuadro 7 y 8 muestra la matriz de correlación de las características foliares en el sitio I y II, respectivamente. Para las variables dimensionales (longitud, ancho, área y peso seco), los coeficientes de correlación resultan altos (próximos a uno) y con signo positivo, lo que indica que existe un alto grado de asociación positiva entre las variables. Esto sugiere que el índice plastocrónico foliar, que se calculó usando la longitud, podría ser desarrollado a partir de una sola variable o de la combinación de estas variables. Esto permitiría seleccionar la característica o conjunto de características que reflejen mejor su edad.

Si se comparan los resultados obtenidos (Cuadro 6) para la longitud y el ancho, se tiene que no existen diferencias estadísticas significativas entre los dos sitios. Por lo tanto, las condiciones de drenaje consideradas parecen no afectar el desarrollo de esas características en las hojas de teca. Así mismo, el peso seco foliar en el sitio II es 2,2 veces mayor que en el sitio I. Sin embargo, la altura y el diámetro en el sitio I son mayores que en el sitio II, habiendo diferencias estadísticas altamente significativas,

CUADRO 7. MATRIZ DE CORRELACION PARA EL SITIO I.

	Longitud	Ancho	pesoseco	Area	IPF	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Hierro
Longitud		0,82	0,78	0,92							-0,55
Ancho	0,82		0,85	0,95							
Pesoseco	0,78	0,85		0,88							
Area	0,92	0,95	0,88								
IPF						-0,72	-0,71				
Nitrógeno									-0,56	-0,56	
Fósforo					-0,72			0,91			
Potasio					-0,71		0,91				
Calcio	-0,55					-0,56				0,67	
Magnesio						-0,56			0,67		
Hierro											

CUADRO 8. MATRIZ DE CORRELACION PARA EL SITIO II.

	Longitud	Ancho	pesoseco	Area	IPF	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Hierro
Longitud	0,87	0,85	0,89								
Ancho	0,87	0,95	0,97	0,58							
Pesoseco	0,85	0,95	0,96	0,57							
Area	0,89	0,97	0,96	0,55							
IPF	0,58	0,57	0,55								
Nitrógeno						-0,73	-0,66				
Fósforo						-0,73	0,79	0,52			
Potasio						0,79	0,59	0,59			
Calcio											
Magnesio											
Hierro											



lo que haría pensar que los fotoasimilados en las hojas del sitio II, no se translocan con eficiencia hacia el tallo convirtiéndolos en crecimiento, sino que quedan atrapados en las hojas, produciendo un desarrollo vicioso de la lámina foliar. La translocación de carbohidratos, producidos en la fotosíntesis, va a depender de la demanda que se establezca en los órganos en crecimiento (Bidwell, 1979). Si el efecto del mal drenaje afecta el metabolismo respiratorio y biosintético de tallos y raíces, entonces el incremento en materia seca observada en las hojas del sitio II, se podría explicar a través de este mecanismo.

En las Figuras 3 y 4, se presentan las longitudes de las hojas con el índice plastocrónico foliar, las líneas continuas corresponden a las curvas ajustadas obtenidas a partir de las ecuaciones 1 y 2 (Cuadro 9). Las ecuaciones resultaron altamente significativas ( $\alpha < 1\%$ ) con coeficientes de determinación ( $r^2$ ) de 0,79 y 0,80 para el sitio I y II, respectivamente, lo que implica que el 79 y el 80 %, respectivamente, de la variación total se atribuye a cada modelo; por lo tanto las ecuaciones resultan estadísticamente válidas y de gran valor práctico.

Ambas curvas son similares a la encontrada por Maksymowych (1962), quien estudió el crecimiento de hojas de *Xanthium pensylvanicum* Wallr, excepto que en la fase exponencial de la curva de crecimiento, se presenta una mayor

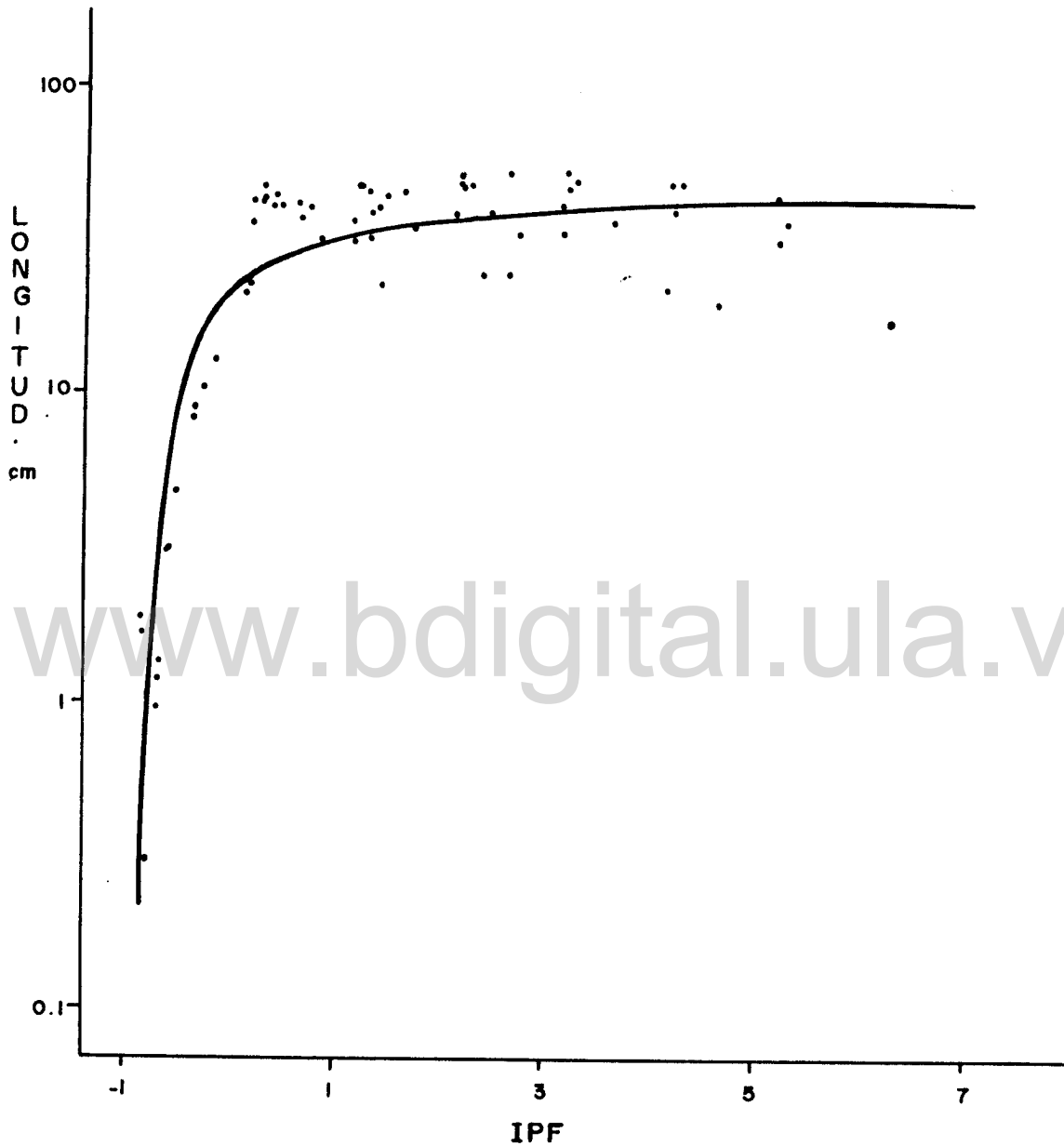


Figura 3. Longitud de las hojas con el índice plastocrónico foliar para el sitio I. Curva ajustada (—).

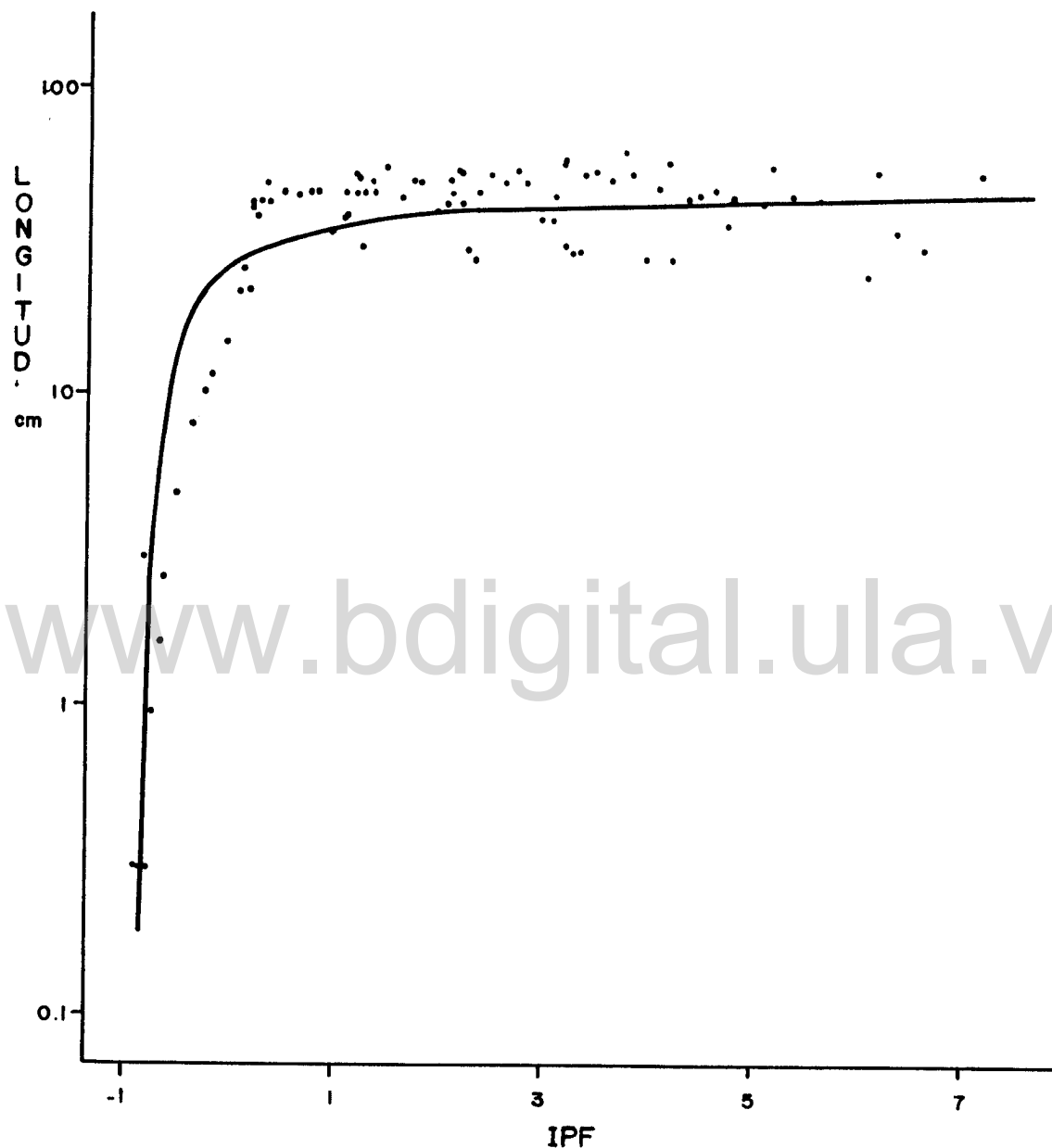


Figura 4. Longitud de las hojas con el índice plastocrónico foliar para el sitio II. Curva ajustada (—).

CUADRO 9. RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE REGRESION.

N°	ECUACION DE REGRESION	SITIO
1	$\text{longitud} = e^{(3,83387 - 0,76618 / (IPF + 1))}$	I
2	$\text{longitud} = e^{(3,80023 - 0,58906 / (IPF + 1))}$	II
3	$\%Fósforo = 0,192636555 * IPF^{(-0,24262)}$	I
4	$\%Fósforo = 0,06329 + 0,16931 / (IPF + 1)$	II
5	$\%Nitrógeno = 0,50791 + 0,37651 / (IPF + 1)$	II
6	$\%Potasio = 1,163973986 * IPF^{(-.3685)}$	I
7	$\%Fósforo = 0,0697263 + 0,101131 * \%Potasio$	I
8	$\%Fósforo = -0,0956529 + 0,344824 * \%Nitrógeno$	II

$e = 2,7182818$

IPF= índice plastocrónico foliar

pendiente en las hojas de teca. Además, observaciones de campo han permitido comprobar que las hojas en una rama de teca no emergen sincrónicamente, sino que lo hacen con intermitencia.

En general, se puede concluir que la metodología empleada para calcular la edad relativa foliar (IPF) se ajusta al módulo de crecimiento de las hojas de teca.

La Figura 5 muestra las curvas de crecimiento foliar en longitud con la edad relativa (IPF) en ambos sitios. Aquí no se observan grandes diferencias entre las curvas, excepto que existe un crecimiento en longitud algo mayor para el sitio II, pero que desaparece a partir de IPF 3.

El crecimiento en longitud de las hojas de teca presenta, al igual que la mayoría de las curvas de crecimiento, tres fases bien diferenciadas. La primera, o fase de crecimiento exponencial, se caracteriza por un rápido crecimiento que se mantiene cerca del IPF  $-0,5$ . La segunda fase llamada fase de maduración, presenta un crecimiento más lento que el anterior, que va de  $-0,5$  a 2 IPF. La última fase corresponde a la senescencia foliar y se inicia en el IPF 2. Aquí el crecimiento resulta más lento hasta llegar a cero, donde se alcanza la longitud máxima de la hoja.

