

EFFECTO DEL ABATIMIENTO HIDRICO SOBRE EL
CRECIMIENTO Y PRODUCCION DE FORRAJE
DEL ZACATE BUFFEL. (*Cenchrus ciliaris* L.)

RAMON GUTIERREZ LUNA

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL **BIBLIOTECA**
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN MANEJO DE PASTIZALES



**Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro**

**PROGRAMA DE GRADUADOS
Buenavista, Saltillo, Coah.
DICIEMBRE DE 1991**

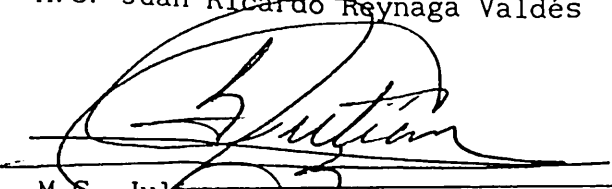
Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular
de asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar
al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN:
MANEJO DE PASTIZALES

COMITE PARTICULAR

Asesor Principal 

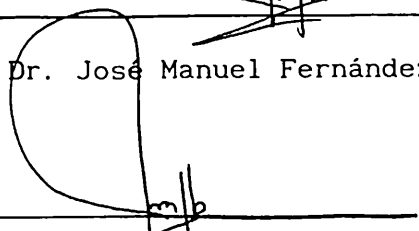
M.C. Juan Ricardo Reynaga Valdés

Asesor 

M.C. Julian Gutiérrez Castillo

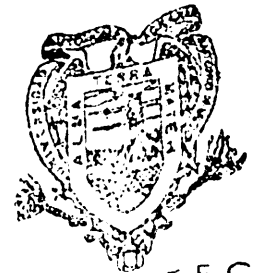
Asesor 

Dr. José Manuel Fernández Brondo



Dr. José Manuel Fernández Brondo

Subdirector de Asuntos de Postgrado



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.N.

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Diciembre de 1991

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Forestales y Agropecuarias (INIFAP).

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN).

Al Dr. Ramón A. Martínez Parra, por el decidido y desinteresado apoyo brindado para la realización de mis estudios de maestría.

Al Ing J. Ricardo Reynaga Valdés por las sugerencias en la planeación , desarrollo de la investigación y el análisis de la información, así como en el escrito de la tesis.

Al Ing. Julian Gutiérrez Castillo, por el apoyo brindado, durante mi estancia en el Departamento de Recursos Naturales Renovables de la UAAAN, así como por sus sugerencias al escrito de tesis.

Al Dr. J. Manuel Fernández Brondo por sus atinadas sugerencias en la planeación y análisis de la información así como en el presente escrito.

Finalmente deseo patentizar mi agradecimiento a quién (es) me auxilió (aron) en la operación de la investigación.

DEDICATORIA

A QUIENES MORALMENTE ESTAN CONMIGO

COMPENDIO

EFECTO DEL ABATIMIENTO HIDRICO SOBRE EL CRECIMIENTO Y
PRODUCCION DE FORRAJE DEL ZACATE BUFFEL

(*Cenchrus ciliaris*. L)

POR

RAMON GUTIERREZ LUNA

MAESTRIA EN CIENCIAS

MANEJO DE PASTIZALES

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. DICIEMBRE DE 1991

M.C. JUAN RICARDO REYNAGA VALDES-ASESOR

Palabras Clave: (*Cenchrus ciliaris* L.) buffel común, niveles de abatimiento hídrico, índices de eficiencia del crecimiento, fenología, producción, índices de cosecha, índices de uso eficiente del agua, parámetros funcionales.

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del abatimiento hídrico sobre el índice de crecimiento y la producción de forraje, índices de cosecha y uso eficiente del agua, además de los

parámetros funcionales (transpiración y fotosíntesis neta) del zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) variedad común. Los niveles de abatimiento hídrico evaluados en la investigación, se seleccionaron entre el rango de la capacidad de campo (C.C.) y punto de marchitez permanente (P.M.P.) del suelo, cada tratamiento se inició desde la C.C. dejándose abatir hasta el 25, 50 y 75 por ciento (tratamiento A, B y C respectivamente), del volumen total de agua retenida por el suelo; nivel en el cual se regó, hasta llegar de nueva cuenta a la C.C.

Se evaluó la dinámica de crecimiento a través de: Tasa de asimilación neta (mg M.S/ cm^2 hoja día), índices de eficiencia del crecimiento e índices de cosecha a través de los diferentes estados fenológicos (8^{va} hoja, ahijamiento, gran crecimiento, excursión de panícula y madurez fisiológica del cariopsis). Así mismo, se evaluaron el uso eficiente del agua (g de materia seca /g de agua transpirada) para hojas, vainas, culmos y crecimiento subterráneo, y las tasas transpiratorias ($\text{mmol H}_2\text{O / m}^2 \text{ s}^{-1}$) y fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

El tratamiento C, presentó el máximo IEC para hojas desde la octava hoja hasta la madurez fisiológica, mostrando un decremento a partir de la etapa de grano masoso, por otra parte se encontró que a mayor disponibilidad de agua el IEC en hojas decrece; el IEC del crecimiento aéreo fue mayor en el tratamiento B, sin embargo a partir de la etapa de gran crecimiento disminuye. Respecto al IEC de raíz el tratamiento B es superior en las etapas de octava hoja a gran crecimiento, etapa esta última en que los tratamientos C y A superan el IEC del tratamiento B.

En la etapa de 8^{va} hoja el tratamiento C obtuvo la máxima área foliar (cm²) con 7.84. En la etapa de excursión de panícula se observó la máxima área foliar (cm²) para el tratamiento A con 446.78.

Los componentes del rendimiento en hojas, vainas, culmos, espiguillas, corona y raíz fueron superiores a mayor disponibilidad de agua (10.825, 7.291, 30.992, 11.766, 3.600 y 21.000 contra 7.966, 6.117, 21.349, 10.889, 1.700 y 12.200 g de materia seca promedio por individuo en los tratamientos A y C respectivamente, en la etapa de madurez fisiológica.

Índice de Cosecha. Proporcionalmente el tratamiento C mostró el mejor índice de cosecha para hojas, vainas, culmos y espiguillas (1:7.56, 1:9.84, 1:2.82 y 1: 5.53 g por cada estructura respectivamente vs peso de materia seca total).

El índice de mayor eficiencia en el uso del agua (g de materia seca producidos / g de agua transpirada) fue para el tratamiento C con las estructuras de: hojas, vainas y espiguillas con 1:706.88, 1:920.48 y 1:517.12 respectivamente.

La mínima transpiración fue a las 12:30 hr del día, incrementando el uso eficiente del agua hasta 453.46, 238.15 y 1189.12 g CO₂ 10 l de H₂O⁻¹ para los abatimientos hídricos B, A y C respectivamente.

En aquellas áreas donde el recurso agua es moderadamente disponible y donde el objetivo sea la producción de forraje con zacate buffel bajo riego, es recomendable, tener abatimientos hídricos hasta del 50 por ciento de la humedad aprovechable en el suelo.

No se recomienda, explotar al buffel en condiciones superiores al 50 por ciento de la humedad aprovechable, aún en lugares donde al agua no sea limitante para la producción.

ABSTRACT

EFFECT OF AVAILABLE MOISTURE DEFLECTION ON THE GROWTH
AND PRODUCTION OF BUFFEL GRASS (*Cenchrus ciliaris* L.)

BY

RAMON GUTIERREZ LUNA

MASTER OF SCIENCE

RANGE MANAGEMENT

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. DECEMBER 1991.

M.S. Juan Ricardo Reynaga Valdés-Adviser-

Key Words: (*Cenchrus ciliaris* L), Common Buffel , leves of moisture deflection, growth efficiency indexes, production, phenology, harvest indexes, water use efficient indexes, functional parameter.

The general objective of this research was to determine the effect of moisture deflection on the growth and production of buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L). The levels of moisture deflection to evaluate were selected from the field capacity-wilting point range; in each treatment the moisture deflection was initiated from the field capacity until reaching 25, 50 and 75 percent of the total available moisture, then, the moisture content was brought back to the field capacity.

The evaluated parameters were:

The dynamics of the growth was measured through the following phenological stages: 8th leaf, tillering, grand growth, panicle release, dough grain and physiological maturity of the cariopsis. On which the growth efficiency indexes rate (GEI) in mg of dry matter. m^{-2} time⁻¹, for leaves, sheats, tillers and root was determined.

Dry matter production in levels, sheats, tillers, spikelets, crown and roots, in physiological maturity of the cariopsis.

Production indexes for leaves, sheats, tillers, spikelets and underground growth (crown and root).

Water use efficiency indexes (g of dry matter per g of transpired water) for leaves, sheats, tillers and underground growth.

The functional parameters measured during the stage of dough grain were: transpiration, photosynthesis at 8:30, 12:30 and 16:30 hr.

The results that are showed in this summary are only the superior.

The treatment C showed the maximum GEI for leaves, B for total aerial growth (leaves + tillers + sheats + rachis) and the treatment A for radical GEI.

The leaf area showed a direct response to the soil water availability. The phenological stages of grand growth and panicle release for the three levels of moisture deflection (A, B and C, respectively) showed the maximum leaf area (5.572, 5.532, 5.524 and 6.182, 5.950, 5.504 cm²) for every stage in each treatment, respectively.

The dry matter production in leaves, sheaths, tillers, spikelets, crown and root were superior while the water availability was increased (10.825, 7.291, 30.992, 11.766. 3.600 and 21.000 vs 7.966, 6.117, 21.349, 10.889, 1.700 and 12.200 g of dry matter in the A and C treatment, respectively).

Proportionally the C treatment showed the better production index in leaves, sheaths, tillers, and spikelets (1:7.56, 1:9.84, 1:2.82 and 1:5.53 g per each structure respectively versus total dry matter weight).

The index of major efficiency in water use (g of produced dry matter vs g of water) was for treatment C with the structures: leaves, sheaths and spikelets with 1:706.88, 1:920.48 and 1:517.12 respectively.

The minimum transpiration was at 12:30, increasing the water use efficiency up to 453.46, 238.15 and 1189.12 g CO₂ . 10 l H₂O⁻¹ for the treatments A, B and C, respectively.

In those areas where water is moderately available and where the objective is the forage production through irrigated buffel grass, soil moisture deflections up to 50 percent are desirable.

INDICE

	Página
INDICE DE CUADROS.....	XVI
INDICE DE FIGURAS.....	XX
INTRODUCCION.....	1 •
REVISION DE LITERATURA.....	3 •
Origen y Adaptación del Buffel.....	3 •
Medición de agua en el Suelo.....	3
Importancia del Agua en las Plantas.....	4
Déficit Hídrico.....	5
Componentes estructurales del zacate buffel.....	5 •
Crecimiento.....	6 •
Indices.....	9
Indices de Cosecha.....	9 •
Indice de Uso eficiente del Agua.....	9
Respuesta Funcional.....	10
MATERIALES Y METODOS.....	12
Lugar de Estudio.....	12
Establecimiento del Trabajo.....	12
Suelo.....	12 •
Llenado de Macetas.....	13
Tratamientos.....	13
Material Biológico.....	14

	Página
Selección de la Semilla.....	14
Siembra.....	15
VARIABLES.....	15
Análisis de crecimiento.....	15
Índice de Área Foliar (IAF).....	15
Fenología.....	16
Etapas Fenológicas Monitoreadas.....	17
Producción.....	17
Componentes Estructurales de la Planta.....	18
Índices.....	18
Índices de Cosecha.....	18
Índices de Cosecha Calculados.....	19
Índices de Eficiencia en el Uso del Agua.....	19
Parámetros Funcionales.....	20
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	20
Área Foliar.....	20
Producción de Forraje y Espiguillas.....	21
Índices de Cosecha e Índices de Uso Eficiente del Agua.....	21
Parámetros Funcionales.....	21
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	22
Análisis de Varianza (ANVA) y Prueba Múltiple de Medias.....	22
Parámetros y/o apartados considerados en el ANVA.....	22

	Página
RESULTADOS.....	24
Crecimiento.....	24
Indices de Eficiencia del Crecimiento (IEC)....	24
Hojas.....	24
Vástagos.....	24
Raíz.....	27
Análisis de Varianza y Comparación de Medias.....	29
Area Foliar.....	29
Producción del Vástago Uno al n en la etapa de Madurez Fisiológica.....	34
Peso de Hojas.....	34
Peso de Vainas.....	34
Peso de Culmos.....	34
Peso de Espiguillas.....	36
Peso de Corona.....	36
Peso de Raíz.....	36
Indices.....	38
Indices de Cosecha.....	38
Indices de Eficiencia en el Uso del Agua.....	40
Parámetros Funcionales.....	40
DISCUSION.....	46
Análisis de Crecimiento.....	46
Indices de Eficiencia del Crecimiento (IEC)....	46
Producción del Vástago Uno al n.....	47