En las Figuras 6 y 7 se muestran las curvas de crecimiento y las tasas instantáneas de cambio en longitud

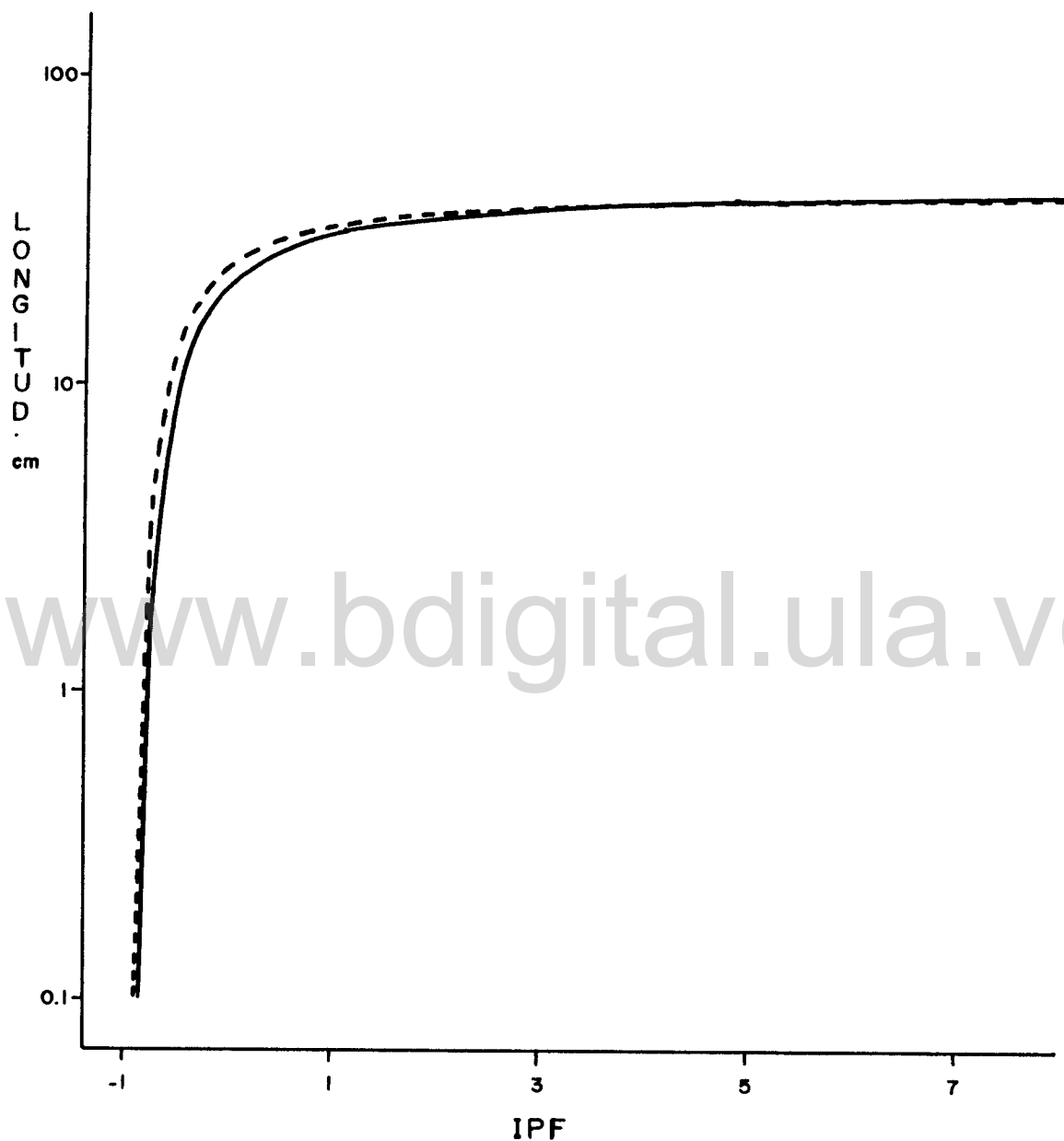


Figura 5. Variación en longitud de la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio I (—) y II (-----).

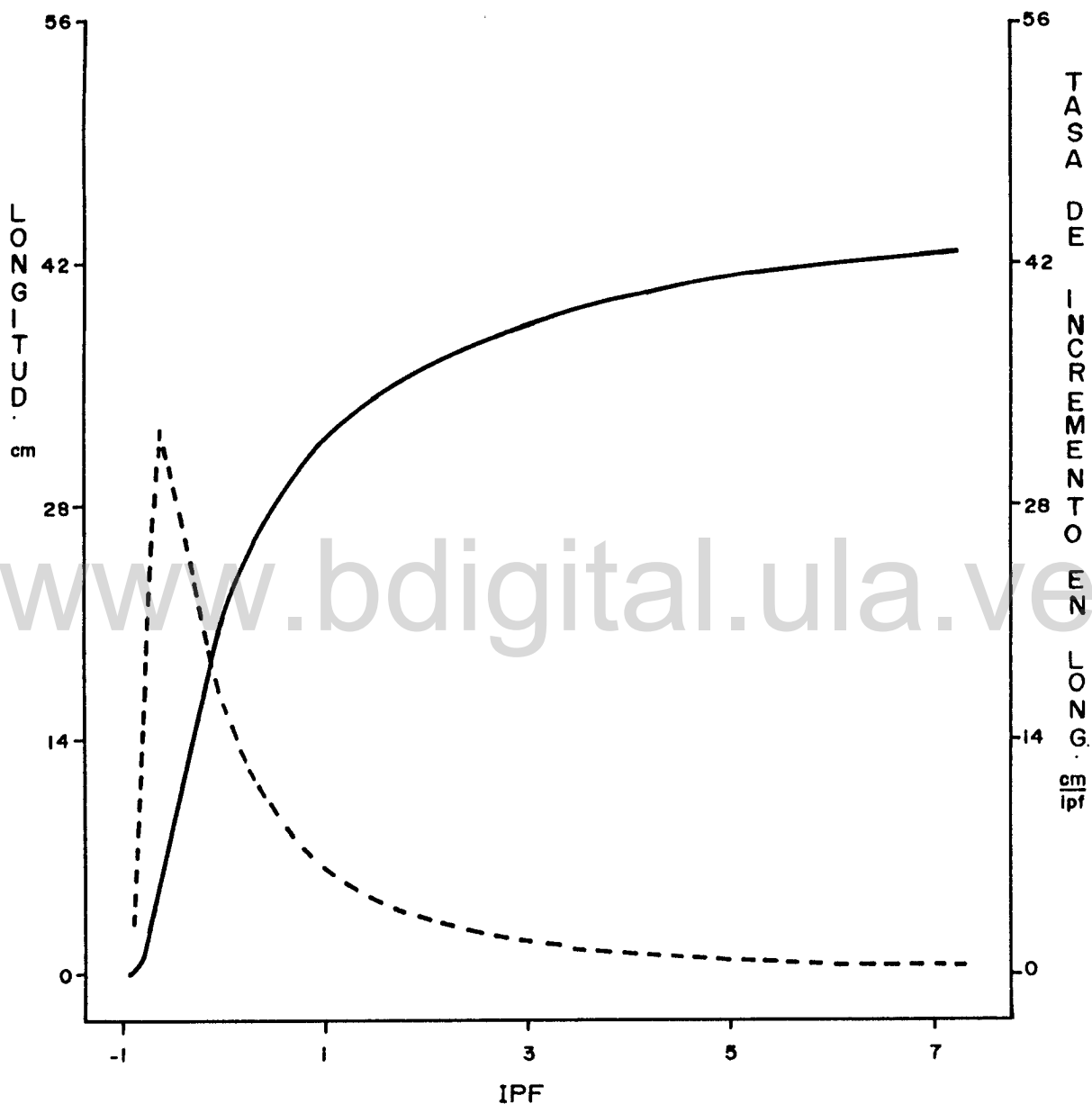


Figura 6. Variación en longitud (—) y tasa instantánea de cambio (-----) en la hoja con la edad relativa (IPF) para el sitio I.

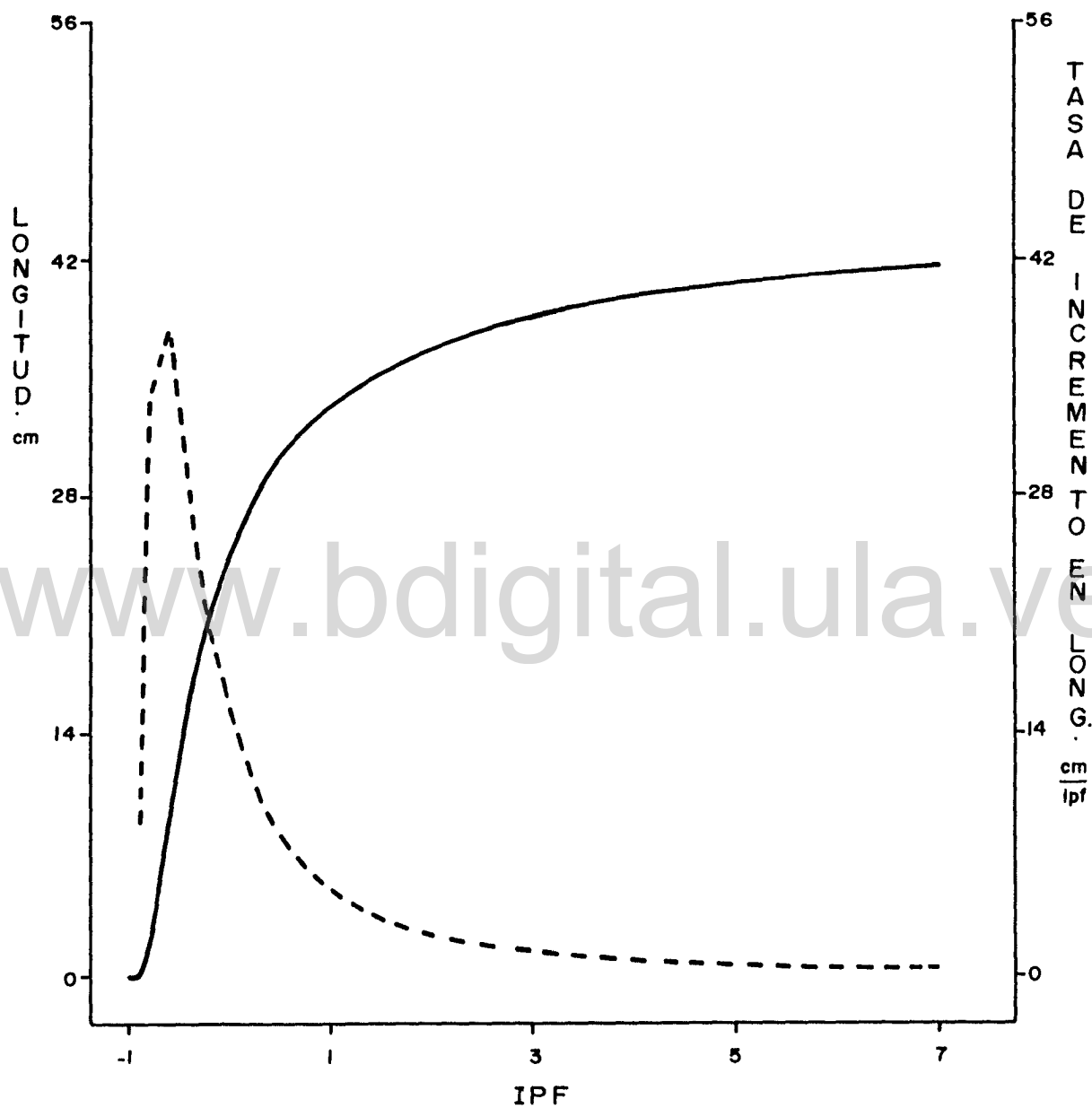


Figura 7. Variación en longitud (—) y tasa instantánea de cambio (-----) en la hoja con la edad relativa (IPF) para el sitio II.



foliar con la edad relativa (IPF). En ambos sitios las tasas instantáneas de cambio en longitud resultan similares. Estas se incrementan rápidamente y alcanzan un máximo en el IPF -0,5, con 37 y 32 cm/IPF para los sitios I y II, respectivamente. Este incremento coincide con la fase de crecimiento exponencial en longitud de la hoja. Luego las tasas experimentan un descenso igualmente rápido hasta cerca del IPF 2, coincidiendo con la fase de maduración de la hoja. Al final, las tasas experimentan cambios muy lentos hasta llegar a cero, etapa que corresponde a la senescencia foliar cuando finaliza el crecimiento en longitud.

Variaciones en los contenidos de nutrientes con la edad en suelos con drenaje moderado y deficiente.

De acuerdo a los resultados del Cuadro 4 y 5, se tiene que existe un mayor contenido de nutrientes foliares en plantas que crecen en suelos con drenaje moderado, excepto en el contenido de potasio. Esto se debe a que, en los suelos con drenaje deficiente, las condiciones de saturación hídrica causan severos trastornos en la planta que afectan la captura de nutrientes, originando una reducción en los contenidos foliares.

La concentración foliar de potasio, es aproximadamente 1,15 veces mayor en suelos con drenaje deficiente en comparación con suelos moderadamente drenados. Esto contrasta

con los resultados obtenidos por Ferrer (1991) para el mismo sitio, quien reporta contenidos de potasio dos veces mayor en suelos moderadamente drenados, lo que se podría deber a que no se tomó en cuenta la edad foliar relativa.

Las plantas que crecen en suelos con drenaje deficiente sufren saturación hídrica en la época de lluvias afectando, entre otras, la permeabilidad radicular que según Kramer y Jackson (1954), puede ser causada por la viscosidad del protoplasma. De acuerdo a Muller (sin fecha) grandes cantidades de iones monovalentes, como el potasio, tienden a licuar al protoplasma. En este caso, las células radiculares incrementarían la concentración de potasio de manera de establecer una condición sol o gel que sea óptima para la sobrevivencia, en donde el potasio actuaría como elemento de equilibrio para que la célula tenga un estado de hidratación perfecta.

En los Cuadros 7 y 8 se observa que los coeficientes de correlación para el índice plastocrónico foliar y los contenidos de fósforo y potasio para el sitio I y, el índice plastocrónico foliar y los contenidos de nitrógeno y fósforo en el sitio II resultan altos y con signo negativo. Esto implica que existe una relación de asociación inversa entre el índice plastocrónico foliar y los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio.

Las Figuras 8 y 9 muestran las concentraciones de

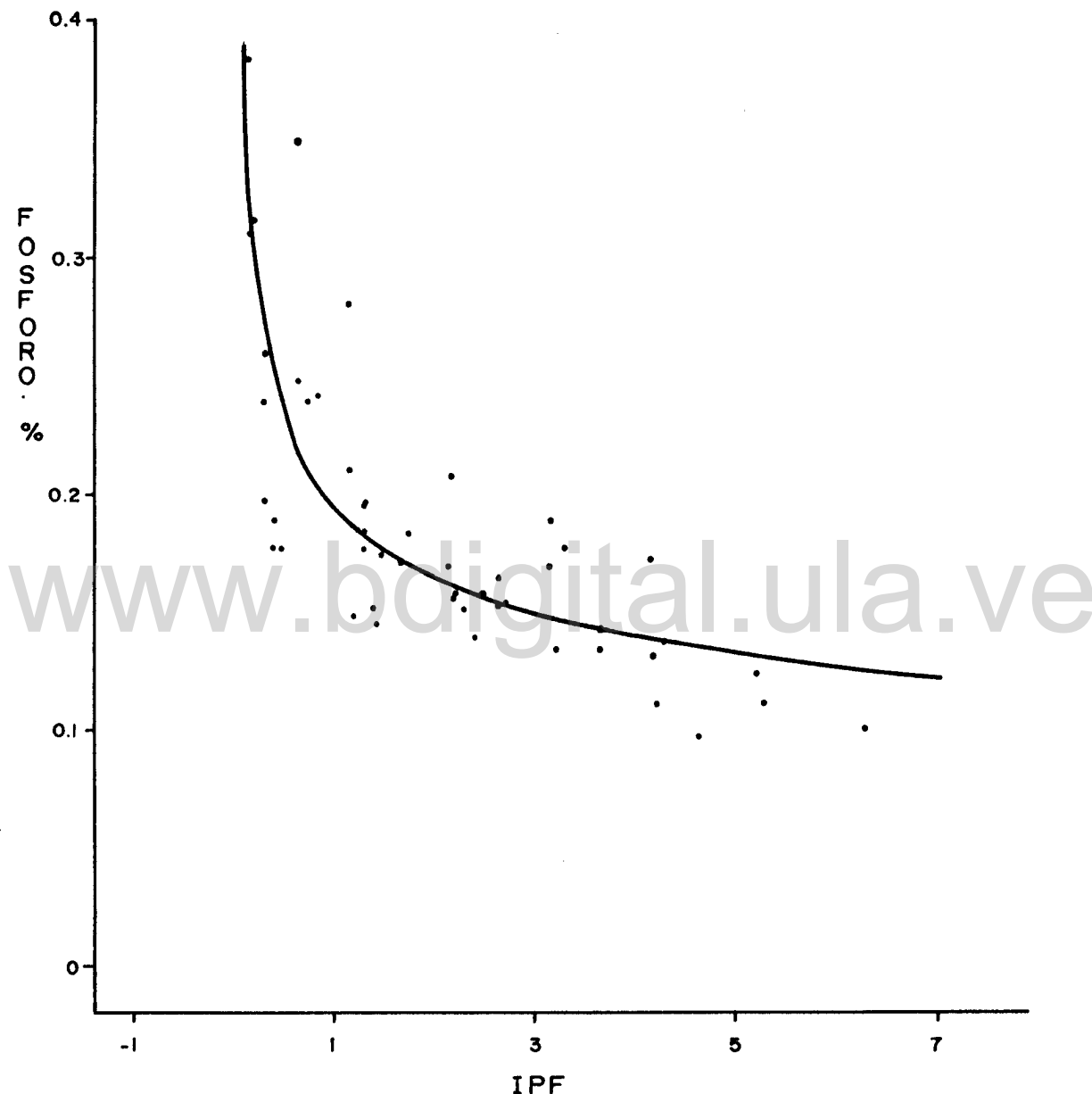


Figura 8. Contenido de fósforo en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio I. Curva ajustada (—).

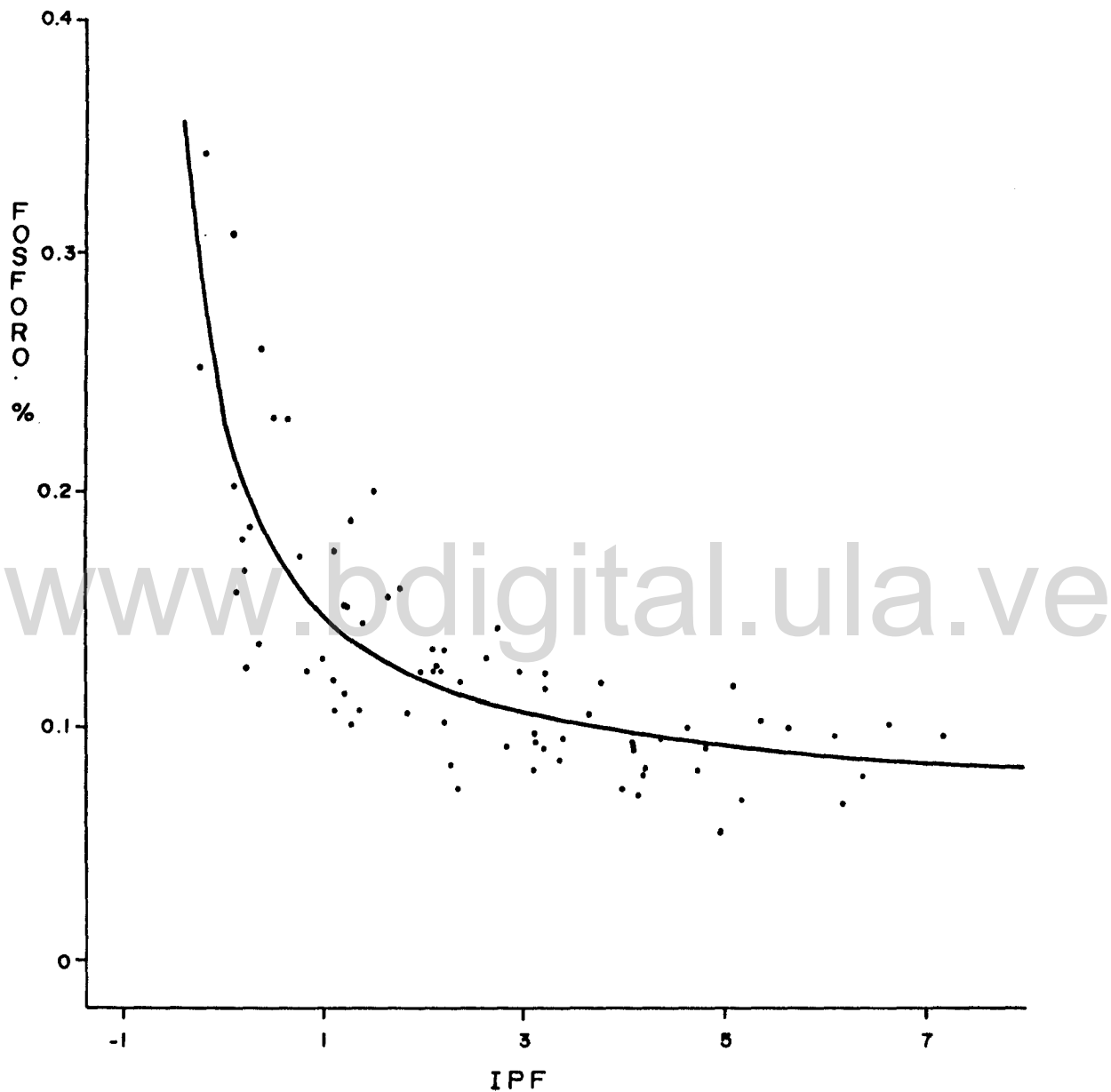


Figura 9. Contenido de fósforo en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio II. Curva ajustada (—).

fósforo (en porcentaje) con el índice plastocrónico foliar y las curvas ajustadas obtenidas a partir de las ecuaciones 3 y 4 (Cuadro 9). Ambas ecuaciones resultaron altamente significativas ( $\alpha < 1\%$ ) con coeficientes de determinación ( $r^2$ ) de 0,65 y 0,67 para los sitios I y II, respectivamente; es decir, más del 65 % de la variación total se atribuye a cada modelo; por lo tanto, las ecuaciones son estadísticamente válidas y de gran valor práctico.

La Figura 10 muestra las curvas ajustadas de la variación del contenido de fósforo con la edad relativa para los dos sitios. Estas presentan un comportamiento similar, solo que los contenidos de fósforo en el sitio II son menores, originando un desplazamiento de la curva hacia abajo.

Según el Cuadro 6, no se presentan diferencias estadísticas significativas entre los contenidos de fósforo de los dos sitios. Se cree que las condiciones de drenaje consideradas no influyen en los contenidos de fósforo en las hojas.

En la Figura 11 se tiene la tasa instantánea de cambio de los contenidos de fósforo en porcentaje con el índice plastocrónico foliar para ambos sitios.

En las Figuras 10 y 11 se observa que en las dos curvas existe un descenso rápido de los contenidos de fósforo y en la tasa instantánea de cambio con el tiempo, que se inicia

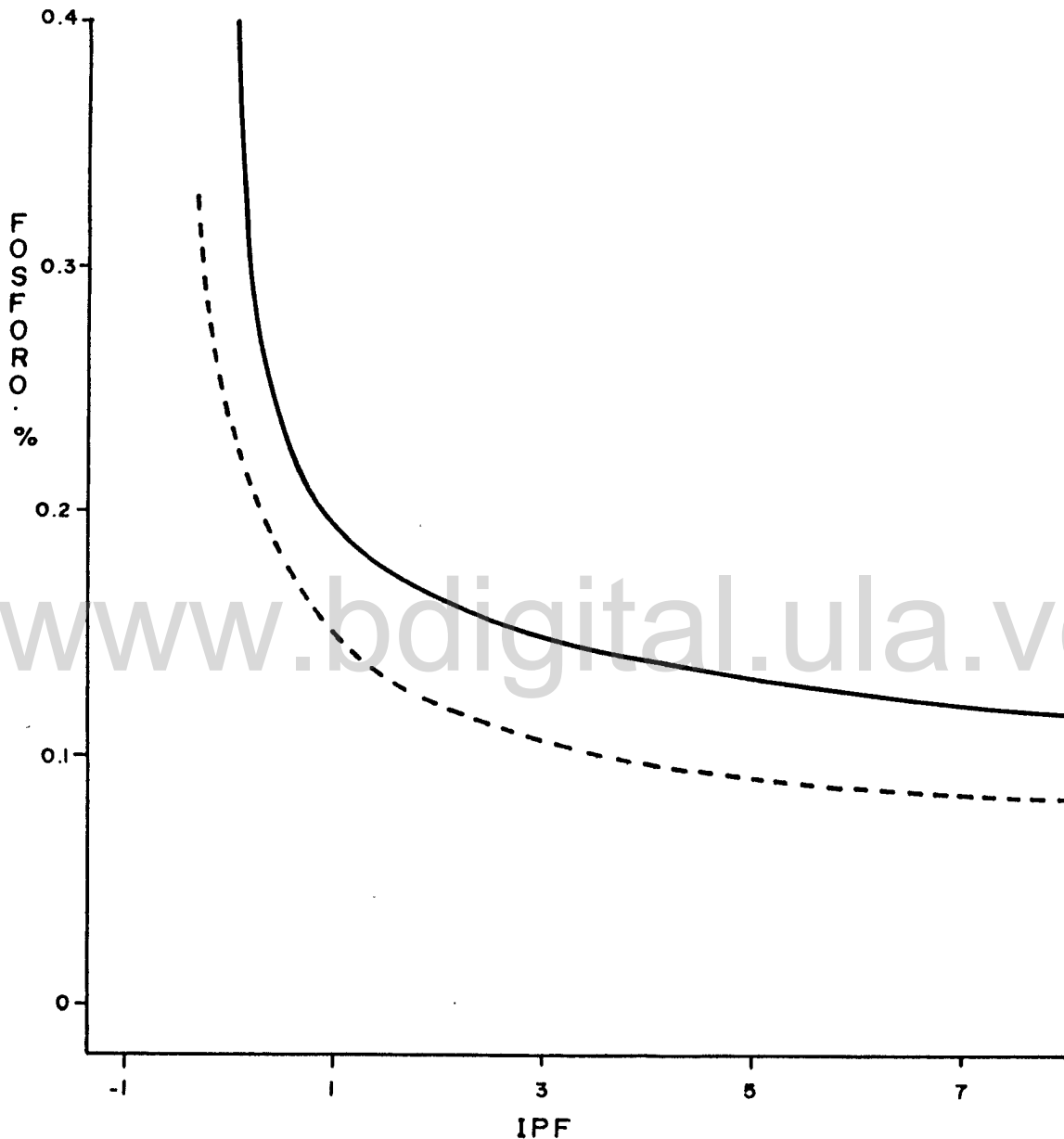


Figura 10. Variación en el contenido de fósforo en la hoja con la edad relativa (IPF) para el sitio I (—) y II (----).

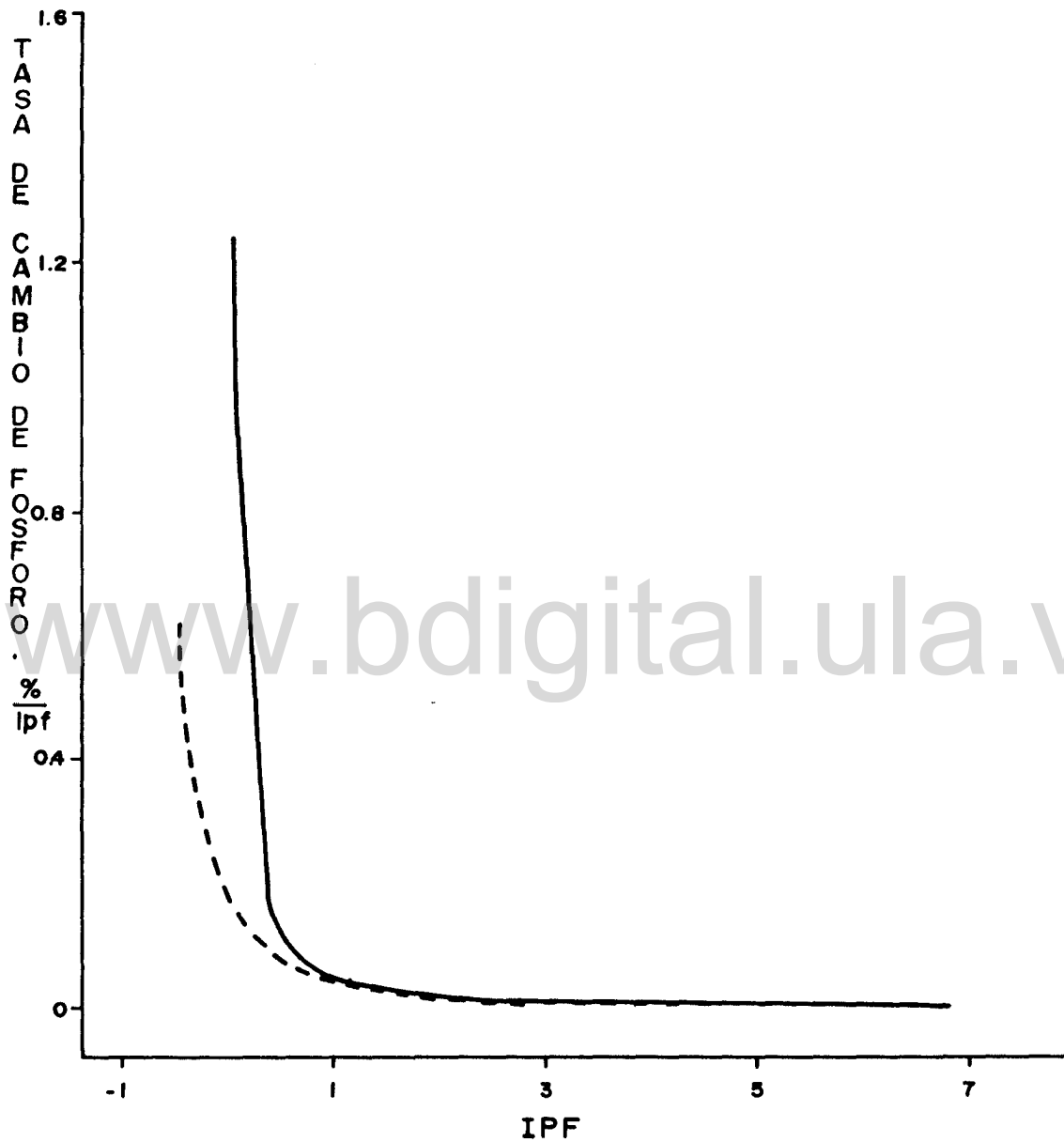


Figura 11. Tasa instantánea de cambio del contenido de fósforo en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio I (—) y II (- - -).

después del IPF  $-0,5$  hasta IPF 2; este descenso resulta más violento en las tasas instantáneas de cambio. Ahora, si comparamos estos resultados con las curvas de crecimiento foliar, este comportamiento coincidiría con la fase de maduración de la hoja. Después del IPF 2 las tasas disminuyen hasta llegar a cero y los contenidos de fósforo se estabilizan, etapa que coincide con la tercera fase del crecimiento en longitud (la senescencia foliar).

Antes de IPF  $-0,5$  se presenta la fase de crecimiento exponencial, aquí se esperaba que se presentara una acumulación rápida de nutrientes. Esto no fué posible determinar debido a que el material con edades inferiores a  $-0,5$  resultó insuficiente para los análisis foliares.