	Página
Producción de Hojas, Vainas y Culmos.....	47
Peso de Espiguillas.....	48
Peso de Corona y Raíz.....	48
Indices.....	49
Indices de Cosecha.....	49
Indices de Eficiencia en el Uso del Agua.....	49
Parametros Funcionales.....	50
CONCLUSIONES	51
RESUMEN.....	54
LITERATURA CITADA.....	58
APENDICE.....	64

INDICE DE CUADROS

	Página.
Cuadro No. 3.1 Características físicas del suelo empleado en la evaluación del efecto del abatimiento hídrico sobre el crecimiento y producción de forraje del zacate buffel.....	13
Cuadro No. 3.2 Niveles de abatimiento hídrico evaluados.....	14
Cuadro No. 3.3 Tratamientos utilizados en la evaluación estadística de las tasas transpiratorias, de asimilación de CO ₂ , y el uso eficiente del agua.....	22
Cuadro No. A.1 Indices de eficiencia de crecimiento del zacate buffel (mg M.S. / cm hoja día) por etapa fenológica a tres niveles de abatimiento hídrico (25,50 y 75 %) en invernadero.....	65
Cuadro No. A.2 Análisis de varianza del área foliar cm ² en seis etapas fenológicas del zacate buffel a tres niveles de abatimiento hídrico, en condiciones de invernadero.....	67

Cuadro No. A.3 Prueba múltiple de medias del área foliar (cm) en seis etapas fenológicas del zacate buffel a tres abatimientos hídricos, en invernadero.....	68
Cuadro No. A.4 Análisis de varianza del área foliar (cm) de zacate buffel para cada nivel de abatimiento hídrico, en seis etapas fenológicas (tratamiento), en invernadero.....	69
Cuadro No. A.5 Prueba múltiple de medias del área foliar (cm) de zacate buffel en seis etapas fenológicas, para los diferentes niveles de abatimiento hídrico, en invernadero.....	70
Cuadro No. A.6 Análisis de varianza del peso seco (g) de cada parte de la planta de zacate buffel, a tres niveles de abatimiento hídrico, en madurez fisiológica, en invernadero.....	71
Cuadro No. A.7 Prueba múltiple de medias del peso seco (g) de cada parte de la planta de zacate buffel, a tres niveles de abatimiento hídrico, en madurez fisio____ lógica, en condiciones de invernadero.....	72

Cuadro No. A.8 Análisis de varianza de los índices de cosecha en la etapa de madurez fisiológica, de seis componentes estructurales del zacate buffel, a tres niveles de abatimiento hídrico, en invernadero.....	73
Cuadro No. A.9 Prueba múltiple de medias de índices de cosecha, en la etapa de madurez fisiológica, de seis componentes estructurales del zacate buffel, a tres niveles de abatimiento hídrico, en invernadero.....	74
Cuadro No. A.10 Indices de cosecha de las diferentes estructuras del buffel, a tres niveles de abatimiento hídrico, en invernadero.....	75
Cuadro No. A.11 Análisis de varianza de los índices de eficiencia en el uso del agua (g M.S. / g de agua transpirada) de seis componentes estructurales del zacate buffel, en la etapa de madurez fisiológica, a tres niveles de abatimiento hídrico, en invernadero...	75
Cuadro No. A.12 Prueba múltiple de medias de índices de eficiencia en el uso del agua (g de M.S./g de agua) de seis componentes estructurales del zacate buffel en madurez fisiológica, a tres niveles de abatimiento hídrico, en invernadero.....	76

Cuadro No. A.13 Relación g de agua transpirados / g de M.S. producida.....	76
Cuadro No. A.14 Análisis de varianza de tres parámetros funcionales del zacate buffel, en estado de grano masoso, a tres niveles de abatimiento hídrico, en condiciones de invernadero.....	77
Cuadro No. A.15 Prueba múltiple de medias de tres parámetros funcionales del zacate buffel, a tres niveles de abatimiento hídrico, en condiciones de invernadero....	78

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 4.1 IEC (mg M.S./m día) para hojas en cinco etapas fenológicas del buffel, a tres abatimientos hídricos.....	25
Figura 4.2 IEC de vástagos (mg M.S./m . día) a tres niveles de abatimientos hidricos.....	26
Figura 4.3 IEC de raíz (mg M.S./ m . día) del zacate buffel por etapa fenológicas.....	28
Figura 4.4 Area foliar (cm) del buffel en seis etapas fenológicas, bajo tres abatimientos hídricos.....	30
Figura 4.5 Area foliar (cm) del buffel, en el tratamiento A en seis etapas fenológicas.....	31
Figura 4.6 Area foliar (cm) del buffel, en el tratamiento B en seis etapas fenológicas.....	32
Figura 4.7 Area foliar (cm) del buffel, en el tratamiento C en seis etapas fenológicas.....	33

Figura 4.8 Peso seco (g) de hojas, vainas y culmos en buffel a tres abatimientos hídricos..... 35

Figura 4.9 Peso seco (g) de espiguillas, corona y raíz en buffel a tres abatimientos hídricos..... 37

Figura 4.10 Índices de cosecha de seis componentes estructurales del buffel..... 39

Figura 4.11 Índices de eficiencia en uso del agua mg/g por seis componentes estructurales del buffel..... 41

Figura 4.12 Transpiración (mmol/m /s) del buffel a tres horas del día y a tres abatimientos hídricos..... 43

Figura 4.13 Fotosíntesis ($\mu\text{mol}/\text{m} /\text{s}$) del zacate buffel a tres horas del día a tres abatimientos hídricos..... 44

Figura 4.14 Uso eficiente del agua (g CO₂ /10 l agua) a tres horas del día por buffel, a tres abatimientos hídricos..... 45

INTRODUCCION

El zacate buffel es considerado rústico, resistente a la sequía, de amplia distribución, y productor de gran cantidad de forraje de alto valor nutricional. Debido a su habilidad para prosperar con bajos niveles de precipitación (300 mm anuales), y en regiones con períodos estivales prolongados, (Bashaw 1985), en México se distribuye principalmente en zonas áridas y semiáridas; por ello se ha incrementado la superficie sembrada con este zacate.

En la primera mitad del siglo XX, según Kramer (1962), se realizaron investigaciones, sobre el uso del agua; sin embargo, éstas sólo se desarrollaron en especies hortícolas, frutícolas, gramíneas de grano pequeño, o bien en forrajes de corte. Existe poca información respecto a los requerimientos fisiológicos del zacate buffel, y al impacto del agua sobre la producción de forraje (kg de agua para producir un kg de M.S. de forraje por estructuras de las planta).

Pogue (1985), señaló que la producción de semilla de zacate buffel era una actividad insegura, pues la limitaban factores como la disponibilidad de agua, competencia con malezas, nutrición, suelo y temperatura, entre otros .

El crecimiento se considera como un concepto unificador en biología, ya que comprende la velocidad de acumulación de biomasa en las diferentes etapas de un individuo, capaz de cambiar en tamaño, forma y número (Brown y Blaser, 1968., Silsbury 1980, y Hunt, 1982). El crecimiento es un proceso importante del fenómeno de la vida *per-se* y con influencia importante de las interacciones ambientales, por ejemplo la disponibilidad de agua. Por otra parte apoyandose en la fenología del buffel, es factible explicar el efecto de los diferentes niveles de abatimiento hídrico del suelo en el crecimiento a diferentes etapas de la vida del zacate.

OBJETIVO

Determinar el efecto del abatimiento hídrico del suelo sobre el índice de crecimiento y la producción de forraje, índices de cosecha y el uso eficiente del agua, además de los parámetros funcionales (transpiración y fotosíntesis neta) del zacate buffel.

HIPOTESIS

Al aumentar el nivel de abatimiento hídrico del suelo:

1) Se reducen el crecimiento y 2) La producción de forraje. 3) Los índices de cosecha incrementan la partición de biomasa a vástagos y raíz, así como las diferentes estructuras la eficiencia en el uso del agua. 4) Además la tasa de transpiración y de fotosíntesis neta se reducen.

REVISION DE LITERATURA

Origen y Adaptación del Buffel

El zacate buffel es originario del sur de Africa (Desierto de Turkana) y fue introducido a Norteamérica, en 1946, como una línea (PI-153671) que se sembró por primera vez en Texas, E.U.A. con el proposito de recuperar áreas degradadas por sobreapacentamiento (Holt, 1985).

Según Bashaw (1985), cuando se pretende explotar al zacate buffel con mayor margen de seguridad, deben evitarse ambientes con temperaturas menores a los 3.9 °C y/o con mal drenaje. Esta especie tiene la capacidad para prosperar en suelos arenosos y condiciones áridas (precipitación anual \leq a los 400 mm); pero responde rápidamente a la fertilización y al riego.

Medición de Agua en el Suelo

De La Peña (1978), estableció que la determinación de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, reviste interés, tanto en las regiones húmedas como en las áridas. Para medir la humedad del suelo se utilizan varios métodos, entre ellos destacan los directos (método gravimétrico).

Pande y Singh (1981), compararon la biomasa entre zacates C₄ y C₃, trabajaron en invernadero y sembraron en macetas, con el fin de aislar variables y obtener información del efecto del nivel de abatimiento hídrico sobre la biomasa producida. Asimismo otros investigadores han empleado con buenos resultados el método gravimétrico en evaluaciones del efecto del abatimiento hídrico en especies forrajeras (Fairbourn, 1982., Heitholt, 1989 y Grant *et al.* 1989).

Importancia del Agua en las Plantas

Kramer (1962), reportó que el gran número de investigaciones con respecto a la relación agua-suelo-planta durante la primer mitad del siglo XX, se hicieron sobre el suministro del agua para el adecuado crecimiento de las plantas, tales como; cereales de granos básicos, frutales y algunos forrajes de corte como la alfalfa. Sin embargo, en especies C₄ existe una gran incognita por la poca investigación efectuada. Por otra parte investigadores como Frasier y Schreiber (1978), Ray (1985), Gupta y Berkowitz (1988) y Hanson y Hitz (1982) establecieron que entre los factores ambientales limitantes del crecimiento de los vegetales, el agua es el de mayor importancia, ya que determina la velocidad de crecimiento de las plantas.

En Zonas Áridas y Semiáridas, debido a la escasez del agua, el problema se agudiza por temperatura y luminosidad altas (Lane *et al.*, 1984).

Kramer (1983) y Slatyer (1967), agregan que el agua se manifiesta en cuatro funciones generales, resumiéndolas como sigue:

1. Constituyente. El 80 a 90 por ciento del peso fresco de las herbáceas es agua, además de ser parte importante en el protoplasma.
2. Solvente. Actúa como solvente de gases, minerales, sales, azúcares y otros solutos.
3. Reactante. El agua es reactante en fotosíntesis y procesos hidrolíticos tales como digestión de almidones.
4. Esencial para la turgencia y necesaria para diferenciación, multiplicación, alargamiento y crecimiento celular.

Déficit Hídrico

El déficit hídrico en las plantas ocurre cuando la transpiración excede a la absorción, según Begg y Turner (1976) y Wilson y Sarles (1978). Cuando ocurre la falta de agua el rendimiento es afectado debido al retraso y/o disminución del crecimiento, maxime si el déficit se presenta en la fase de crecimiento (exponencial), que es una de las etapas más susceptibles al déficit hídrico (DePuit y Caldwell, 1975 y Dale, 1988).

Componentes Estructurales del Zacate Buffel

Pande y Singh (1981), trabajando con zacates C₄ encontraron que el déficit hídrico ocasionó reducciones del 50 por ciento del peso de culmos y de 55 por ciento del peso de raíz. En zacates C₄

introducidos (Coyne y Bradford, 1985), encontraron que el déficit hídrico ocasionó mayor producción de fitomasa por área foliar y mayor número de culmos y de hojas por vastago. Para Begg y Turner (1976), previo a la floración ocurre un rápido incremento del área foliar, y durante esta las raíces se expanden.

La disponibilidad de agua esta directamente relacionada con el número y la tasa de aparición de vástagos en zacates C4, y con el número de flores capaces de producir semilla de zacates C3 y C4 (Langer, 1972). Por su parte, Dornbos *et al.* (1989) encontraron que al disminuir la disponibilidad de agua el peso de grano es menos afectado que el número de ellas. Según Turner y Begg (1981), el peso de granos esta en función de la transpiración, del uso eficiente del agua y de la proporción del peso seco total al final del llenado de semillas.