Las Figuras 12 y 13 muestran los contenidos en porcentaje de nitrógeno y potasio respectivamente con el índice plastocrónico foliar y las líneas continuas corresponden a las curvas ajustadas obtenidas a partir de las ecuaciones 5 y 6 (Cuadro 9). Ambas ecuaciones resultaron altamente significativas ( $\alpha < 1\%$ ) con coeficientes de determinación ( $r^2$ ) de  $0,64$  y  $0,79$  para el nitrógeno y el potasio, respectivamente; lo que implica que el  $64\%$  y  $79\%$ , respectivamente, de la variación total se atribuye a cada modelo; por lo tanto las ecuaciones resultan estadísticamente válidas y de gran valor práctico.

Las Figuras 14 y 15 muestran las curvas ajustadas para



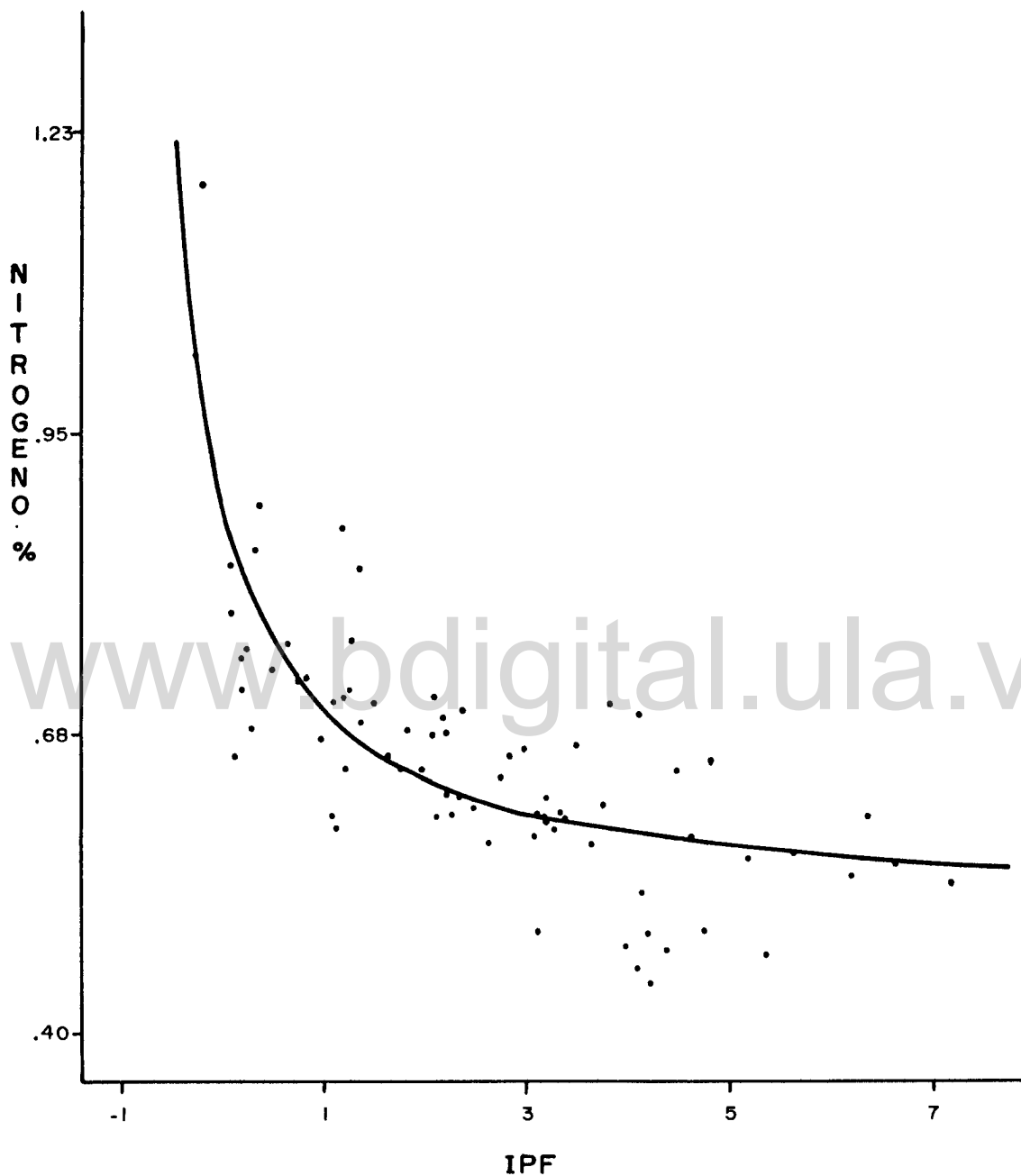


Figura 12. Contenido de nitrógeno en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio II. Curva ajustada (—).

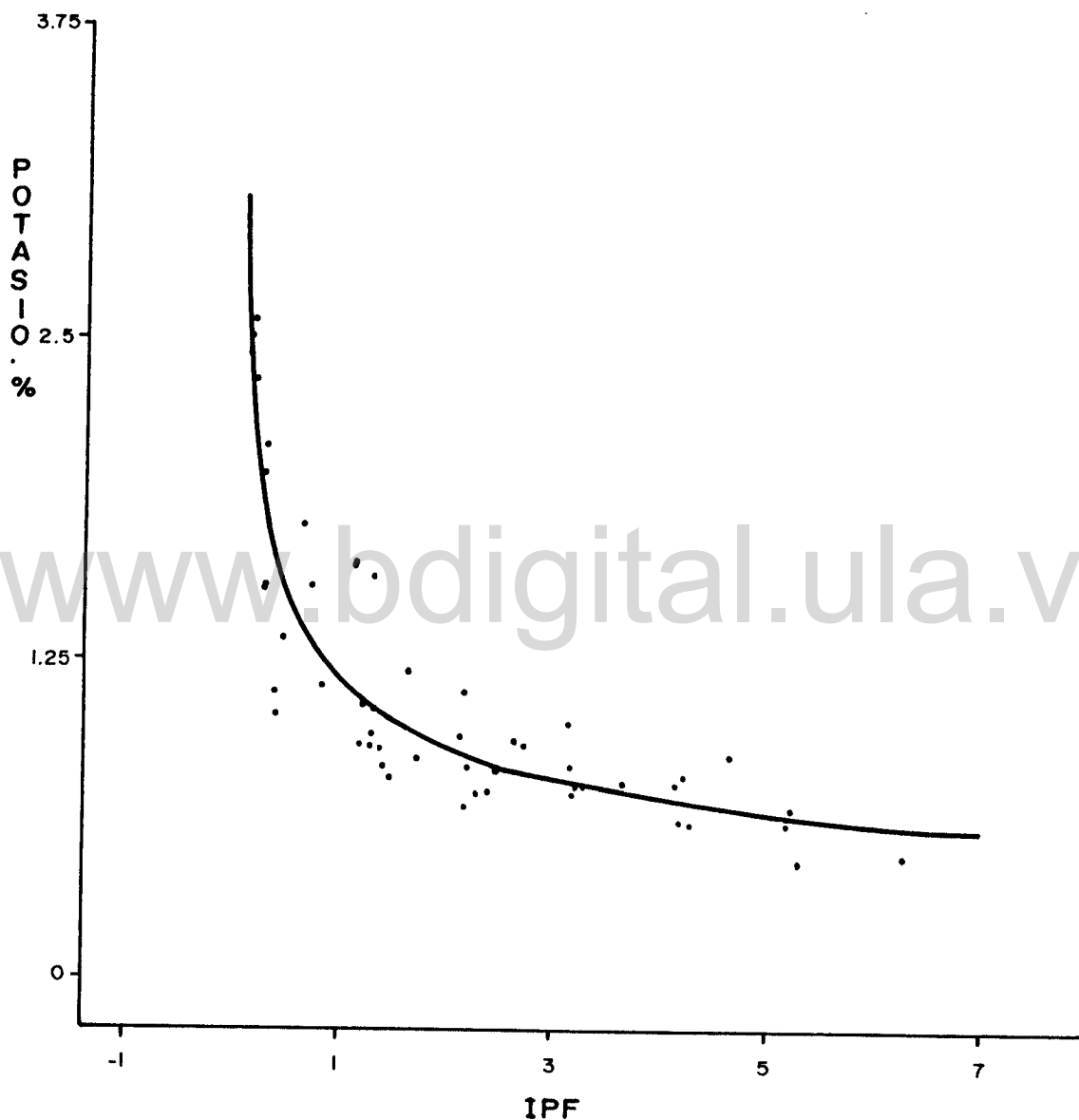


Figura 13. Contenido de potasio en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio I. Curva ajustada (—).

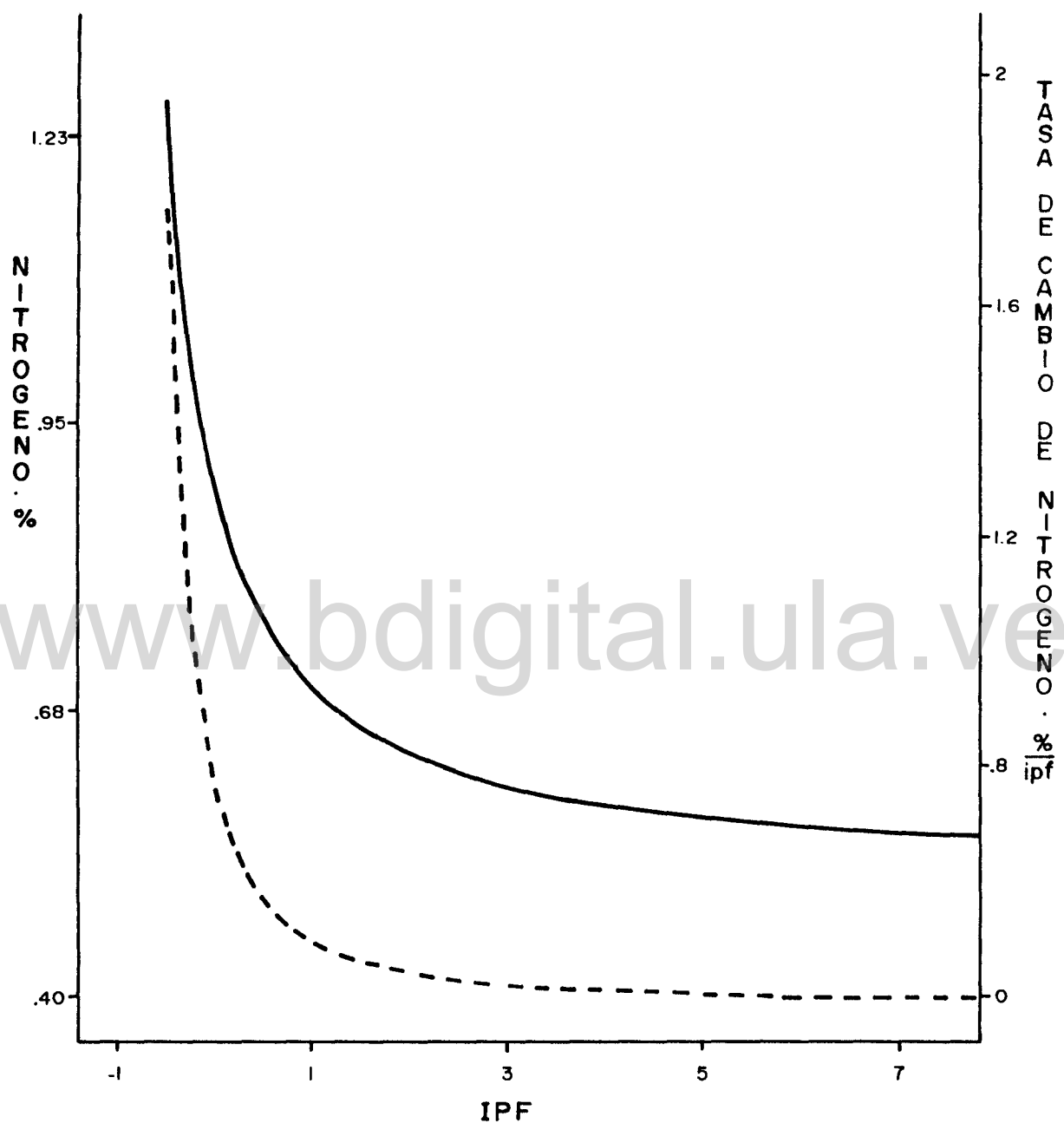


Figura 14. Variación en el contenido de nitrógeno (—) y tasa instantánea (----) en la hoja con la edad relativa (IPF) para el sitio II.

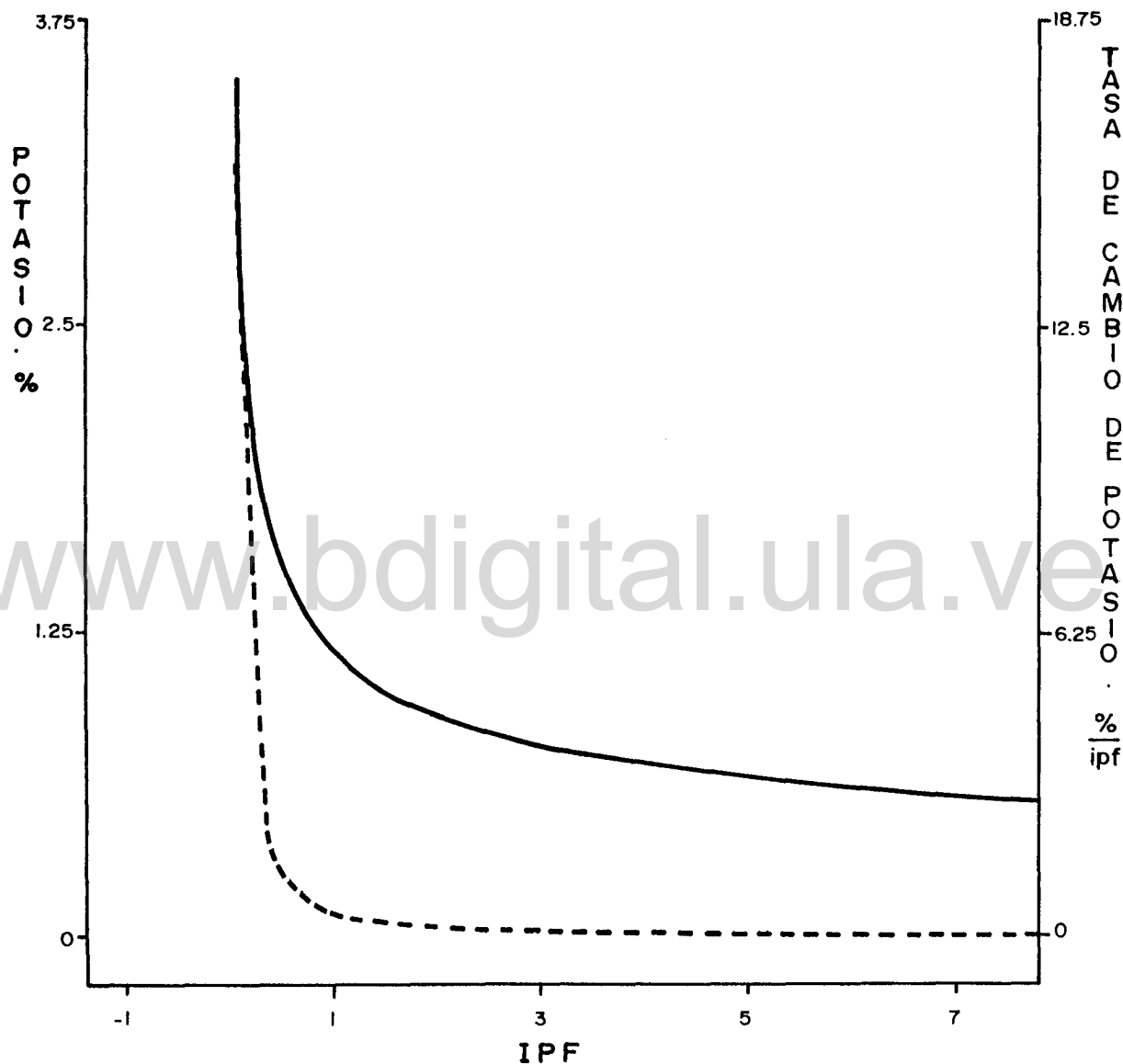


Figura 15. Variación en el contenido de potasio (—) y tasa instantánea de cambio (----) en la hoja con la edad relativa (IPF) para el sitio I.

la variación del contenido de nitrógeno y potasio junto a las tasas instantáneas de cambio, respectivamente, con el tiempo relativo. Aquí se tiene que hay una reducción rápida de los contenidos de nitrógeno y potasio a partir de IPF  $-\emptyset,5$  hasta IPF 2, y resulta aún más rápida para las tasas de cambio en el mismo rango. Este comportamiento coincide con la segunda fase de crecimiento foliar en longitud (la maduración). Luego, a partir del IPF 2 las curvas de variación en el contenido de nitrógeno y potasio se estabilizan y las tasas de cambio se reducen hasta llegar a cero; esta etapa corresponde a la fase de senescencia foliar.

En cuanto a las condiciones de drenaje estudiadas, se tiene que existen diferencias estadísticas significativas entre los contenidos de nitrógeno y potasio para ambos sitios (Cuadro 6).

El nitrógeno, el fósforo y el potasio presentan, cada uno, un gradiente de concentración que disminuye a medida que la hoja envejece. Esto podría explicarse ya que estos nutrientes presentan una gran movilidad hacia los centros de mayor actividad, localizados en los ápices caulinares y hojas jóvenes. Los resultados obtenidos para el nitrógeno son similares a los encontrados por Koo y Sites (1956) y Bakula et al. (1978), donde la concentración foliar aumenta a medida que se avanzaba de la base hacia el ápice de la rama, pero resulta contrario a lo encontrado por Smith (1966). El

gradiente obtenido para el potasio resulta opuesto a lo expresado por los autores citados en el párrafo anterior, quienes encontraron que este elemento disminuía a medida que se avanzaba de la base hacia el ápice de la rama.

En cambio, el calcio, el magnesio y el hierro no mostraron ningún tipo de gradiente, posiblemente por ser elementos estructurales de la planta, que muestran poca o ninguna movilidad (Anexos 3, 4 y 5). En cuanto a estos últimos elementos, Koo y Sites (1956) reportan la existencia de un gradiente para el calcio, el cual disminuía a medida que se avanzaba del ápice hacia la base de la rama.

En cuanto a las condiciones de drenaje consideradas, se tiene que existen diferencias estadísticas altamente significativas para el magnesio y ligeras para el calcio; en cambio, el hierro resultó no significativo (Cuadro 6).

#### Efectos sinérgicos.

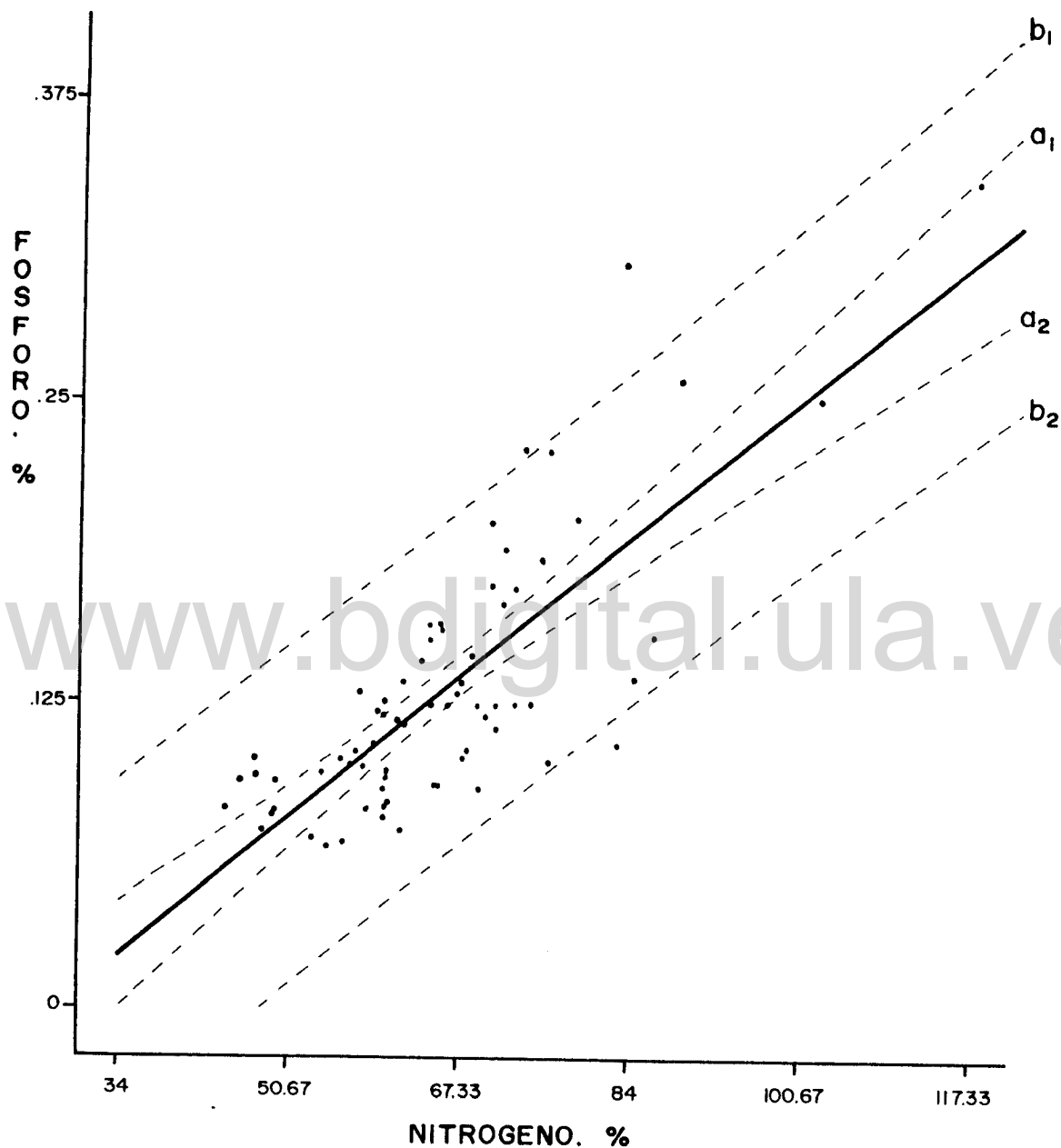
En los resultados del Cuadro 7 y 8 se observa que los coeficientes de correlación para el fósforo y el potasio en el sitio I y, para el nitrógeno y el fósforo en el sitio II, resultan altos y con signo positivo. Esto implica que existe un alto grado de asociación positiva entre las variables. Ferrer (1991), quien realizó estudios en los mismos suelos con la misma especie encontró, que los coeficientes de correlación eran altos y con signo positivo entre el fósforo

y el potasio, de 77 % y 86 % para el sitio I y II, respectivamente.

Las Figuras 16 y 17 muestran la concentración foliar, en porcentaje, de fósforo con potasio y fósforo con nitrógeno, respectivamente. Las líneas punteadas se refieren a los límites de confianza y de predicción, y las líneas continuas corresponden a las curvas obtenidas a partir de las ecuaciones 7 y 8 (Cuadro 9). Ambas ecuaciones resultaron altamente significativas ( $\alpha < 1\%$ ) con coeficientes de determinación ( $r^2$ ) de 0,81 y 0,62 para el sitio I y II, respectivamente; es decir, que el 81 y 62 % de la variación total se atribuye a cada modelo; por lo tanto las ecuaciones obtenidas resultan estadísticamente válidas y de gran valor práctico.

En las figuras antes citadas y en las ecuaciones 9 y 10 (Cuadro 9) se observa que existe una relación positiva de dependencia entre las variables; un incremento de potasio y nitrógeno resulta en un aumento de fósforo. Este comportamiento, donde un elemento se incrementa por el efecto de otro elemento, fué estudiado por Prevot y Ollagnier (1956), quienes lo definen como un efecto sinérgico.

Resultados similares fueron obtenidos por Richard y Heinselman (1965) en abetos negros, donde los niveles de fósforo se incrementaron a causa de un aumento en los niveles de nitrógeno.



**Figura 17.** Contenido de fósforo contra el contenido de nitrógeno en la hoja en el sitio II. Línea ajustada (—). Límites de confianza ( $a_1$ - $a_2$ ) y límites de predicción ( $b_1$ - $b_2$ ).



## Estado nutricional de las plantaciones.

Para determinar si la concentración foliar de nutrientes se encuentra en cantidades adecuadas para el desarrollo y vigor de las plantas, se hace referencia a resultados obtenidos en investigaciones realizadas en teca, a partir de la comparación de concentraciones de elementos en plantas saludables y enfermas o en plantas con síntomas o no de clorosis y necrosis.

Dreschel y Zech (1991), recopilaron una serie de trabajos relacionados con el estado nutricional de especies arbóreas de hoja ancha, especificando valores de deficiencia, bajos, normales y altos para árboles de teca de diferentes edades, entre otras. Los valores están referidos a las primeras hojas maduras de los brotes terminales de árboles codominantes, en condiciones de campo para árboles de 9 a 17 años de edad. Según esto, se tiene que: los valores de nitrógeno resultan muy bajos en ambos sitios, pues son inferiores al rango definido como bajo (1,35 - 1,58 %). El fósforo resulta bajo (0,11 - 0,13 %) en el sitio II, pero se encuentra en condiciones normales (0,15 - 0,21%) en el sitio I (Cuadro 5 y 6).

Los contenidos de potasio y magnesio se encuentran en concentraciones normales para ambos sitios (entre 0,88 a 2,05 % para el potasio y entre 0,20 a 0,34 % para el magnesio). El calcio se presenta en niveles normales para el sitio II, pero

se encuentra por encima de lo normal (0,70 - 1,52%) en el sitio I. El hierro fue el único microelemento estudiado, las concentraciones obtenidas son 1,35 ppm en el sitio I y de 2,07 ppm para el sitio II, estos valores resultan muy deficientes ya que el rango normal es de 97 a 182 ppm. La deficiencia de hierro se debe posiblemente, a la poca disponibilidad de este elemento en la forma ferrosa, que constituye la más importante para el desarrollo de la planta.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Existen diferencias en cuanto a la altura y el diámetro en las plantaciones de teca que crecen en suelos con drenaje moderado y deficiente. Los suelos con drenaje moderado muestran los mayores promedios de altura y diámetro en comparación a los suelos con drenaje deficiente. Por lo tanto la teca resulta ser una especie exigente en cuanto a requerimientos edáficos (drenaje, aireación y profundidad). De aquí, la importancia de tener en cuenta una cuidadosa selección del sitio que garantice altos rendimientos en cuanto al crecimiento.

Las hojas de teca no muestran diferencias estadísticas en cuanto a la longitud y el ancho para las condiciones de drenaje estudiadas, en cambio sí presenta grandes diferencias en altura y diámetro de los árboles y en el peso seco foliar, donde los árboles con mayor desarrollo y vigor presentan menor peso seco foliar. Esto puede deberse a que los productos de la fotosíntesis no son translocados con eficiencia hacia el tallo, convirtiéndolo en crecimiento, sino que queda en la hoja produciendo un desarrollo vicioso de la lámina foliar.

Las ecuaciones obtenidas para la longitud y el índice plastocrónico foliar, resultaron estadísticamente válidas y de gran valor práctico. Por lo tanto, la metodología empleada para calcular la edad relativa se ajusta al módulo de

crecimiento de las hojas de teca. Se sugiere que, de continuarse utilizando este método, se realice previamente un estudio del módulo de crecimiento, el cual consiste en determinar la forma en que aparecen las hojas durante el desarrollo de la rama. De esta manera, se determinaría si existe periodicidad en la salida de las hojas.

El índice plastocrónico foliar podría ser calculado utilizando las variables restantes (ancho, área o peso seco foliar) o, a través de un factor obtenido por la combinación de estas variables. Esto permitiría desarrollar ecuaciones basadas en el concepto de los plastocronos, que se ajustarían mejor a las características de crecimiento de las hojas de teca.

Las curvas de crecimiento en longitud de la hoja con el índice plastocrónico foliar para los dos sitios, resultaron similares. Estas curvas muestran claramente tres fases de desarrollo bien diferenciadas: la fase de crecimiento exponencial, la cual ocurre en forma rápida con una tasa de cambio en longitud que se incrementa hasta un máximo en el IPF  $-0,5$ , donde se experimenta el mayor crecimiento; luego la fase de maduración donde la tasa de cambio en longitud comienza a declinar hasta cerca de cero, aproximadamente cerca del IPF 2, y por último, la senescencia foliar, que es cuando la hoja alcanza su longitud máxima con una tasa de cambio en longitud igual a cero.

De continuarse con este trabajo y contando con información ya levantada, resulta importante considerar el crecimiento foliar bajo otras características como: el ancho, el área y el peso seco en condiciones contrastantes de drenaje, donde se encuentre posiblemente, que existen diferencias en la acumulación de peso seco durante el desarrollo de la hoja.

Las plantas que crecen en suelos con drenaje moderado presentan mayor concentración foliar de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y hierro, mientras que, la concentración de potasio resulta mayor en las plantas que crecen en suelos con drenaje deficiente. Por lo tanto, se tiene que las plantas absorben mayor cantidad de nutrientes en suelos bien drenados y que la concentración de potasio foliar en suelos con drenaje deficiente puede deberse a un mecanismo de equilibrio celular que le permite a la planta soportar temporalmente dichas limitaciones.

No se encontraron diferencias estadísticas en cuanto a los contenidos de fósforo foliar para ambos sitios, se cree que las condiciones de drenaje no afectaron la acumulación de este elemento. La concentración de fósforo foliar se encuentra dentro del rango normal en el sitio I, en cambio, resulta bajo para en el sitio II. Este elemento muestra claramente un gradiente de concentración que va de mayor a menor a medida que la hoja se desarrolla.

Se presentan diferencias estadísticas en los contenidos

foliares de nitrógeno para ambos sitios. Por lo tanto, las condiciones de drenaje afectaron la absorción de este elemento. El nitrógeno se encuentra en niveles de deficiencia en ambos sitios, esto podría deberse a las necesidades originadas por la floración y la fructificación, ya que en el momento del muestreo las plantas se encontraban con frutos. Se presenta un gradiente de concentración de nitrógeno que va de mayor a menor a medida que la hoja se desarrolla.

En cuanto a los contenidos de potasio, se tiene que existen diferencias estadísticas para los dos sitios. Este elemento se encuentra en niveles normales para la planta, siendo algo mayor en los suelos con drenaje deficiente. Se presenta un gradiente de concentración para el potasio que va de mayor a menor durante el desarrollo de la hoja.