Crecimiento

Para Brown y Blaser (1968), Silsbury (1970) y Hunt (1982), crecimiento es un término que describe un cambio irreversible en tamaño, forma y ocasionalmente en número.

Hunt (1982), sugiere que para efectuar un análisis de crecimiento de planta se consideren las siguientes características:

1. Materia seca presente en cada parte de la planta.
2. Magnitud del sistema de asimilación de la planta
3. Los cambios de 1 y 2 en función al tiempo.

Así, en cada muestreo se debe determinar el peso seco de cada parte de la planta y el área foliar.

Myers (1972), Larcher (1977) y Daubenmire (1982) establecen que la manera de iniciar la medición de la dinámica de crecimiento es evaluar su productividad a través del tiempo, considerando la velocidad con que cambian estructuras, e incluso la tasa de asimilación neta.

El análisis de crecimiento permite determinar el efecto de los factores ambientales sobre la producción de forraje de zacate buffel. Así, Brown y Blaser (1968), Silsbury (1970), Stickler *et al.* (1961) y Guy (1964), observaron que el índice de área foliar (IAF), es un valor indicador del crecimiento de las plantas y lo asocian al peso seco total, altura de plantas, acumulación de fitomasa y madurez fisiológica del cultivo.

Para autores como Ashley *et al.* (1965), el IAF ha presentado valores significativos de $P \leq 0.01$ con variables de planta. Aase (1978), por su parte reporta altos coeficientes de determinación entre IAF y peso seco de la planta ($r^2 = 0.948$).

Otro índice de crecimiento que contribuye a explicar el rendimiento de los cultivos o especies vegetales es la tasa de

asimilación neta (TAN). Aase (1978), argumenta que el IAF se asocia al crecimiento, y además es indicador de la tasa de asimilación neta, así como de la transpiración. Allison y Vermon (1963), consideran que una forma de medir la eficiencia fotosintética de las plantas es mediante la TAN. Morales *et al.* (1990), reportaron que la mayor tasa de producción de hojas se observó en la etapa de gran crecimiento y en embuche, con $89.96 \text{ mg M.S.} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ y la mayor tasa de producción aérea (vástagos) ocurrió en la floración con $159 \text{ mg} \cdot \text{M.S.} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$ en la misma superficie y tiempo.

Jewiss (1966), plantea que el rango de variación de la tasa de asimilación neta depende del área foliar. Ambos factores presentan la misma tendencia positiva y en muchos casos la máxima producción y el óptimo de IAF pueden depender de la muerte de hojas o de la recuperación de las mismas.

Respecto a los factores ambientales que limitan al IAF, según Hunt (1982) y Jordan (1983), la temperatura, luz y agua son los de mayor importancia.

Con métodos no destructivos, y a través de la formulación de relaciones matemáticas entre muestreos dimensionales de la hoja (largo x ancho), Aase (1978) determinó índices de área foliar. Darrow (1932), al comparar cuatro métodos de muestreo foliar (planímetro, corte, longitud, y longitud x ancho), encontró que entre mayor precisión se logre, más tiempo se consume en la determinación; razón por la cual

sugiere se use largo x ancho. Kumar y Joshi (1970), encontraron que para zacate buffel el factor de corrección del área foliar es 0.632.

Indices

Indices de Cosecha

Allan (1983), considera que los índices de cosecha representan la capacidad fisiológica de las plantas para movilizar y translocar fotosintatos a órganos de interés económico. Por otra parte Fisher y Kertesz (1976), y Vanderlip y Arkin (1977), indican que mediante índices de cosecha es factible establecer criterios de selección de tratamientos, y reportan que el índice de cosecha equivale al rendimiento de grano sobre el rendimiento biológico (peso total en base seca). De ahí que para la evaluación del rendimiento sea conveniente medir el número de espigas, número de cariopsis por gramo, número de cariopsis por espiga y el peso (g) de cada cariopsis. Chakravarty y Kalkani (1967), con precipitaciones de 229.6, 251.2 y 448.3 mm/anales, obtuvieron 440.5, 419.1 y 359.1 espiguillas por gramo de espiguillas.

Indice de Uso Eficiente del Agua

Para Villa (1987), la evaluación del uso eficiente del agua considera a cada una de las estructuras de la planta, ejemplo de ello es lo que a continuación se plantea:

g de cada estructura por g de agua consumida.

Frank y Barker (1976), en su trabajo con zacates C3, concluyen que desde un punto de vista agronómico, el uso eficiente del agua está basado en la producción de materia seca por la extracción de agua del suelo.

Respuesta Funcional

En especies forrajeras C4, como es el caso del zacate buffel, las mediciones hídricas a diferentes niveles de abatimiento han indicado que conforme disminuyen el nivel de hidratación en hoja, se propicia al incremento de ajuste osmótico. Por otra parte, autores como Toivonen y Vidaver (1988), expresan que las plantas a manera de evitar daños bajo déficit hídrico regulan su actividad fotosintética, mediante el control de intercambio del CO₂ y conductancia estomática; tal respuesta, si bien no es exclusiva de plantas C4, si les confiere mayor habilidad para prosperar en ambientes áridos, mediante mayor eficiencia en el uso del agua, según Ludlow y Ng (1976).

Meidner y Mansfield (1968) y Slatyer (1967), establecen que los estomas se abren y cierran en respuesta a diferencias del potencial de presión interno de las células que regulan la turgencia del tejido. Hsiao (1973), señala que la transpiración depende del cierre estomatal e indirecta y proporcionalmente al decremento hídrico. Milburn (1979) y Turner (1986), agregan que una restricción del agua disminuye el crecimiento, pues disminuye la fotosíntesis.

Bokhari *et al.* (1987), encontraron que especies C₄ mostraron alta resistencia estomatal y ligera transpiración, manteniendo altos potenciales hídricos durante períodos de prolongada sequía. Este fenómeno fue interpretado como una táctica practicada en fases vegetativas para conservar agua para el desarrollo de inflorescencias.

Suárez (1977), trabajando en invernadero con zacates C₄ a tres niveles de abatimiento hídrico (25, 50 y 75 por ciento) del suelo, encontró que *Panicum maximum* redujo la eficiencia de transpiración, rendimiento de materia seca y otros parámetros biológicos, al aumentar el nivel de abatimiento hídrico.

Jones (1985), presenta una respuesta integral al déficit hídrico en zacates C₄ resaltando lo siguiente:

1. Reducción en elongación foliar y de vástagos
2. Reducción en división celular
3. Reducción en actividad enzimática (nitrato reductasa y RuBP carboxilasa).
4. Reducción del potencial hídrico
5. Cierre estomatal con lo cual disminuye transpiración y asimilación de CO₂

MATERIALES Y METODOS

Lugar de Estudio

La investigación se realizó del 29 de abril al 29 de octubre de 1990 bajo condiciones de invernadero (excepto para los parámetros funcionales), donde se controló la temperatura de 25 a 27°C y la humedad relativa de 55 a 60 por ciento. Las instalaciones se encuentran dentro del Campus Universitario de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Establecimiento del Trabajo

Suelo

Se utilizó un suelo de textura franca, el cual posee capacidad de campo (C.C.) y punto de marchitez permanente (P.M.P.) de 39.99 y 20.61 por ciento respectivamente. La caracterización se efectuó en membranas y ollas de presión en el laboratorio de análisis de suelos del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria - Relación Agua-Suelo-Planta Atmosfera (CENID-RASPA- PRONAPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1 Características físicas del suelo empleado en la evaluación del efecto del abatimiento hídrico sobre el crecimiento y producción de forraje del zacate buffel.

Características	Porcentaje	Valor absoluto
Textura franca		
Arena	38.94	
Limo	35.46	
Arcilla	25.60	
Capacidad de Campo	39.88	
Punto de Marchitez Permanente	20.61	
pH		8.20
Densidad Aparente		1.00 g/cm ³

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
(CENID-RASPA-PRONAPA). No.de Muestra 16622.

Llenado de Macetas

El suelo utilizado fue tamizado (haciéndolo pasar por malla mosquitera con abertura de la cuadrícula de 3.0 a 1.0 mm) homogeneizado, y secado a peso constante en una estufa de aire forzado a 65°C, tres punto cinco Kg de este suelo fueron agregados a bolsas de plástico negro sin perforaciones, para evitar pérdidas de agua. Las bolsas fueron etiquetadas con el número de tratamiento y repetición.

Tratamientos

Se utilizaron tres tratamientos de humedad entre la capacidad de campo (C.C.) y el punto de marchitez permanente (P.M.P.). A cada tratamiento se le agregó agua hasta alcanzar su C.C. dejándose abatir posteriormente hasta el 25, 50 y 75 por ciento del volúmen total de agua retenida por el suelo (cuadro No. 3.2).

Cuadro 3.2 Niveles de abatimiento hídrico evaluados.

Tratamientos	% de Abatimiento	Contenido de agua (g/maceta)
A= inferior	25	169
B= intermedio	50	337
C= máximo	75	521

Para monitorear la información relativa al abatimiento hídrico, se utilizó el método gravimétrico (De La Peña, 1978). Cada vez que los tratamientos llegaban a su nivel inferior de abatimiento de humedad (25, 50 y 75 por ciento respectivamente), se agregaba agua hasta recuperar la capacidad de campo. Para separar la evaporación de la transpiración para cada tratamiento, se utilizaron macetas sin planta (blancos). Posteriormente se acumuló por etapas fenológicas el agua transpirada por tratamiento, y se asoció a la producción de materia seca por estructuras de la planta.

Material Biológico

El material biológico utilizado correspondió al de zacate buffel variedad común, también llamado americano, con un 99 por ciento de germinación.

Selección de la semilla

Los granos utilizados como semilla fueron de tamaño y peso uniforme, seleccionados mediante cribas y un separador de columna de aire, con la finalidad de garantizar el máximo porcentaje de germinación y de establecimiento de las plantulas.

Siembra

La siembra se realizó el día 29 de junio de 1990, depositándose cinco semillas por maceta, a una profundidad de 1.0 cm. Cuando las plántulas alcanzaron tres hojas con lígula definida, se aclareó dejando un individuo por maceta.

Variables

Análisis de Crecimiento

Se utilizó la técnica propuesta por Hunt (1982), para el análisis del crecimiento, se midieron: 1) El peso seco de las diferentes partes de la planta (medidas en las etapas fenológicas de: 8va. hoja, ahijamiento, gran crecimiento, excersión y madurez fisiológica). 2) El área foliar cada 10 días.

Índice de Área Foliar (IAF)

Para las láminas foliares del primero hasta el sexto vástago y para cada una de las fases fenológicas arriba descritas, se determinó el área (cm^2) del tejido fotosintético midiendo el largo x ancho (en cm) y multiplicando por el factor de corrección 0.632 (Kumar y Joshi, 1970).

El índice de área foliar se expresa según Tanaka y Yamaguchi (1977) como: $\text{IAF} = S_1/P$

Donde:

S₁= Superficie foliar del dosel del cultivo

P= Superficie del suelo donde se desarrollo el cultivo

Con la información del área foliar (cm²) y el peso de cada estructura (hojas, vastagos, y crecimiento radical) en las diferentes etapas fenológicas, se elaboraron índices de eficiencia del crecimiento (IEC) para las estructuras mencionadas. Estos índices se calcularon con base a un solo individuo, debido a las limitaciones impuestas por el muestreo destructivo. Los IEC se definieron como el incremento de peso seco en cada parte de la planta por unidad de superficie asimilatoria por tiempo, según Hunt (1982), el IEC se calcula con el siguiente modelo matemático.

$$IEC = (W_2 - W_1 / T_2 - T_1) (\ln AF_2 - \ln AF_1 / AF_2 - AF_1)$$

Donde:

AF=Area foliar efectiva (T₂ - T₁).

W= Unidad de peso de material presente de la planta (T₂-T₁)

T= Unidad de tiempo en días

Fenología

Dado que el zacate buffel es de hábito indeterminado hubo la necesidad de numerar del primero al sexto vástago para facilitar el seguimiento de sus etapas fenológicas (con base al sistema decimal propuesto por Tottman *et al.*, 1979) y dinámica de crecimiento. Efectuandose muestreos decenales.

Etapas Fenológicas Monitoreadas

1. Octava hoja. Definida cuando el vástago* número uno tenía ocho hojas con lígula aparente.
2. Ahijamiento. Considerado cuando estuvieron presentes tres vástagos por individuo.
3. Gran crecimiento. Considerado cuando se inició la mayor tasa de acumulación de peso en las diferentes estructuras.
4. Excursión. Concluida cuando fueron visibles las panículas del primero hasta el cuarto vástago
5. Grano masoso. Se consideró cuando se presentó la deshidratación del cariópsis.
6. Madurez fisiológica. Ocurrió cuando el cariópsis mostró dificultad para ser dividido manualmente.