El fósforo, el nitrógeno y el potasio son elementos de gran movilidad, que la planta transloca en ciertas cantidades para cubrir las demandas que se originan en las zonas meristemáticas. Era de esperarse que estos tres elementos se incrementaran en la fase de crecimiento exponencial, esto no fué posible debido a que la muestra no alcanzaba el peso suficiente para el análisis. Por lo tanto, se sugiere la obtención de muestras compuestas, que garanticen material suficiente para los análisis. Resulta importante el estudio de las variaciones de estos elementos en periodos semanales,

mensuales o anuales, que permitan un mejor conocimiento de la dinámica nutricional de la planta que garanticen conclusiones más precisas.

El calcio, el magnesio y el hierro no presentan ningún tipo de gradiente, al parecer, estos elementos son constituyentes estructurales de la planta, y que deben ser obtenidos principalmente del suelo. Las concentraciones foliares de calcio y magnesio resultan estadísticamente diferentes en ambos sitios. El magnesio presenta niveles normales para ambos sitios, mientras que, el calcio está en condiciones normales en el sitio II y por encima de lo normal en el sitio I.

No se encontraron diferencias estadísticas para la concentración del hierro en ambos sitios, éste se encuentra muy por debajo del rango definido como normal para la teca de la misma edad. Esta deficiencia se agudiza, ya que la forma utilizable para la planta es la ferrosa.

Se encontraron efectos sinérgicos entre el fósforo y el potasio para el sitio I y entre el fósforo y el nitrógeno para el sitio II. En cierta forma la concentración de fósforo foliar está determinada por la concentración de potasio y nitrógeno. Poco se conoce sobre estas interacciones, pero su estudio resulta más apropiado bajo condiciones controladas de laboratorio.

Para brindarle continuidad y vigencia a este tipo de trabajo, se recomienda en futuras evaluaciones el empleo de los mismos criterios, haciendo énfasis en la fecha de muestreo. Esto permitirá realizar comparaciones más válidas, ya que la concentración de nutrientes en la solución del suelo y, por lo tanto, la absorción de nutrientes por la planta fluctúan considerablemente durante el año (Chapin, 1980 y Socalo y Guzman, 1986).

Con respecto a las hojas que deben seleccionarse en el muestreo con fines de diagnóstico nutricional, se sugiere la recolección de hojas que presenten la mayor actividad fisiológica. De acuerdo a los resultados, esto correspondería a hojas con IPF  $\approx 0,5$ , que es cuando se presentan las mayores tasas instantáneas de cambio en longitud y de nutrientes en la hoja. Si el material resulta muy pequeño para los análisis de laboratorio, se propone la recolección de muestras compuestas que garantizan una mayor cantidad de material.



## BIBLIOGRAFIA

- Abeles, F. 1973. Ethylene in plant biology. Academic Press. New York.
- Bakula, J., J. Toledo y J. Estrada. 1978. Determinación de las hojas que deben muestrearse para fines de análisis foliar en naranjo "Washington Navel". An. Cient. U.N.A. (Univ. Nac. Agrar.) 16 (1-4): 129-134.
- Benitez, M. 1991. Establecimiento de cuatro ensayos de fertilización con fosforita y evaluación inicial del comportamiento en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en la Unidad II de la Reserva Forestal de Ticoporo, Estado Barinas. Trabajo de grado de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Bidwell, R. 1979. Plant physiology. Macmillan Publishing, C.O., New York. 726 p.
- Bowen, G. and E. Nambiar. 1984. Nutrition of plantation forests. Academic Press, London. 516 p.
- Brinckmann, W. 1983. Nutrient balance of a central Amazonian rain forest; comparison of natural and managed systems. In: Hidrology of Humid Tropical Regions. Reiner Keller ed. IAHS. Publication No 140 p. 153-163.
- Brix, H. 1962. The effect of water stress on the rates of photosynthesis and respiration in tomato plants and loblolly pine seedlings. *Physiol. Plant.* 15: 10-20.
- Brunck, F. 1987. Tropical forest species. In: Plant analysis an a guide to nutrient requirements of temperate and tropical crops. Eds. P. Martin-Prével, J. Gagnard and P. Gautier. pp 479-486. Lavoisier Publ., New York, Paris.
- Burrows, W. and D. Carr. 1969. Effects of flooding the root system of sunflower plants on the cytokinin content in the xylem sap. *Physiol. Plant.* 22: 1105-1112.

- Cañizales, N. 1990. Caracterización de los suelos en cinco ensayos de fertilización con fosforita en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en la Unidad II de la Reserva Forestal de Ticoporo, Estado Barinas, Venezuela. Trabajo de grado de Ingeniero Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Chapin, F. 1980. The mineral nutrition of wild plant. Annu. Rev. Ecol. Syst. 11: 333-360.
- Cook, J., C. Lynn and A. Kissler. 1960. Boron deficiencies in California vineyards. Am. J. Enol. Vitic. 11: 185-194.
- Culbert, D. and H. Ford. 1972. The use of a multi celled apparatus for anaerobic studies of flooded root systems. HortScience 7: 29-31.
- Drechsel, P. and W. Zech. 1990. Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: A tabular review. Plant Soil 131 (1): 29-46.
- Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. Wiley and sons. New York.
- Erickson, R. and F. Michelini. 1957. The plastochron index. Am. J. Bot. 44 (4): 297-305.
- Ferrer, F. 1991. Contenido foliar de macronutrientes y boro en una plantación de *Tectona grandis* en la Unidad II de la Reserva Forestal de Ticoporo, Estado Barinas. Trabajo de grado de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 50 p.
- Franco, W. 1988. El desarrollo de las plantaciones de teca en función de los suelos en la Unidad II de la Reserva Forestal de Ticoporo. Informe final. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela.
- Fulton, J. and A. Erickson. 1964. Relation between soil aeration and ethyl alcohol accumulation in xylem exudate of tomatoes. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 28: 610-614.

- Gambrell, R. and W. Patrick Jr. 1978. Chemical and microbiological properties of anaerobic soils and sediments. In: Plant life in anaerobic environments. D. Hook & R. Crawford eds. pp. 375-423. Ann Arbor, Michigan, Ann Arbor Science Publ.
- Grable, A. and R. Danielson. 1965. Influence of CO<sub>2</sub> on growth of corn and soybean seedling. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 29: 233-238.
- Hase, H. and H. Foelster. 1983. Impact of plantation forestry with teak (*Tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in West Venezuela. For. Ecol. Manage. 6: 33-57.
- Hernández, R. y F. Garcia. 1980. Cambios anatómicos y en el contenido de sustancias de reserva durante la hidratación de semillas de *Enterolobium cyclocarpum* Griseb. Acta Cient. Venez. 31: 167-173.
- Hill, J. and R. Malmberg. 1991. Rates of corolla growth in Tobacco determined with the plastochron index. Planta 185: 472-478.
- Holdridge, L. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center, San José, Costa Rica. 206 p.
- Hook, D., C. Brown and P. Kormanik. 1971. Inductive flood tolerance in swamp tupelo (*Nyssa sylvatica* var. *biflora* (Walt.) Sarg.). J. Exp. Bot. 22: 78-79.
- Jackson, M. 1970. Análisis químico de suelos. Omega S.A. Barcelona, España. 662 p.
- Jara, C., J. Dancé y R. Bazán. 1989. Nutrientes en el follaje de *Quararibea cordata* en un bosque de colinas bajas. Rev. For. Perú. 16 (2): 35-48.
- Jones, R. 1972. Comparative studies of plant growth and distribution in relation to waterlogging. V. The uptake of iron and manganese by dune and slack plant. J. Ecol. 60: 131-140.
- Kawase, M. 1978. Anaerobic elevation of ethylene concentration in waterlogged plant. Am. J. Bot. 65: 736-740.
- \_\_\_\_\_ 1981. Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. HortScience 16: 30-34.
- Keogh, R. 1980. El futuro de la teca en America Tropical. Unasylva 31 (126): 13-19.

- Koo, R. and P. J. Sites. 1956. Mineral composition of citrus leaves and fruits as associated with position on the tree. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 68: 245-252.
- Koeppen, W. 1948. Climatología. Trad. de P. P. Henndrichs Pérez, Fondo de Cultura Económica, México.
- Kozlowski, T. 1976. Water supply and leaf shedding. In: water deficits and plant growth (T. Kozlowski. ed.) Vol.IV, pp. 191-231. Academic Press. New York.
- \_\_\_\_\_ 1982. Water supply and growth, Part II Flooding. For. Abstr. 43 (3): 145-161.
- \_\_\_\_\_ 1984. Flooding and plant growth. Academic Press. New York. 356 p.
- Kramer, P. 1951. Causes of injury to plants resulting from flooding of the soil. Plant Physiol. 26: 722-736.
- \_\_\_\_\_ 1969. Plant and soil water relationships. A modern synthesis. McGraw-Hill. New York.
- Kramer, P. and W. Jackson. 1954. Causes of injury to flooded tobacco plants. Plant Physiol. 29: 241-245.
- Kriedemann, P. 1971. Photosynthesis and transpiration as a function of gaseous diffusive resistances in orange leaves. Physiol. Plant. 24: 218-225.
- Labanauskas, C., J. Letey, L. Stolzy and N. Valoras. 1966. Effects of soil oxygen and irrigation on the acumulation of macro and micronutrients in citrus seedlings (*Citrus sinensis* var. Osbeck). Soil Sci. 101: 378-384.
- Levy, J. 1967. L'application du diagnostic foliare a la determination des besoins alimentaires des vignes. Vignes et Vins 157: 23-31.
- Linares, R. 1991. Relación suelo productividad en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.) en la Unidad II de la Reserva Forestal de Ticoporo. Trabajo de grado de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes. 62p.
- Lindberg, T., U. Granhall and B. Berg. 1979. Ethylene formation in some coniferous forest soils. Soil Biol. Biochem. 11: 637-643.

- Lopez Ritas, J. y J. Lopez Melida. 1978. El Diagnóstico de suelos y plantas. Mundi-prensa. Madrid, España. 337 p.
- Luque, R. 1981. Clasificación preliminar de calidad de sitio para plantaciones juvenes de teca (*Tectona grandis*) en la Unidad I de la Reserva Forestal de Caparo. Centro de Estudios Forestales de Postgrado. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 24 p.
- Maksymowych, R. 1962. An analysis of leaf elongation in *Xantium pensylvanicum* Wallr. presented in relative elemental rates. Am. J. Bot. 49: 7-13.
- MARNR, 1979. Evaluación de tierras con fines de aprovechamiento agrícola. Programa Inventario Nacional de Tierras. Maracay, Venezuela.
- MARNR, 1982. Inventario de suelos sector Ticoporo. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Venezuela.
- Merino, R., J. Etchevers y P. Matamala. 1974. Efecto de la época de muestreo sobre los contenidos de boro del suelo y hojas en viñedos de secano del centro-sur de Chile (34-36°S). Turrialba 24 (4): 387-392.
- Monasterio, M. 1971. Reconocimiento ecológico de los llanos occidentales III, sur del Estado Barinas. Acta Cient. Venez. 22: 153-169.
- Muller, L. La nutrición mineral de las plantas. Proyecto 39. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Zona Andina. Lima, Perú. 33 p.
- Nwoboshi, L. 1984. Growth and nutrient requirements in a teak plantation age serie in Nigeria. II. Nutrient accumulation and minimum annual requirements. For. Sci. 30 (1): 35-40.
- Ochoa, G. 1982. Caracterización mineralógica y génesis de una secuencia de suelos desarrollada en depósitos aluviales del río Socopo, Ticoporo Estado Barinas. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 1870 p.
- Ochoa, G., C. Alvarado, Y. Oballos, J. Pereyra y F. Vargas. 1989. Caracterización de los suelos de la Reserva Forestal de Ticoporo. Barinas. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

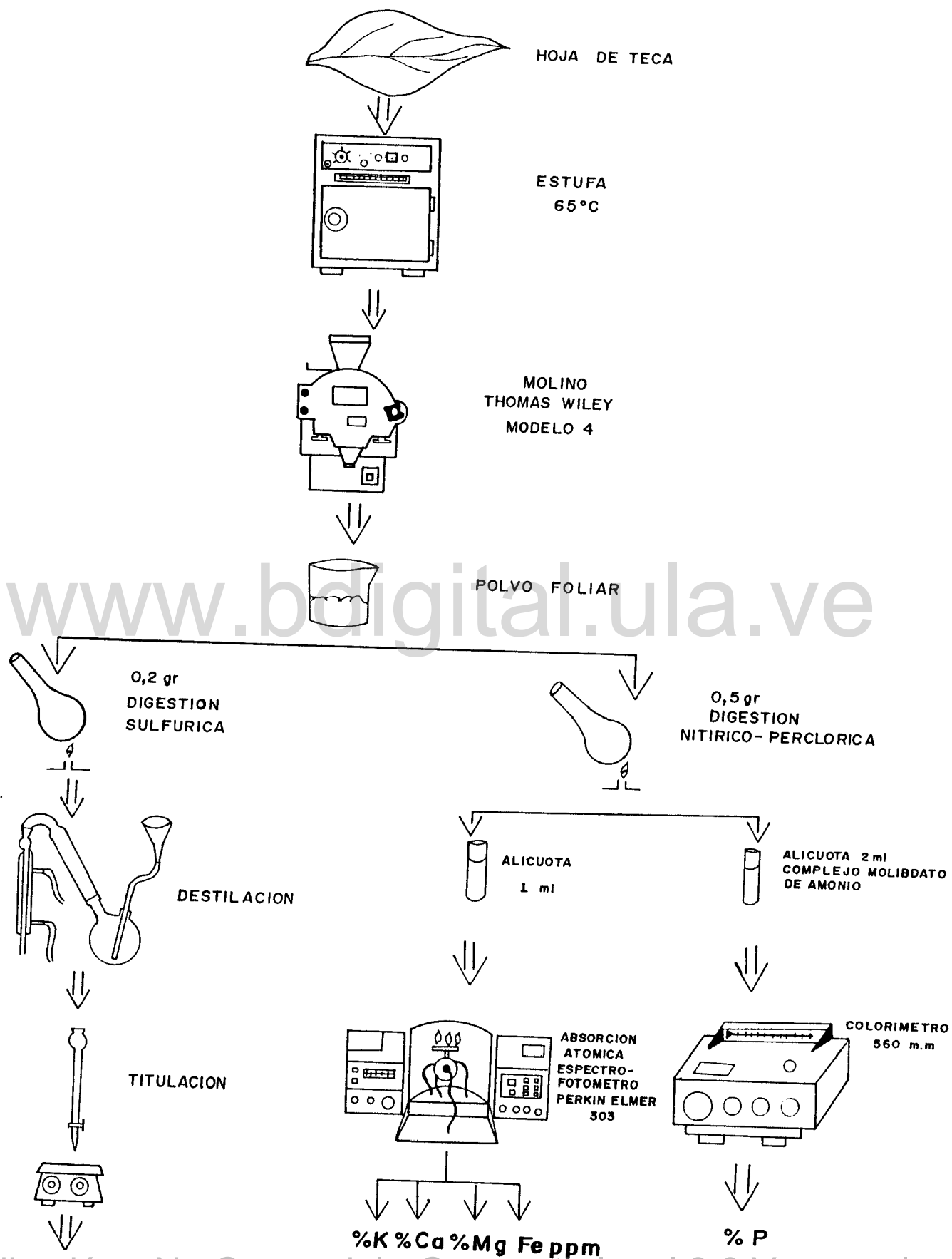
- Ortegano, O. 1991. Respuesta inicial a la fertilización con fosforita y caracterización del suelo en una cronosecuencia de una plantación de *Tectona grandis* en los llanos occidentales de Venezuela. Trabajo de grado de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 45 p.
- Parker, J. 1950. The effect of flooding on the transpiration and survival of some northeastern forest tree species. *Plant Physiol.* 25: 453-460.
- Pittier, H. 1926. Manual de plantas usuales de Venezuela y suplemento. Fundación Eugenio Mendoza, Caracas, Venezuela. 620 p.
- Ponnamperuma, F. 1972. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.* 24: 29-95.
- Prevot, P. and M. Ollagnier. 1956. Methode d'utilisation du diagnostic foliare. *Plant analysis and Fertilizer Problems.* Paris. 177-192.
- Regehr, D., F. Bazzaz and W. Boggess. 1975. Photosynthesis, transpiration, and leaf conductance of *Populus deltoides* Marsh. in relation to flooding and drought. *Photosynthetica* 9: 52-61.
- Richard, F. and M. Heinselman. 1965. Foliar nitrogen and phosphorus level related to site quality in a northern Minnesota spruce bog. *Ecology* 46 (3): 357-361.
- Rojas, D. 1988. Degradación de los suelos en la Unidad Experimental de Ticoporo. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 108 p.
- Rowe, R. and P. Catlin. 1971. Differential sensitivity to waterlogging and cyanogenesis by peach, apricot and plum roots. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 96: 305-308.
- Salazar, R. y W. Albertin. 1974. Requerimientos edáficos y climáticos para *Tectona grandis* L. *Turrialba* 24 (1): 66-70.
- Sanderson, P. and W. Armstrong. 1980. Phytotoxins in periodically waterlogged forest soils. *J. Soil Sci.* 31: 643-653.
- Santaromita, E. 1966. Plan de ordenación y manejo de la Unidad Forestal II. Reserva Forestal de Ticoporo. CONTACA. 62 p.

- Scott, L. 1941. An instance of boron deficiency in the grape under field condition. Proc. Am. Hortic. Soc. 38: 375-378.
- Sena, A. and T. Kozlowski. 1980. Responses of *Pinus halepensis* seedlings to flooding. Can. J. For. Res. 10: 308-311.
- Smith, P. 1966. Leaf analysis of citrus, In: N. F. Childers (ed.). Temperate to Tropical Fruit Nutrition. Horticultural Publications, Rutgers the State University, N. J. 8: 208-228.
- Socalo, V. y L. Guzman. 1986. Variaciones anuales en el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en hojas de una plantación de limón sutil (*Citrus aurantifolia* Swing) en la Costa del Perú. Turrialba 36 (1): 25-31.
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach towards a national classification of climate. Geogr. Rev. 38: 55-94.
- Torres, A. 1982. Influencia del sitio y la espesura en el crecimiento de plantaciones experimentales de teca (*Tectona grandis* L.) en Caparo, Venezuela. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 67 p.
- Turner, F. and W. Patrick. 1968. Chemical changes in waterlogged soils as a result of oxygen depletion. Transaction of the Ninth International Congress of Soil Science 4: 53-65.
- Weir, C. 1966. Leaf sampling for foliar analysis of citrus in Trinidad. Hortic. Abstr. 36 (3): 625.
- Zambrano, T. 1993. Modelo preliminar de simulación de crecimiento en la teca de la Unidad II. Reserva Forestal de Ticoporo. Trabajo de Postgrado en ejecución. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Zech, W. and P. Drechsel. 1991. Relationships between growth, mineral nutrition and site factors of teak (*Tectona grandis*) plantations in the rain forest zone of Liberia. For. Ecol. Manage. 41: 221-235.

www.**ANEXOS**.ula.ve

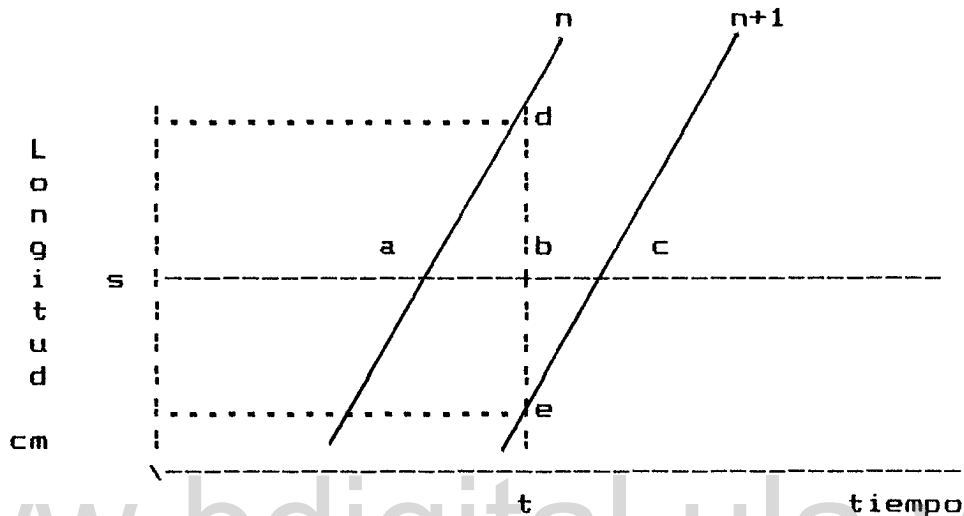


# Anexo 1. Metodología del analisis foliar.



## ANEXO 2

El cálculo del índice plastocrónico foliar fué desarrollado a partir de tres criterios, que se originan del gráfico siguientes:



Donde se tiene que: la primera fase de crecimiento de la hoja ocurre con una tasa exponencial, lo cual implica que en esta fase las curvas son aproximadamente lineales; en la primera etapa de desarrollo de hojas sucesivas en una misma planta, se presenta una misma tasa de crecimiento, lo que indica que las curvas son paralelas y, por último, los plastocronos de hojas sucesivas son de una misma longitud para una planta en particular, haciendo que las curvas sean equidistantes.

Del gráfico anterior se tiene que la fórmula para calcular el índice plastocrónico para una planta en un tiempo  $t$ , que se encuentra entre los nudos  $n$  y  $n+1$ , es la siguiente:

$$IP = n + ab/ac$$

Siendo el triángulo "abd" similar al triángulo "bcd", se tiene que:

$$IP = n + db/de$$

Donde la distancia "db" es el  $LN(ln) - LN(s)$  y la distancia "de" es el  $LN(ln) - LN(ln+1)$ . De esta forma se tiene que:

$$IP = n + (LN(ln) - LN(s) / LN(ln) - LN(ln+1))$$

Para calcular el índice plastocrónico Foliar se utiliza la fórmula siguiente:

$$IPF = IP - a$$

Donde "a" es el número del nudo donde está la hoja a la que queremos conocer la edad.

A manera de ejemplo, se seleccionó una rama que contenía 8 pares de hojas.

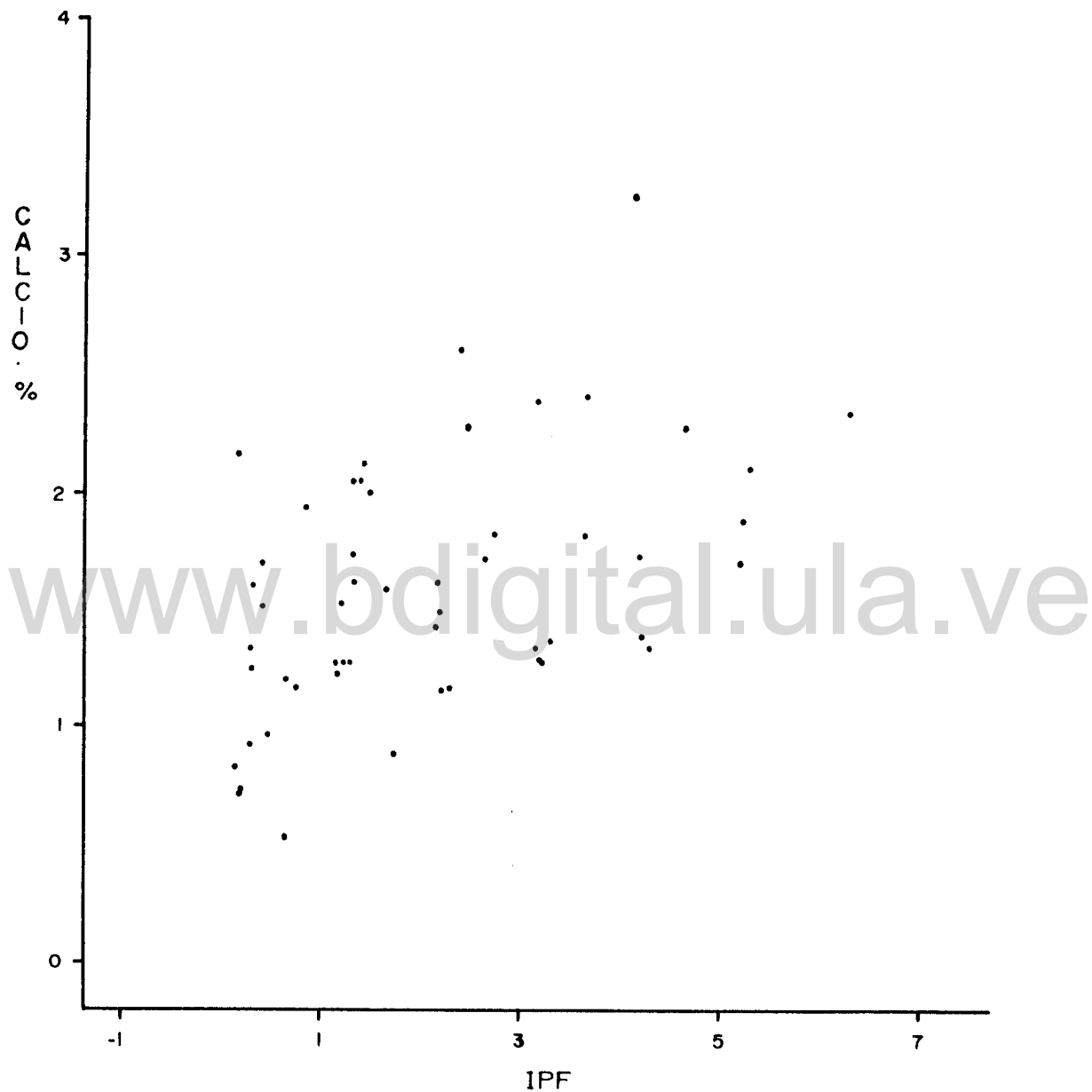
Hoja N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Long cm	24,05	41,45	46,75	44,15	49,50	45,20	22,50	0,30
IPF	6,094	5,094	4,094	3,094	2,094	1,094	0,094	-0,91

Para un valor s de 15 cm, se tiene que:

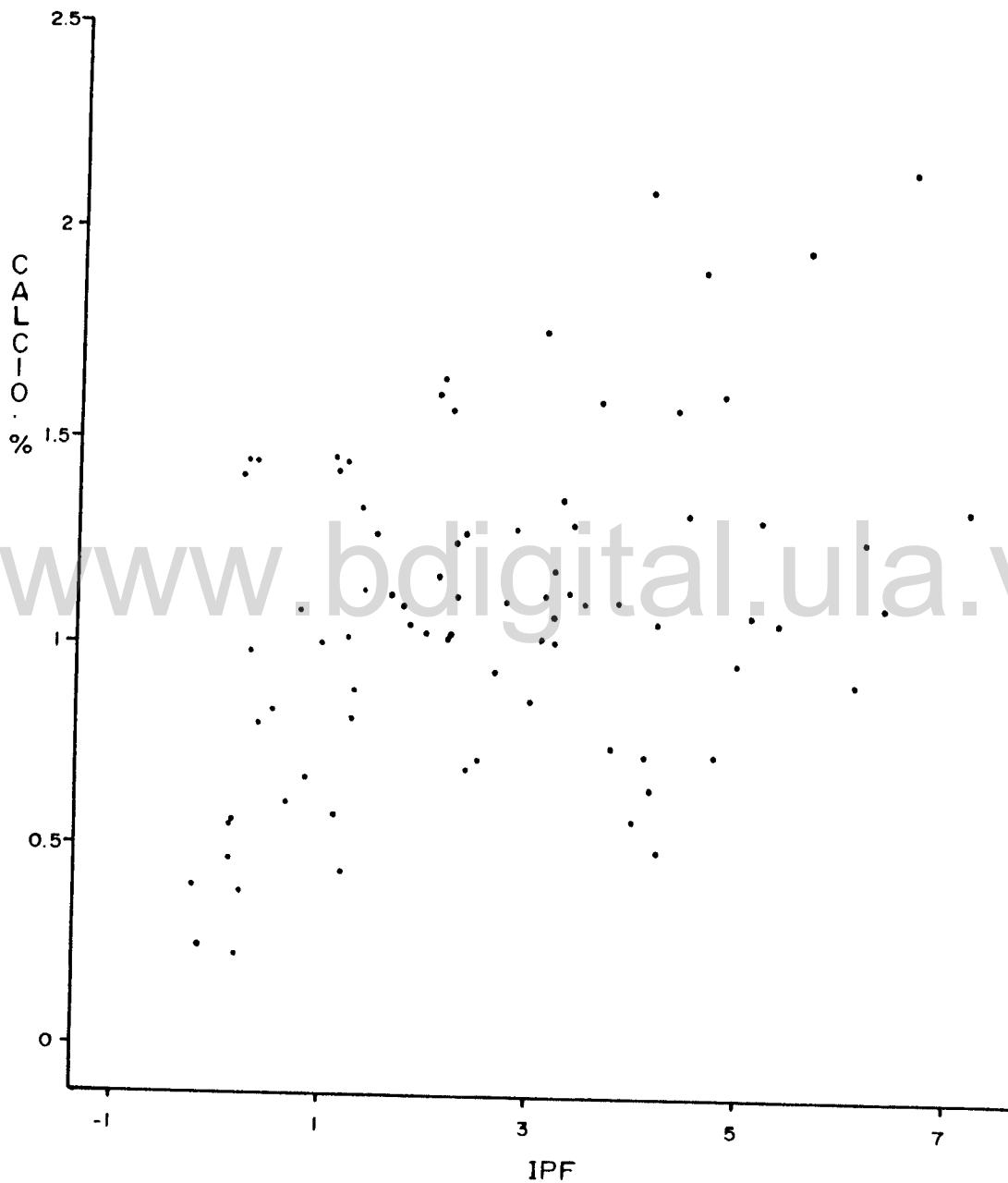
$$IP = 7 + (LN(22,5) - LN(15) / LN(22,5) - LN(0,3))$$