Producción

La evaluación de la producción se efectuó en dos formas:

1. Desde el vástago uno al n, por componentes estructurales de la planta, en la fase de madurez fisiológica del cariópsis. El material se llevó hasta peso seco constante en una estufa de aire forzado a 65 °C, procediéndose a pesar al g más cercano.

*considerado como la unidad a partir de la corona, integrado por: culmos, vainas, hojas y raquis.

Componentes Estructurales de la Planta.

1. Hojas (Lámina foliar)
2. Vainas (envoltura del culmo)
3. Culmo (caña sin hojas)
4. Espiguillas (glumas y cariópsis)
5. Corona (estructura que une al culmo y raíces)
6. Raíz.

2. La segunda forma de medición de la producción fue desde el vastago uno al sexto, para cada etapa fenológica (las etapas seran descritas en el siguiente apartado). Se separaron las diferentes estructuras de la planta a excepción de corona y raíz, y se agregó el peso del raquis. El material vegetal fue secado en una estufa con aire forzado a 65 °C hasta peso seco constante al mg más cercano.

Indices

Indices de Cosecha

Los cálculos de los índices de cosecha se efectuaron por medio de los componentes estructurales mencionados en el apartado de componentes estructurales de la planta de buffel, del vastago uno al n, en la etapa fenológica de madurez fisiológica.

Los índices se calcularon en función de la siguiente fórmula:

$$Ic = \frac{\sum_1^n \text{vástagos } g \text{ . componente}}{\sum_1^n \text{vástagos } g \text{ totales componente}^{-1}}$$

Donde:

Ic= Índice de Cosecha

$\sum_1^n \text{ vástagos} =$ Es la suma total (g) de componentes estructurales para: hojas, vainas, culmos, espiguillas y crecimiento subterráneo "corona + raíz".

$\sum_1^n \text{ vástagos } g \text{ totales}^{-1} =$ Es la suma total de la producción (g) de la planta.

Índices de Cosecha Calculados.

1.	g de hojas cosechados	/	g	totales	de la	planta
2.	vainas	/	"	"	"	"
3.	culmos	/	"	"	"	"
4.	raíz	/	"	"	"	"
5.	corona	/	"	"	"	"
6.	espiguillas	/	"	"	"	"

Índices de Eficiencia en el Uso del Agua

Los índices de eficiencia en el uso del agua se calcularon para cada uno de los componentes estructurales de la planta desde el primero hasta el n vástago, presentados a continuación:

1.-g de hojas cosechadas	/	g de agua transpirados
2.- vainas	" / "	"
3.- culmos	" / "	"
4.- raíz	" / "	"
5.- corona	" / "	"
6.- espiguillas	" / "	"

Parámetros Funcionales

La medición de los paámetros funcionales del buffel, se hicieron bajo condiciones naturales.

La tasa de asimilación de CO₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) y la tasa transpiratoria ($\text{mmol de H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), de la hoja bandera, fueron evaluados con un medidor portátil LI-6200 y LI-6250.

Con los valores obtenidos de fotosíntesis y transpiración se calculó el uso eficiente de agua (U.E.A.) expresado como g CO₂ asimilados / 10 l de agua valor que se múltiplico por el factor de conversión 0.024.

Diseño Experimental

Area Foliar

Para el análisis de área foliar se considero el diseño completamente al azar con 30 unidades experimentales, resultado de la interacción de seis etapas fenológicas (consideradas para este caso

como tratamientos) y cinco repeticiones de cada tratamiento. Lo anterior fue para cada nivel de abatimiento hídrico del suelo.

Producción de Forraje y Espiguillas

Para la evaluación del rendimiento de forraje, los tratamientos (tres niveles de abatimiento hídrico) fueron arreglados en un diseño completamente al azar, con cinco repeticiones.

Indices de Cosecha e Indices de Uso Eficiente del Agua

Para los índices de cosecha y uso eficiente del agua se utilizó el mismo diseño experimental, con 15 unidades experimentales resultado de tres niveles de abatimiento hídrico y cinco repeticiones.

Parámetros Funcionales

En el análisis de parámetros funcionales (uno a uno) bajo el modelo matemático de completamente al azar, se consideraron nueve tratamientos resultado de tres horas de muestreo durante el día, multiplicado por tres abatimientos hídricos con tres repeticiones, arrojando un total de 27 unidades experimentales; los tratamientos se presentan en el cuadro No. 3.3.

Análisis Estadístico

Análisis de Varianza (ANVA) y Prueba Múltiple de Medias

El análisis de varianza (ANVA) $P \leq 0.05$ y 0.01 se efectuó para los parámetros y/o apartados abajo enlistadas, además se práctico una prueba de rango múltiple de medias (Tukey) al nivel de probabilidad de $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$ (Steel y Torrie, 1980).

Cuadro 3.3 Tratamientos utilizados en la evaluación estadística de las tasas transpiratorias y de asimilación de CO_2 , y el uso eficiente del agua.

Abatimiento hídrico	hora del día	Número de tratamiento
A	8:30	1
	12:30	2
	16:30	3
B	8:30	4
	12:30	5
	16:30	6
C	8:30	7
	12:30	8
	16:30	9

Parámetros y/o apartados considerados en el ANVA.

1. Area foliar por etapa fenológica
2. Peso de hojas
3. " vainas
4. " culmos
5. " espiguillas.
6. " raquíz
7. " corona, y

8. " raíz
9. Índices de cosecha e índices de eficiencia en el uso del agua.
10. transpiración
11. Fotosíntesis neta
12. Uso eficiente del agua

RESULTADOS

Crecimiento

Indices de Eficiencia del Crecimiento (IEC)

Hojas

Para la etapa de octava hoja hasta la excursión el tratamiento C tuvo un índice de eficiencia del crecimiento superior respecto de los tratamientos B y A, indicando una tendencia a la baja a partir de la excursión. En forma general a mayor disponibilidad de agua en el suelo aprovechable por la planta, el IEC de hojas decreció (figura 4.1 y cuadro No A.1). Los resultados enfatizan que el índice de eficiencia del crecimiento de hojas guarda una relación positiva con el abatimiento hídrico del suelo, debido a que las mayores acumulaciones de peso corresponden a los tratamientos de menor disponibilidad de agua en el suelo, lo cual significa que exista una eficiencia mayor en el uso del agua.

Vástagos

Respecto al IEC de vástagos (figura 4.2 y cuadro No. A. 1), los tres tratamientos presentaron una tendencia a la alta exceptuando las etapas de gran crecimiento y excursión de panícula para el abatimiento

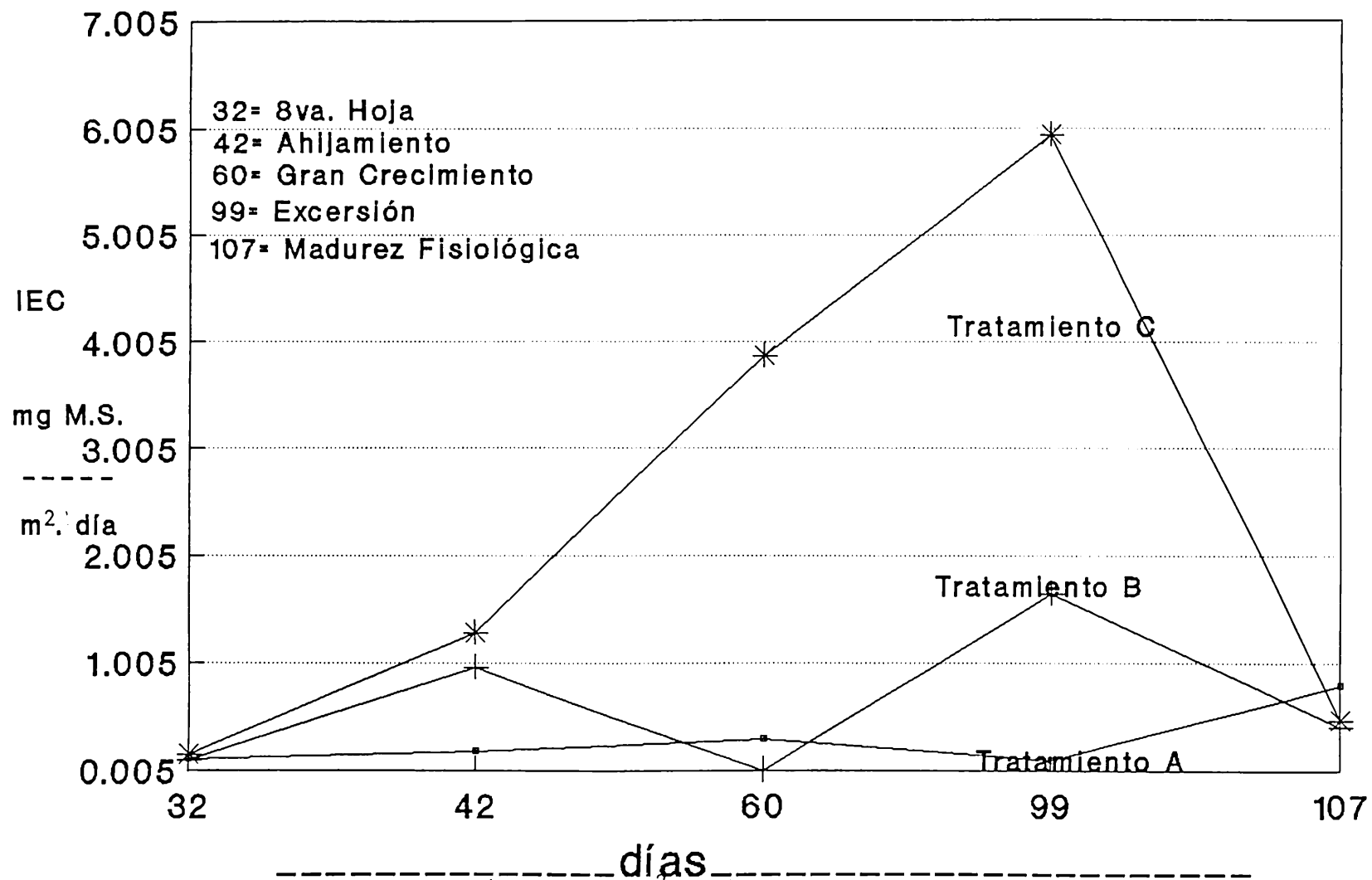


Figura 4.1. IEC (mg M.S./m².día) para hojas en cinco etapas fenológicas del buffel, a tres abatimientos hídricos.

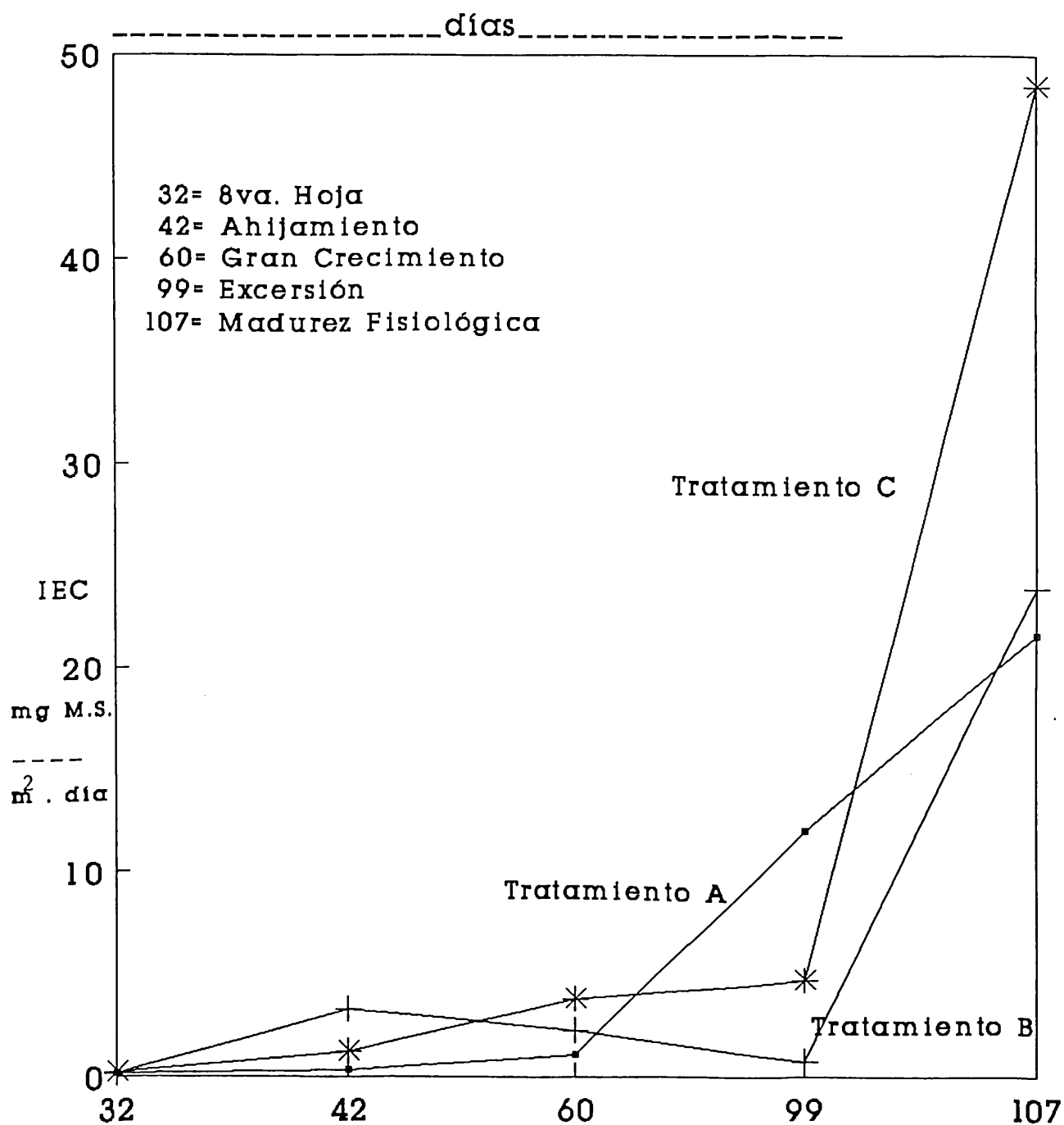


Figura 4.2. IEC de vastagos (mg M.S./m² . día) a tres niveles de abatimiento hídrico.

hídrico B, sin embargo posteriormente en la madurez fisiológica incremento su acumulación de peso en vastagos. El tratamiento C en la etapa de excersión a madurez fisiológica presento su mayor IEC para esta variable; el Tratamiento A a partir del gran crecimiento presento su mayor IEC. Dentro del comportamiento general de las diferentes estructuras del zacate buffel, al observar el cuadro No. A.9 resalta el comportamiento del tratamiento C como la mayor acumulación de peso siendo en algunos casos significativo al nivel de $P \leq 0.01$ y 0.05 ; comportamiento que nuevamente indica que la mayor disponibilidad de agua en suelo no implica mayor eficiencia en el uso de tal recurso.

Raíz

El IEC de raíz fue mayor para el tratamiento B desde la etapa de octava hoja hasta gran crecimiento, período este último en que su IEC decreció, etapa en la cual tanto el tratamiento C y A iniciaron su mayor acumulación de peso; siendo básicamente el tratamiento C el de mayor IEC respecto al A exceptuando la etapa de gran crecimiento y excersión. (figura No.4.3 y cuadro No. A.1); Paralelamente al observar el cuadro No. A.9 se observa como la mayor acumulación de peso en raíz fue superior en los tratamientos A y B, sin ser estadísticamente diferentes.

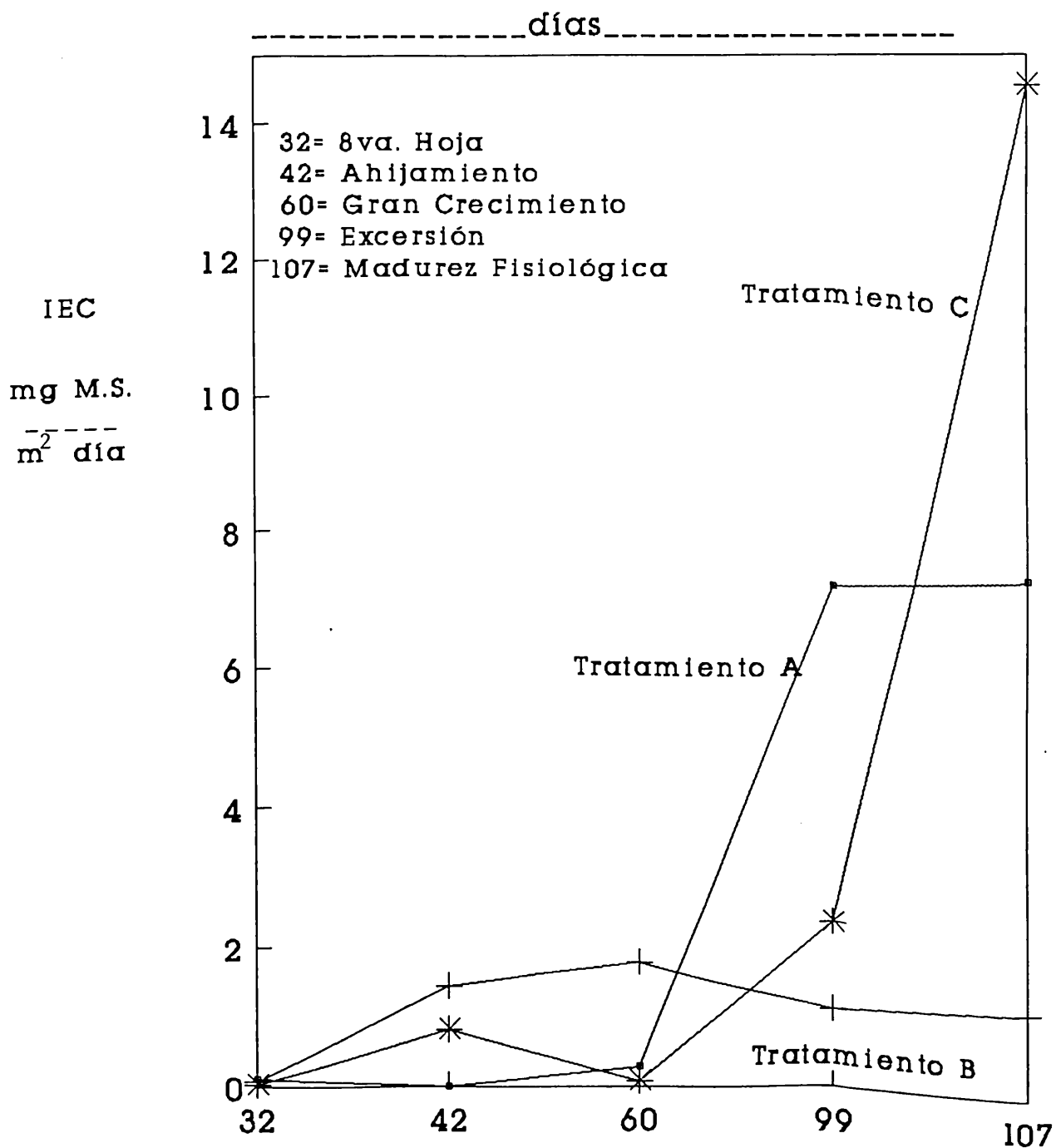


Figura 4.3. IEC de raíz (mg M.S./m². día) del zacate buffel por etapa fenológica.

Análisis de Varianza y Comparación de Medias

Area Foliar

A excepción de las etapas de octava hoja y ahijamiento, el área foliar se mostro superior en el tratamiento A. De ahí que indicara como la disponibilidad de agua induce al incremento de área foliar, en las etapas de excersión de panícula hasta madurez fisiológica resalta su diferencia respecto a los tratamientos B y C; siendo estadísticamente diferentes en excersión y grano masoso (figura 4.4), lo anterior al nivel de probabilidad de $P \leq 0.01$ (cuadros No. A.2 y A.3).

Al afectar una análisis del área foliar por tratamiento, se detectó que en el A existieron diferencias estadísticas entre las etapas fenológicas muestreadas, indicando que la máxima expansión del área foliar fue de la excersión de panícula al gran crecimiento, lo anterior al nivel de $P \leq 0.01$ (figura 4.5 y cuadros No. A.4 y A.5), además de ser una respuesta esperada. En el tratamiento B la máxima área foliar se determinó en las etapas de gran crecimiento y excersión de panícula, período que duro menos días (del día 42 al 60) respecto al tratamiento A; el resultado anterior fue diferente estadísticamente al nivel de $P \leq 0.01$ (figura 4.6 y cuadros No. A.4 y A.5). Para el tratamiento C el comportamiento del área foliar indico semejanza al tratamiento B sin embargo su período de crecimiento fue mayor iniciando a su vez en el ahijamiento y finalizando en la excersión de panícula, al nivel de $P \leq 0.01$ (figura 4.7 y cuadros No. A.4 y A.5). Los anteriores resultados indican que la máxima disponibilidad de agua en el suelo favorece mayores ganancias de lámina foliar en aproximadamente

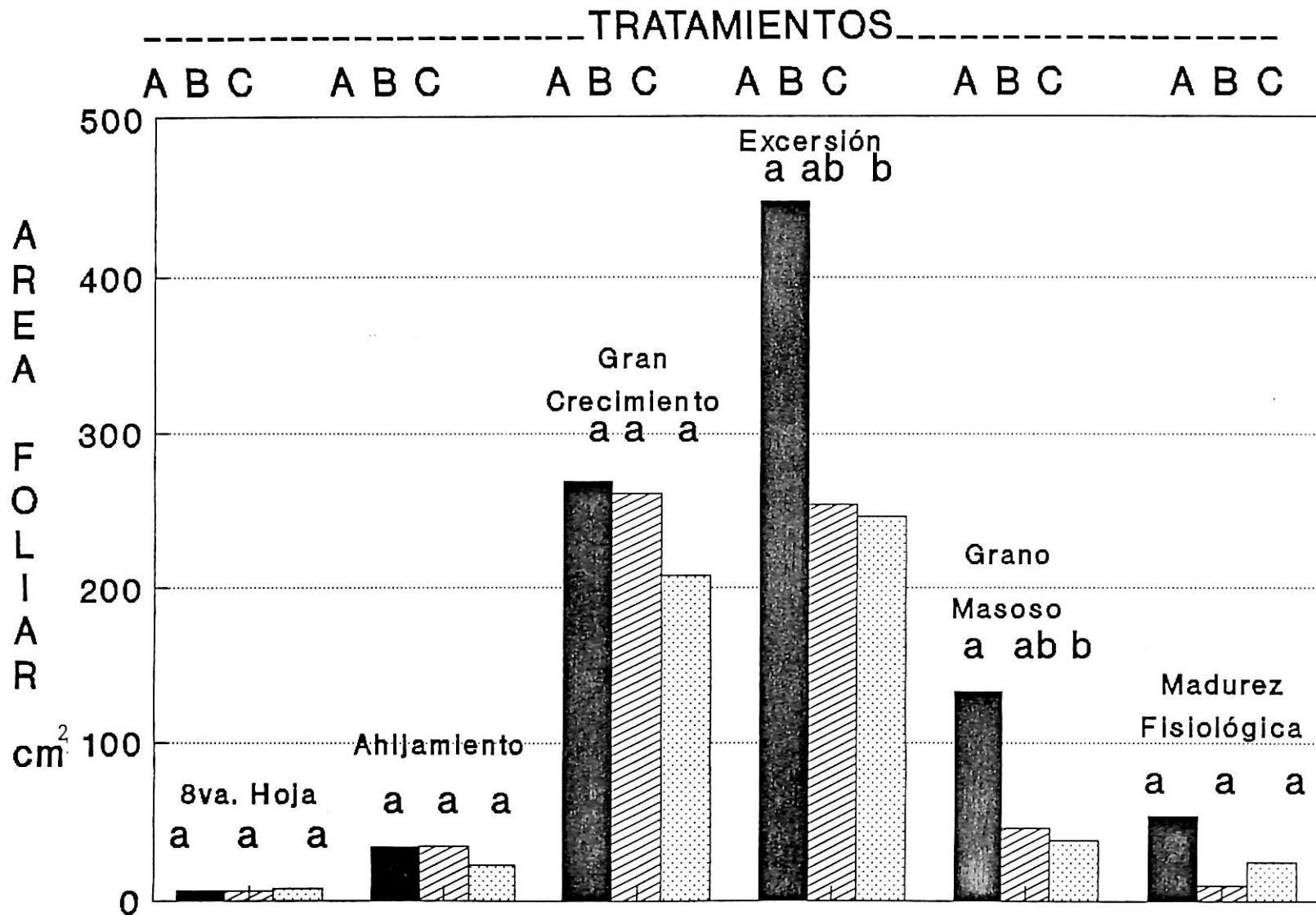


Figura 4.4. Area foliar (cm²) del buffel a seis etapas fenológicas, bajo tres abatimientos hídricos.