$$IP = 7,094$$

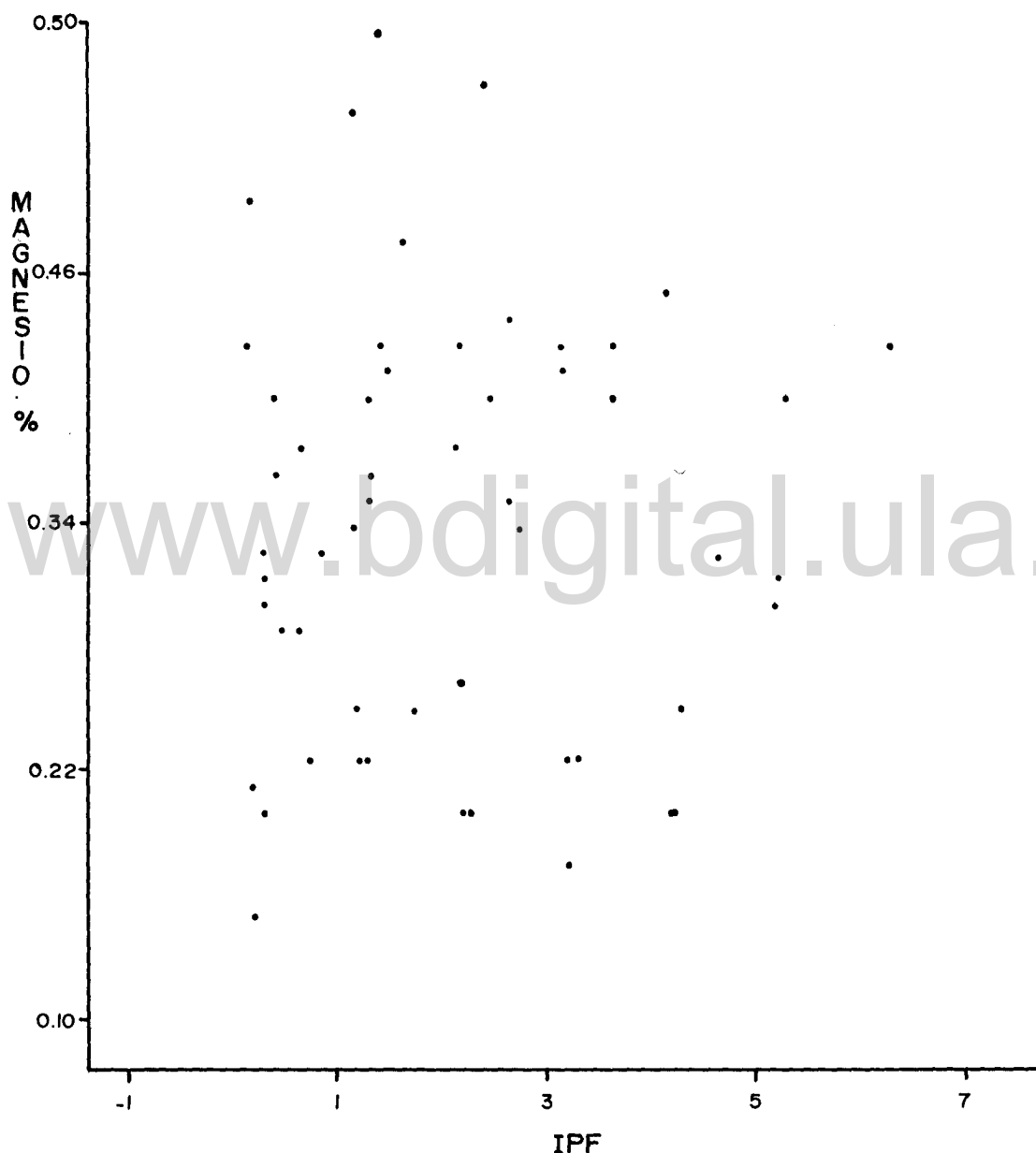
$$IPF = 7,094 - 1 \quad IPF = 6,094$$



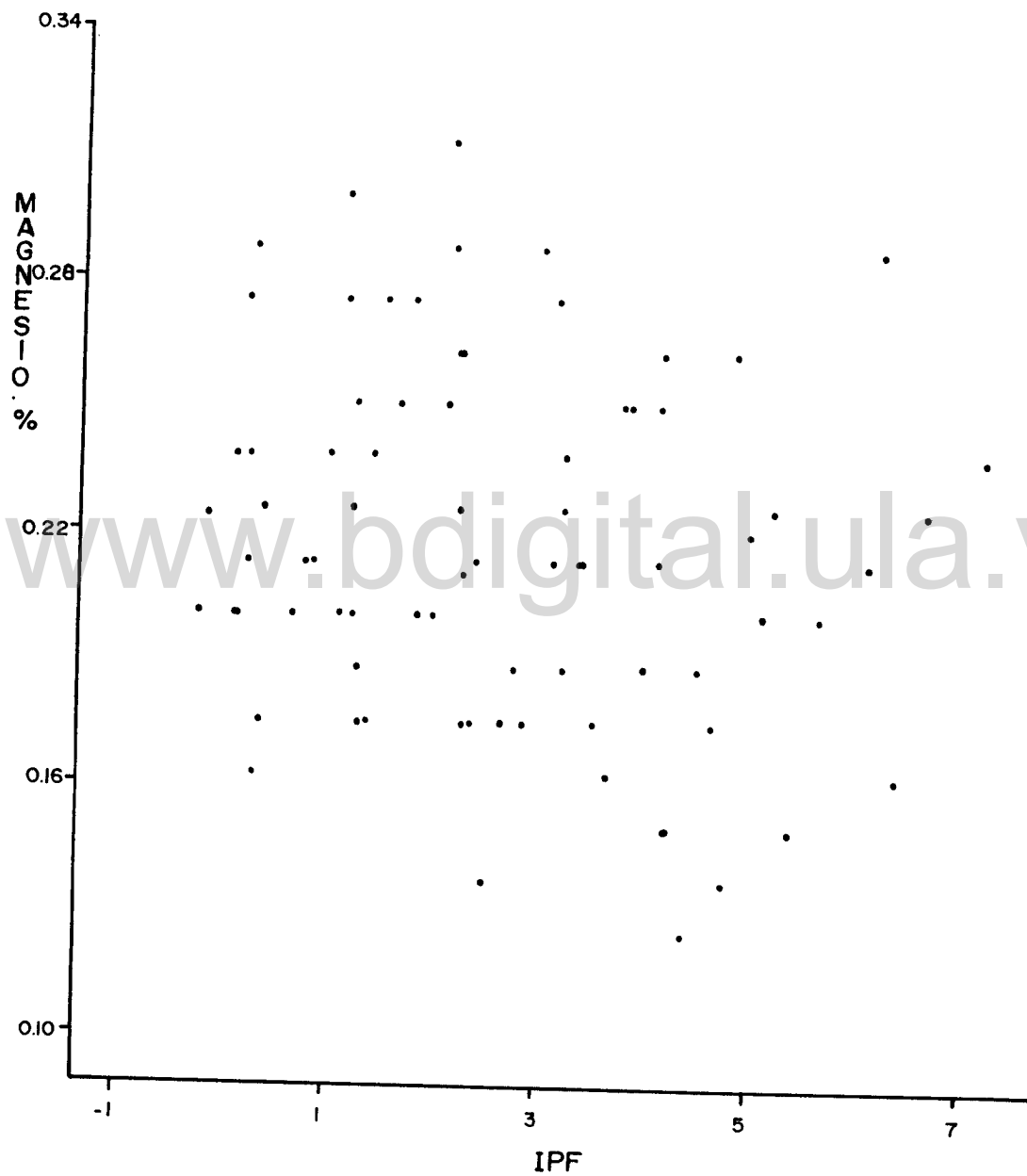
**Anexo 3. Contenido de calcio en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio I.**



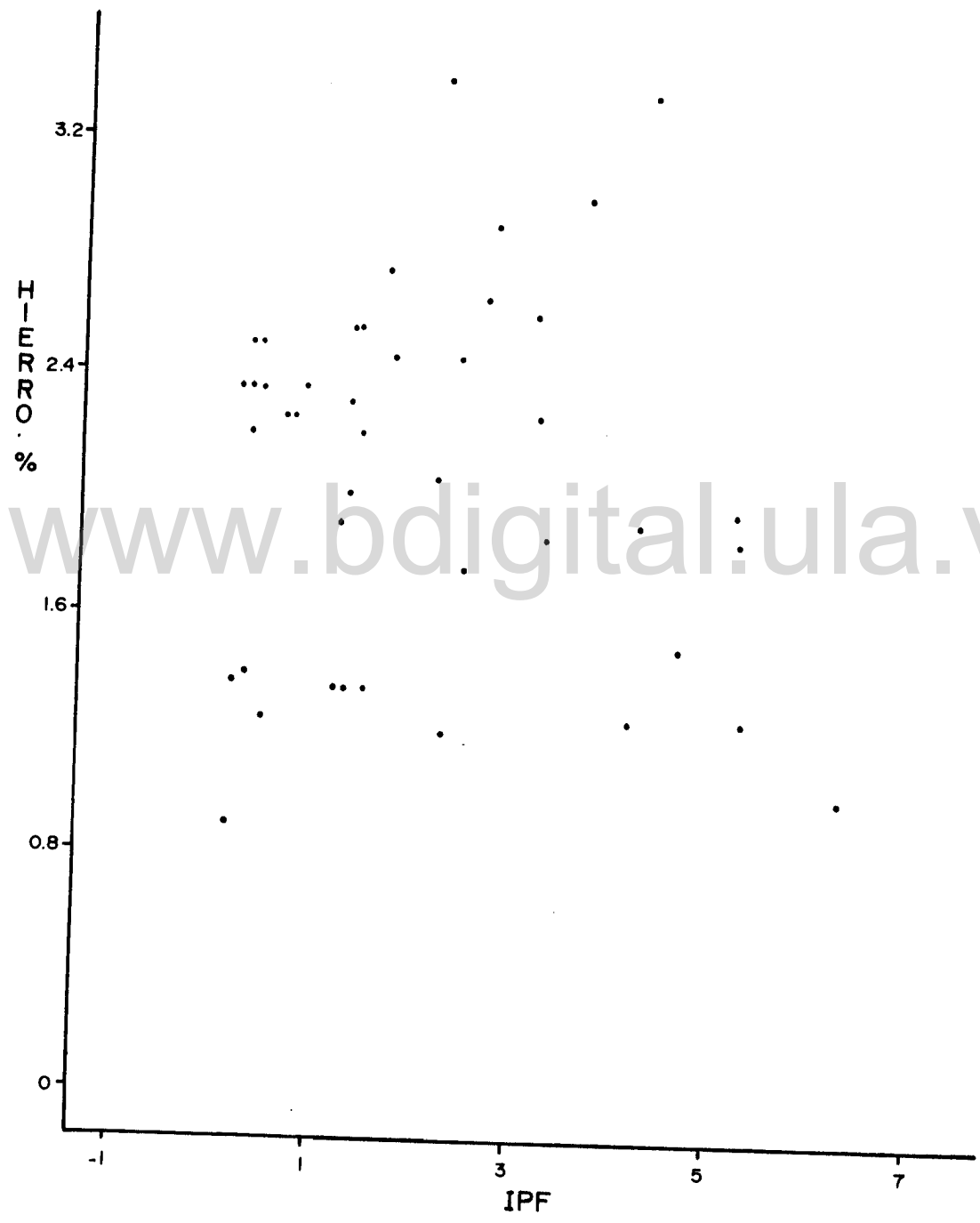
**Anexo 4. Contenido de calcio en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio II.**



**Anexo 5. Contenido de magnesio en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio I.**

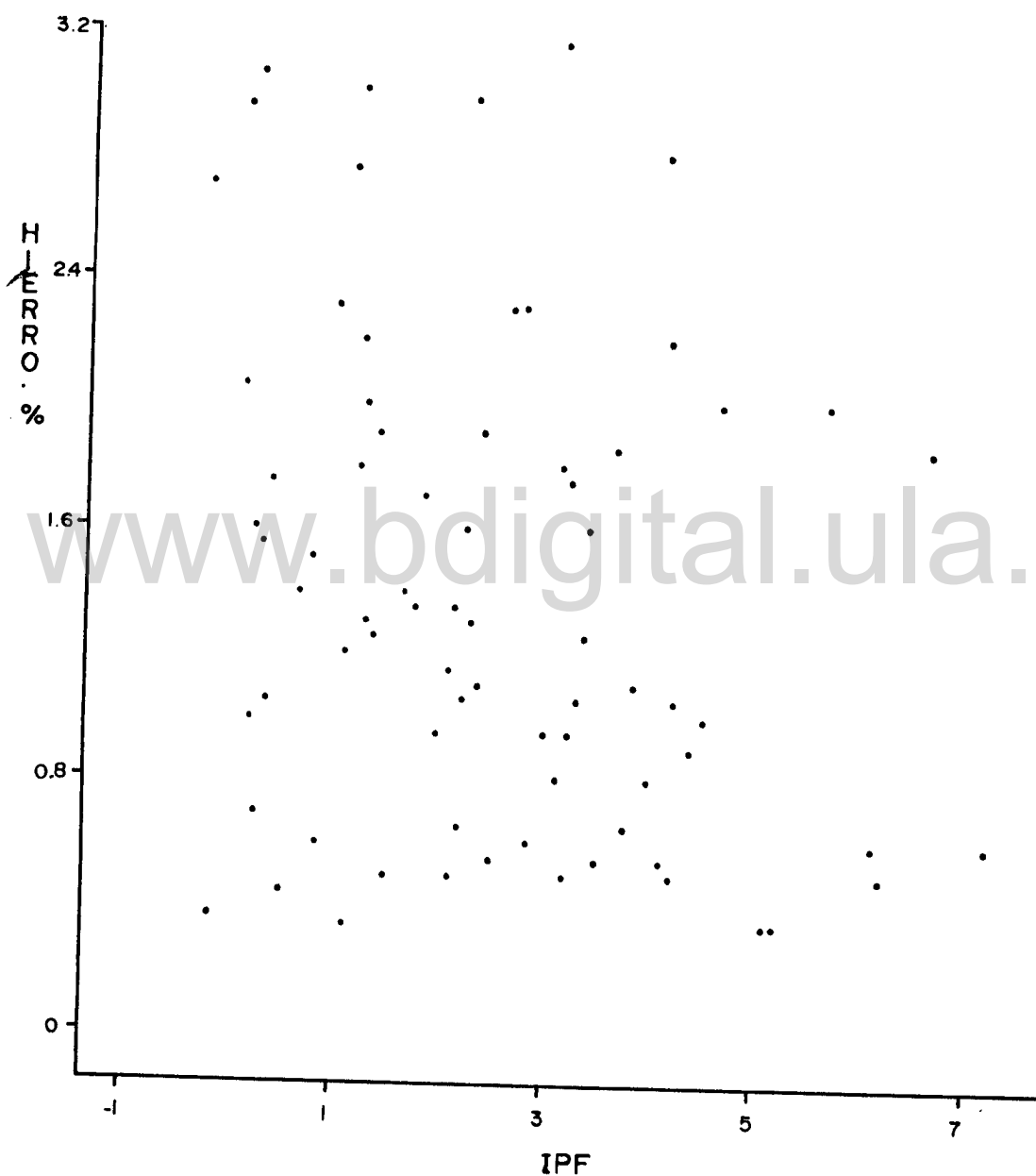


**Anexo 6. Contenido de magnesio en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio II.**



Anexo 7. Contenido de hierro en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio 1.





**Anexo 8. Contenido de hierro en la hoja con el índice plastocrónico foliar para el sitio II.**