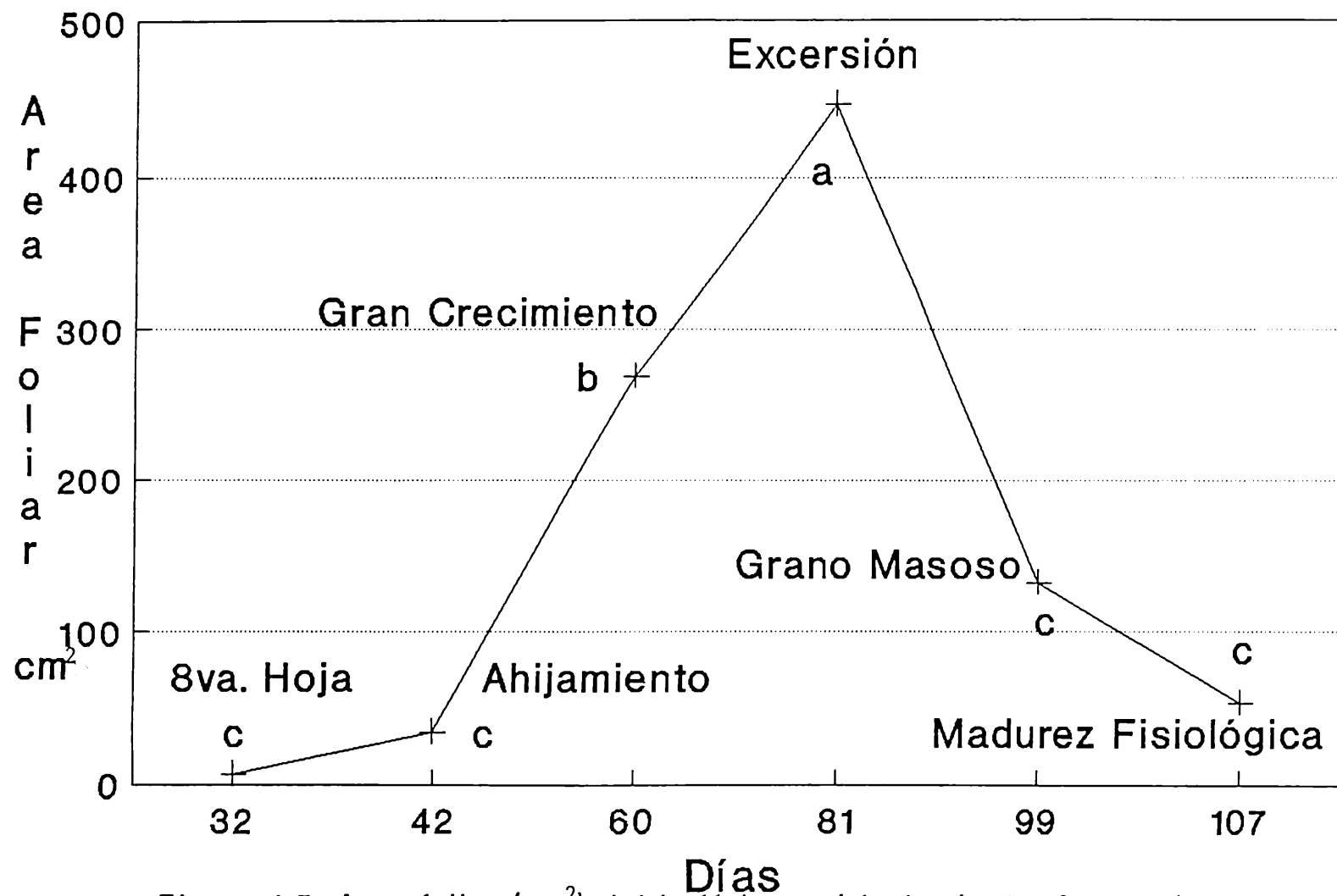


Figura 4.5. Area foliar (cm²) del buffel, en el tratamiento A en seis etapas fenológicas

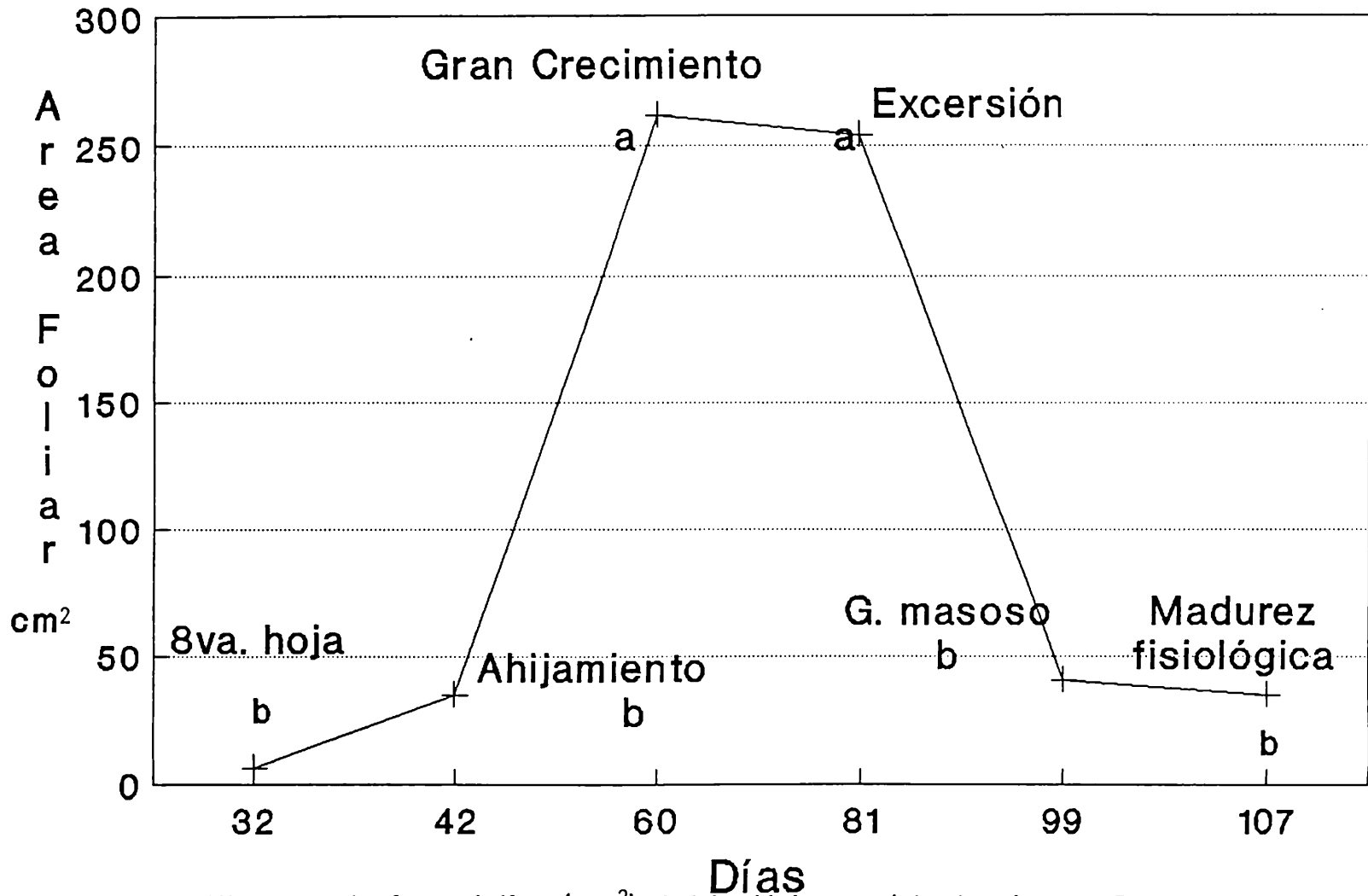


Figura 4.6. Area foliar (cm²) del buffel, en el tratamiento B en seis etapas fenológicas

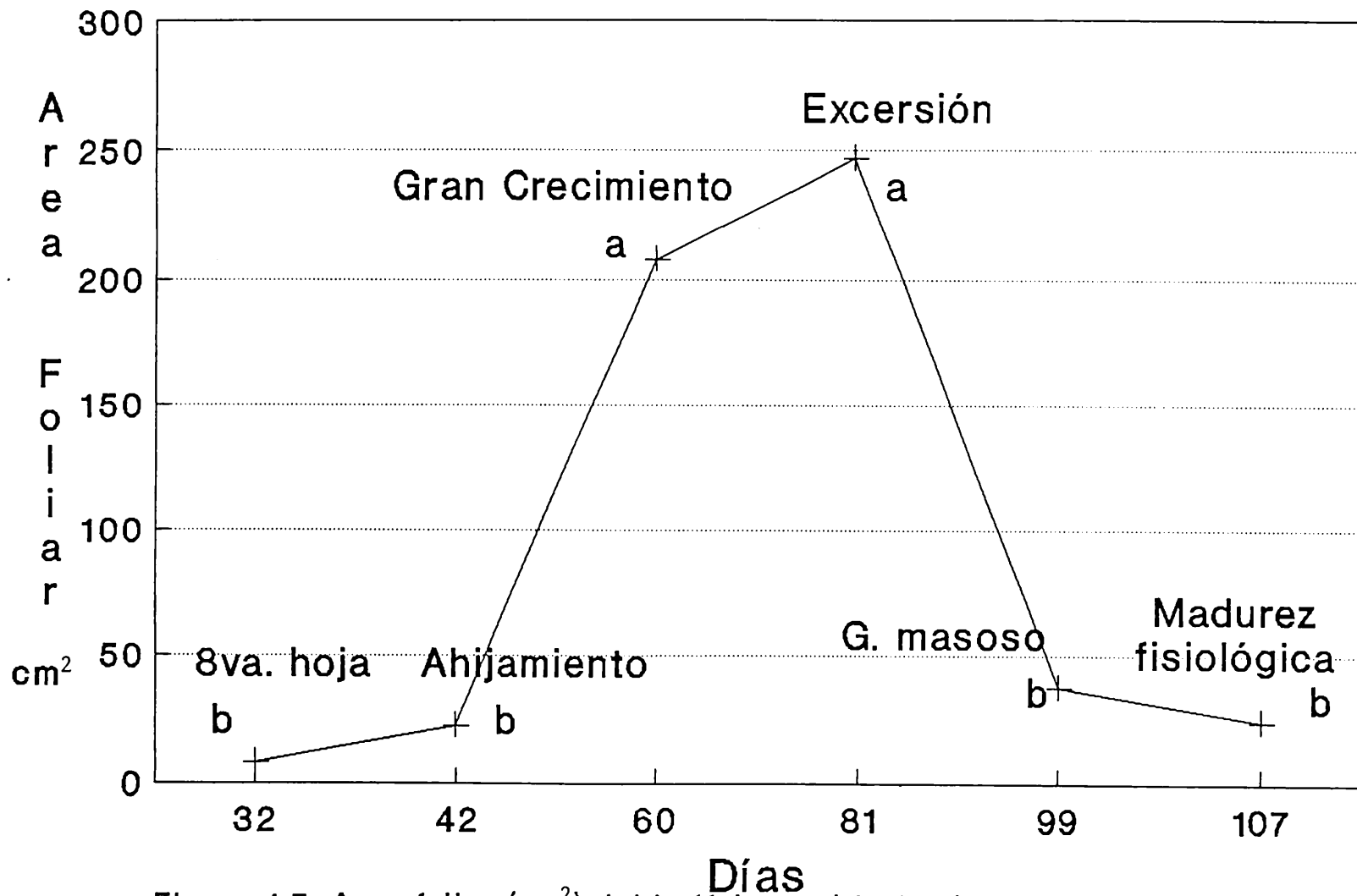


Figura 4.7. Area foliar (cm²) del buffel, en el tratamiento C en seis etapas fenológicas

de área fotosintética, lo que a su vez implica que la fijación de carbón se favorezca.

Producción del Vástago Uno al n en la Etapa de Madurez Fisiológica:

Peso de Hojas

Para esta variable, se detectó que al aumentar el nivel de abatimiento hídrico hasta el 75 por ciento, se redujo el peso de hojas (Figura 4.8), lo anterior a un nivel de probabilidad de ocurrencia de $P \leq 0.01$; la diferencia entre medias de los tratamientos B y C fue una reducción de 7.89 y 26.41 por ciento respectivamente, en relación al tratamiento A (cuadros No. A.6 y A.7).

Peso de Vainas

En el análisis de varianza de la suma de vainas de todas las hojas de cada planta, no se encontró diferencia estadística alguna, aunque numéricamente sí existió tal diferencia, lo cual en la Figura 4.8 se resalta que el menor abatimiento hídrico (tratamiento A) facilitó las mayores acumulaciones de peso de las vainas (Cuadros No. A.6 y A.7).

Peso de Culmos

Al integrar el peso total de culmos por planta, se detectó que los niveles de abatimiento hídrico afectaron las acumulaciones de peso de los culmos, las diferencias estadísticas del análisis de varianza

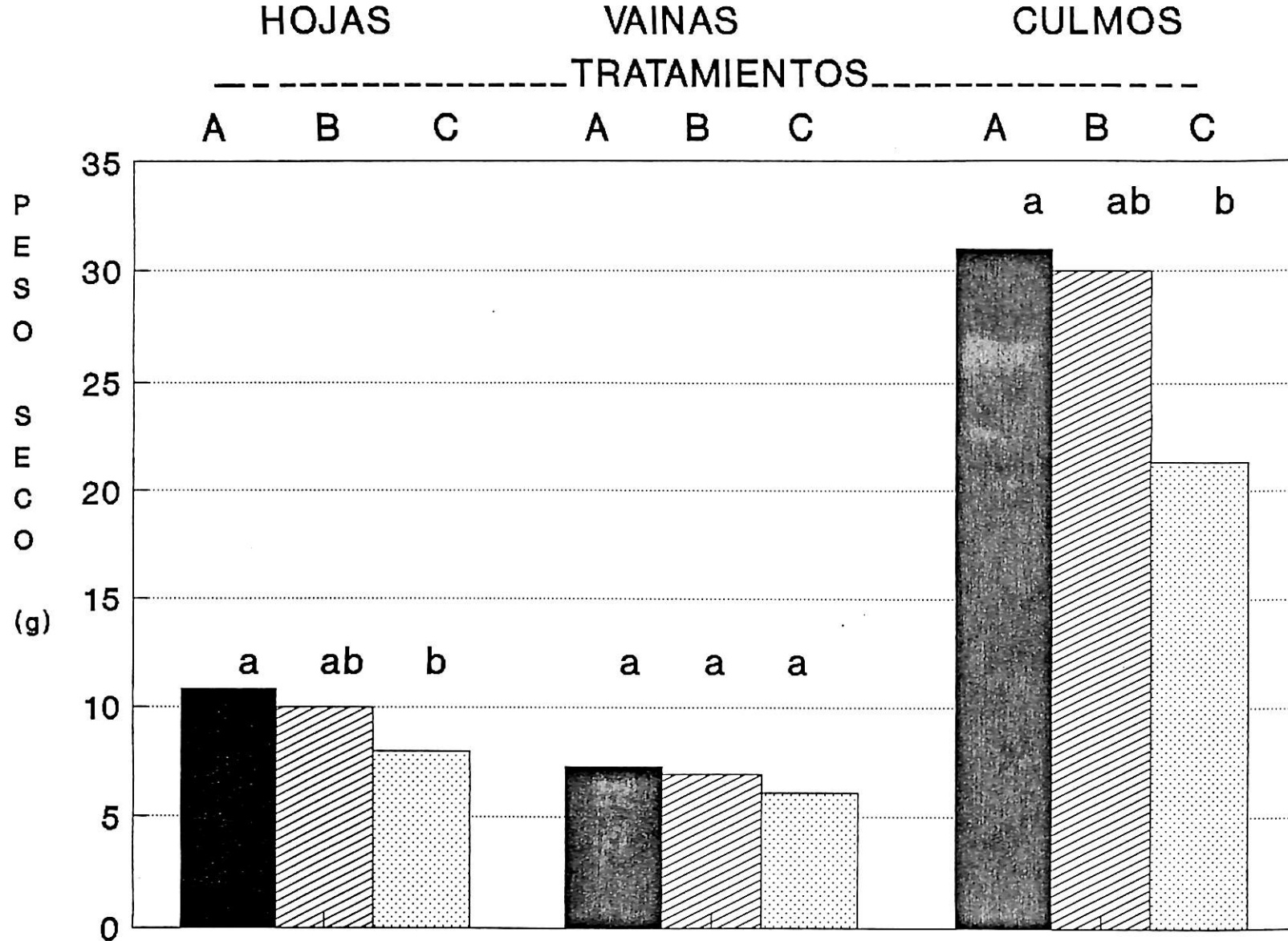


Figura 4.8. Peso seco (g) de hojas, vainas y culmos en buffel a tres abatimientos hídricos.

son a un nivel de probabilidad de $P < 0.05$. De tal forma que al afectar la prueba múltiple de medias al mismo nivel ($P \leq 0.05$) se distinguieron dos grupos, donde los tratamientos A y C pertenecen a grupos estadísticamente diferentes (figura 4.8 y cuadros A.6 y A.7).

Peso de Espiguillas

Al adicionar el peso total de las espiguillas, no se les encontró diferencia estadística significativa al nivel de $P \leq 0.05$, no obstante se detectaron diferencias numéricas pequeñas en las medias de tratamientos, es decir a mayor abatimiento hídrico menor peso de espiguillas (figura 4.9 y Cuadros No. A.6 y A.7).

Peso de Corona

Estas estructuras al igual que hojas y culmos, presentan gran susceptibilidad al nivel de abatimiento hídrico, siendo una de las diferencias más tangibles entre los tratamientos; de ellos el tratamiento C produjo sólo 47.22 por ciento de lo obtenido en el tratamiento A, esto aunado a las variables ya descritas implican que el tratamiento A posee los máximos pesos de estructuras vegetativas (figura 4.9 y cuadros No. A.6 y A.7).

Peso de Raíz

La raíz también denotó la consistencia del tratamiento A en las máximas acumulaciones de peso, en este caso la diferencia en los niveles extremos de abatimiento (A y C) fue de 41.90 por ciento, no así

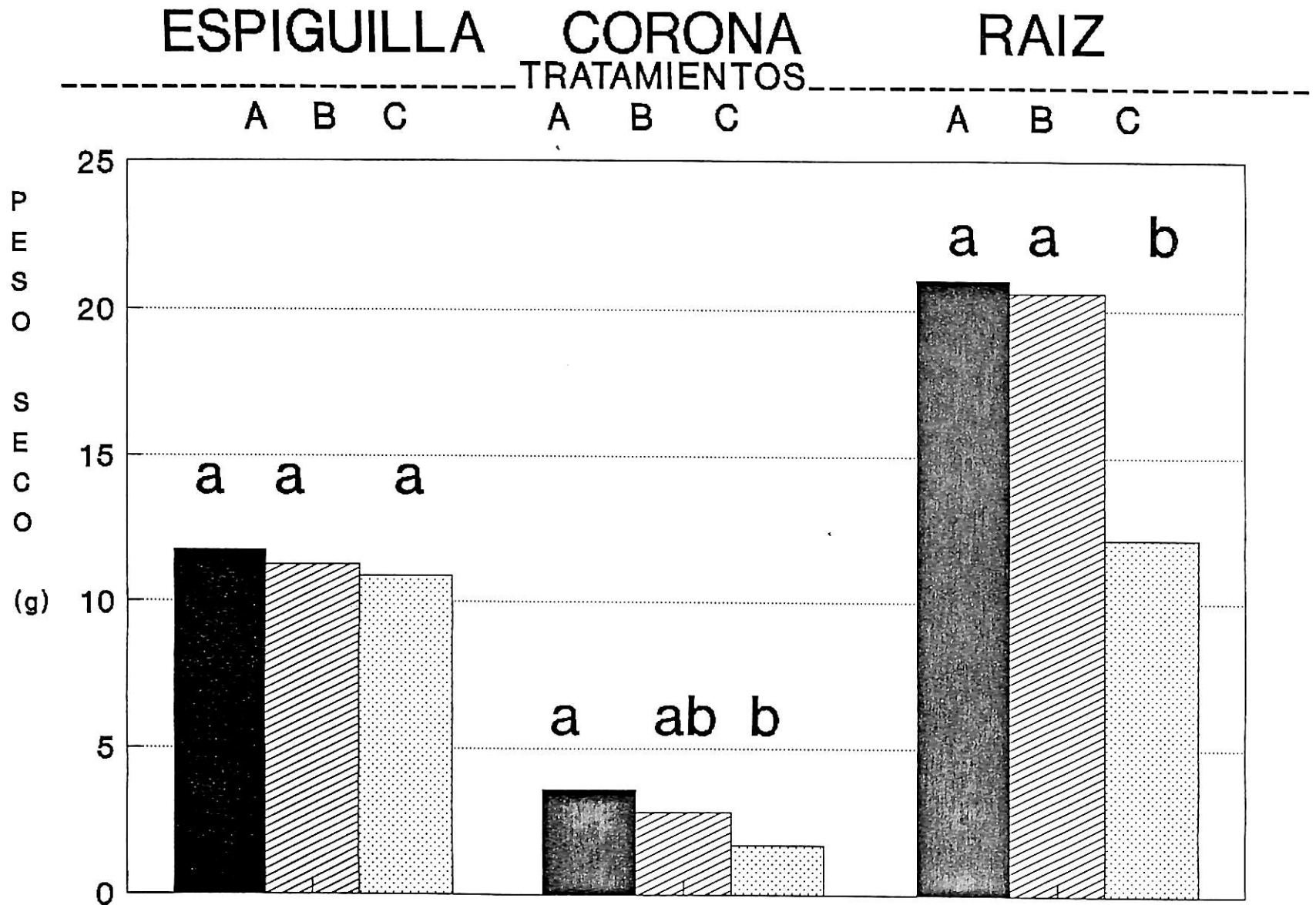


Figura 4.9. Peso seco (g) de espiguillas, corona y raíz en buffel a tres abatimientos hídricos.

entre los tratamientos A y B ya que esta diferencia fue de 1.90 por ciento al nivel de probabilidad estadística de $P \leq 0.05$. Con la anterior información la comparación de medias reportó dos grupos, el primero lo formaron los tratamientos A y B y el segundo grupo exclusivamente por el C, (figura 4.9 y cuadros No. A.6 y A.7).

Indices

Indices de Cosecha

En la figura 4.10 se presenta el comportamiento de los índices de cosecha de seis estructuras de la planta en la etapa de madurez fisiológica, tales comportamientos indican que el peso de las vainas y espiguillas presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos al nivel de probabilidad de $P \leq 0.01$ y 0.05 respectivamente; en el resto de las variables aunque no en forma estadística, numéricamente si existieron diferencias; al realizar la prueba múltiple de medias se encontró que el máximo abatimiento hídrico (tratamiento C) propicio a una mayor partición de asimilados a vainas y espiguillas con respecto a los tratamientos A y B, tal comportamiento implica que la planta bajo estrés hídrico sacrifica a raíz y corona para fin de perpetuar a la especie (Cuadros No. A.8 y A.9).

En términos proporcionales, el Tratamiento C requirió de menor producción de materia seca total, para poder producir un gramo de hojas, vainas y espiguillas, sin embargo, aquellas estructuras como culmos y corona más raíz, en el mismo nivel de abatimiento hídrico

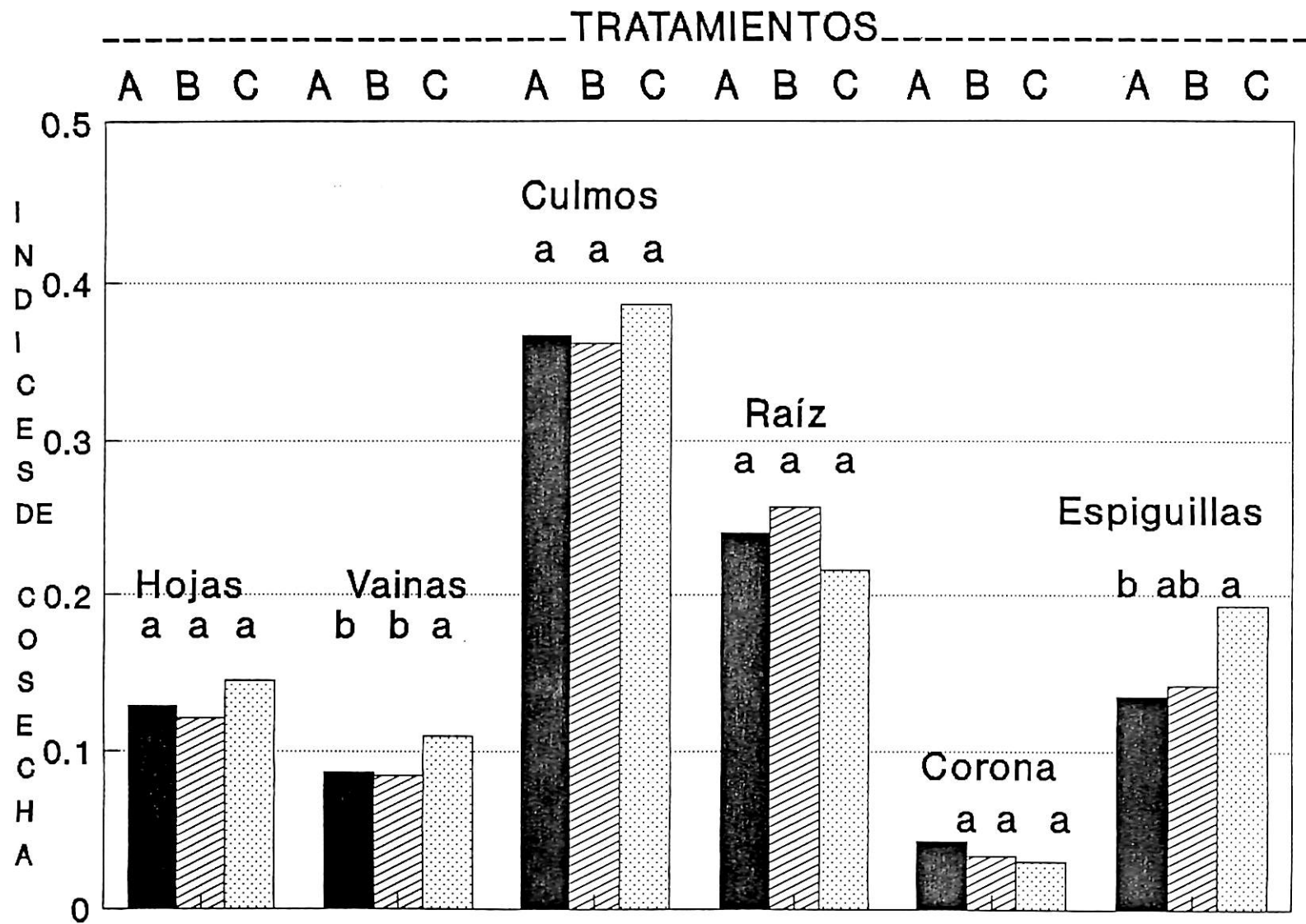


Figura 4.10. Indices de cosecha de seis componentes estructurales del zacate buffel.

requirieron de mayores proporciones de peso total para producir un gramo de materia seca (cuadro No. A. 10).

Indices de Eficiencia en el Uso del Agua

No se encontró efecto significativo ($P \leq 0.05$) de los tratamientos sobre los índices de eficiencia en el uso del agua evaluados (Cuadro No. A.11); en el peso de hojas, vainas y espiguillas el mayor abatimiento hídrico ocasionó mayores índices de eficiencia en el uso del agua; en el peso de culmos, raíz y corona el mismo tratamiento es inferior respecto a los tratamientos A y B. respectivamente (figura 4.11 y cuadro A.12).

En el cuadro No. A.13, se presentan las proporciones de agua transpirada por cada gramo de materia seca que produjo la planta en cada estructura; en el tratamiento C, el peso de hojas, vainas y espiguillas requirieron de menores consumos de agua para un g de M.S.; sin embargo, los culmos y crecimiento subterráneo en el mismo tratamiento C fueron los que mayor consumo de agua realizaron respecto a los tratamientos A y B.

Parámetros Funcionales

Las tasas transpiratoria y fotosintética, y el uso eficiente del agua (expresado en g CO₂ asimilados / 10 l de agua transpirados), fueron afectados por el nivel de abatimiento hídrico del suelo así como por la hora del día (cuadro No. A.15) al nivel de probabilidad estadística de $P \leq 0.01$.

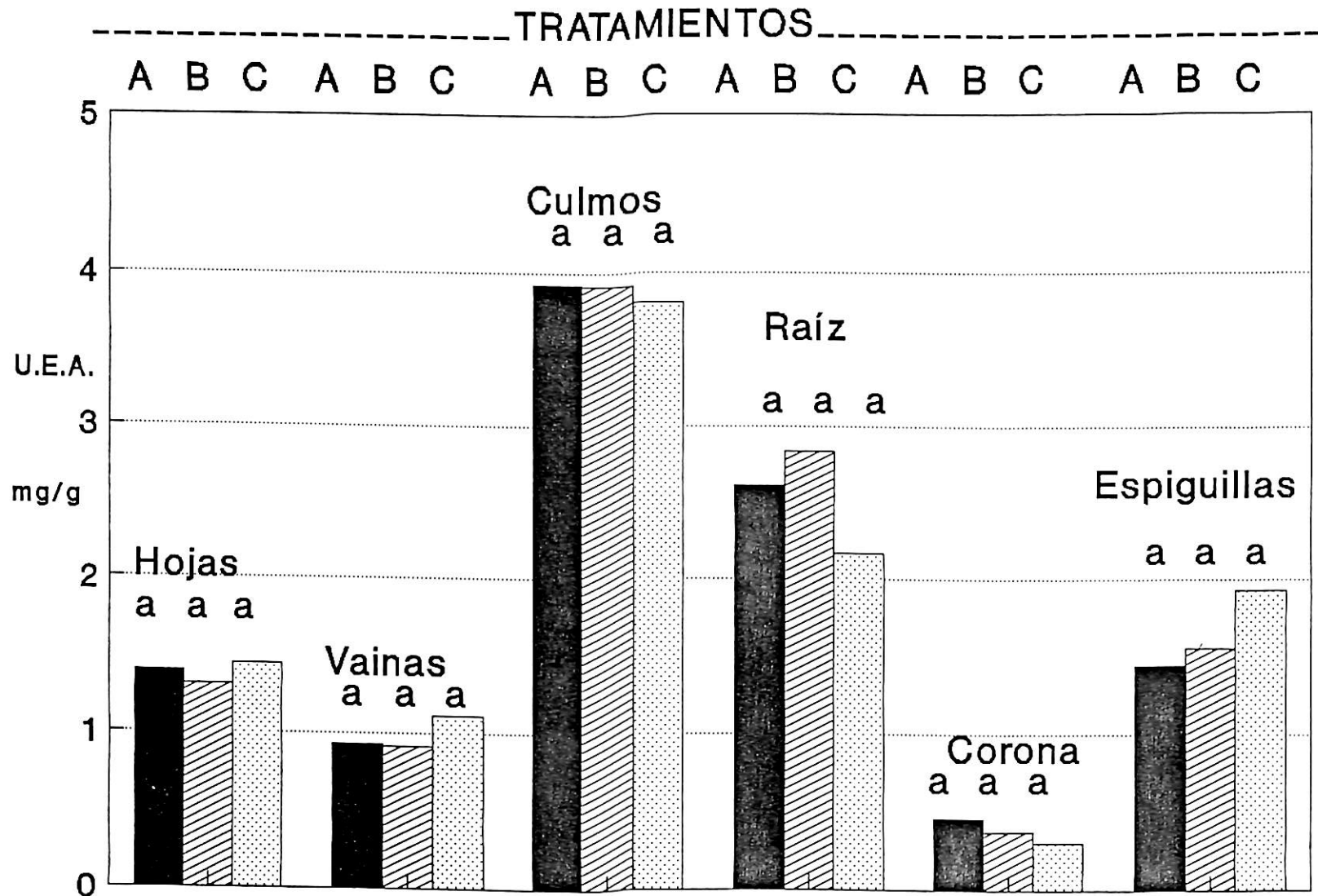


Figura 4.11. Indices de eficiencia en el uso del agua mg/g por seis componentes estructurales del buffel.

Para el parámetro de transpiración en la comparación de medias los tres abatimientos hídricos a las 8:30 hr mostraron comportamiento estadísticamente igual, a las 12:30 hr disminuyó la transpiración, posteriormente, se incremento a las 16:30 hr excepto para el tratamiento B (figura 4.12 y cuadro No. A.15).

La fotosíntesis al igual que la transpiración indicó que el menor abatimiento hídrico a las 8:30 hr obtuvo la mayor fotosíntesis neta, a las 12:30 hr solo el tratamiento A tendio a la baja, siendo el tratamiento C el de mayor incremento en la misma hora de muestreo. Por otra parte, los tres abatimientos a las 16:30 hr indicaron la menor tasa de fotosíntesis (figura 4.13 y cuadro A.15).

El mayor uso eficiente del agua fue para el abatimiento hídrico C en las 12:30 hr, formando el primer grupo estadístico, y el resto de tratamientos en las horas restantes del día, estadísticamente fueron iguales ($P \leq 0.05$), figura 4.14 y cuadro No. A.15.

-----ABATIMIENTO HIDRICO-----

A B C A B C A B C

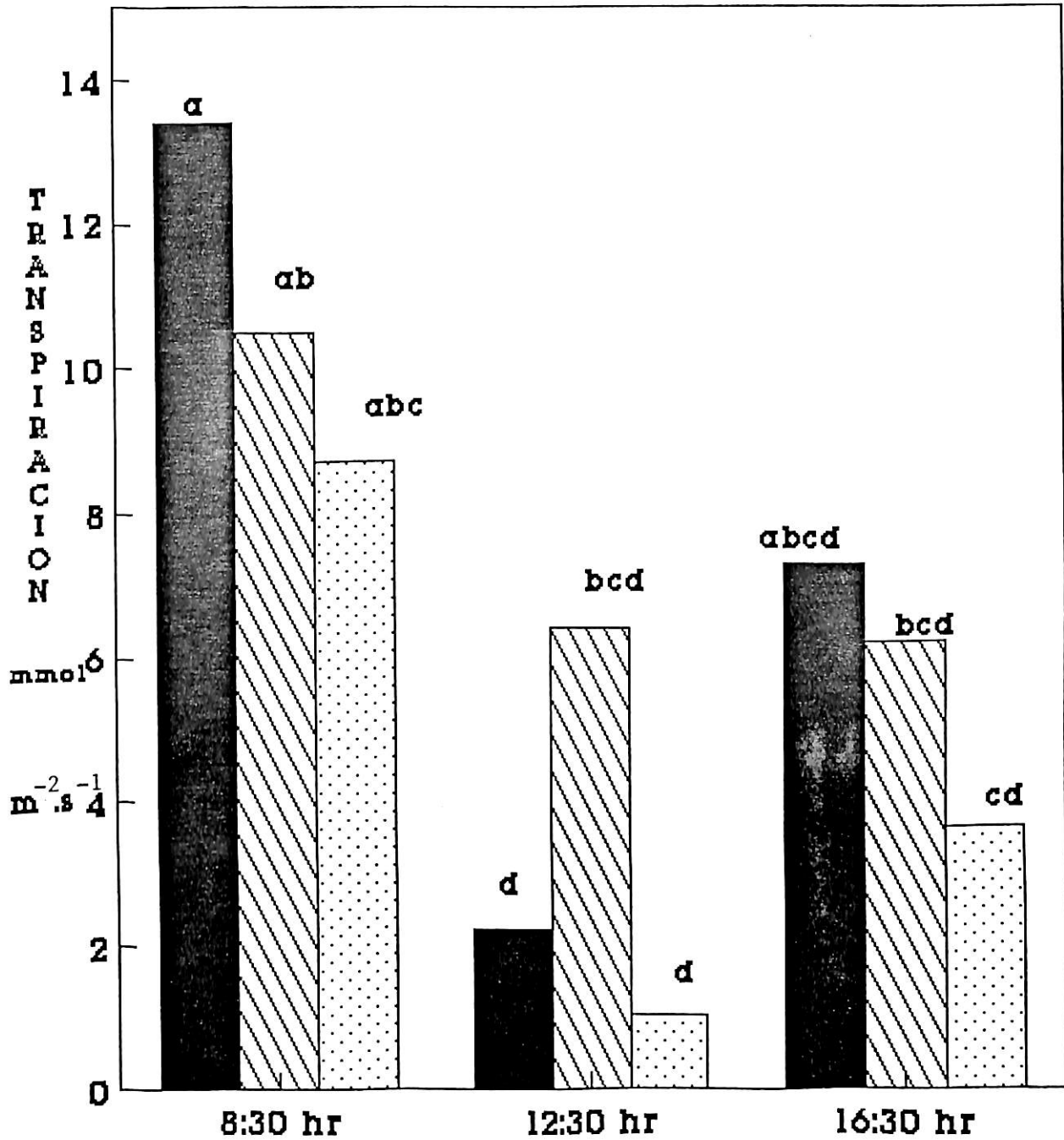


Figura 4.12. Transpiración (mmol/m²/s) del buffel a tres horas del día y a tres abatimientos hídricos.

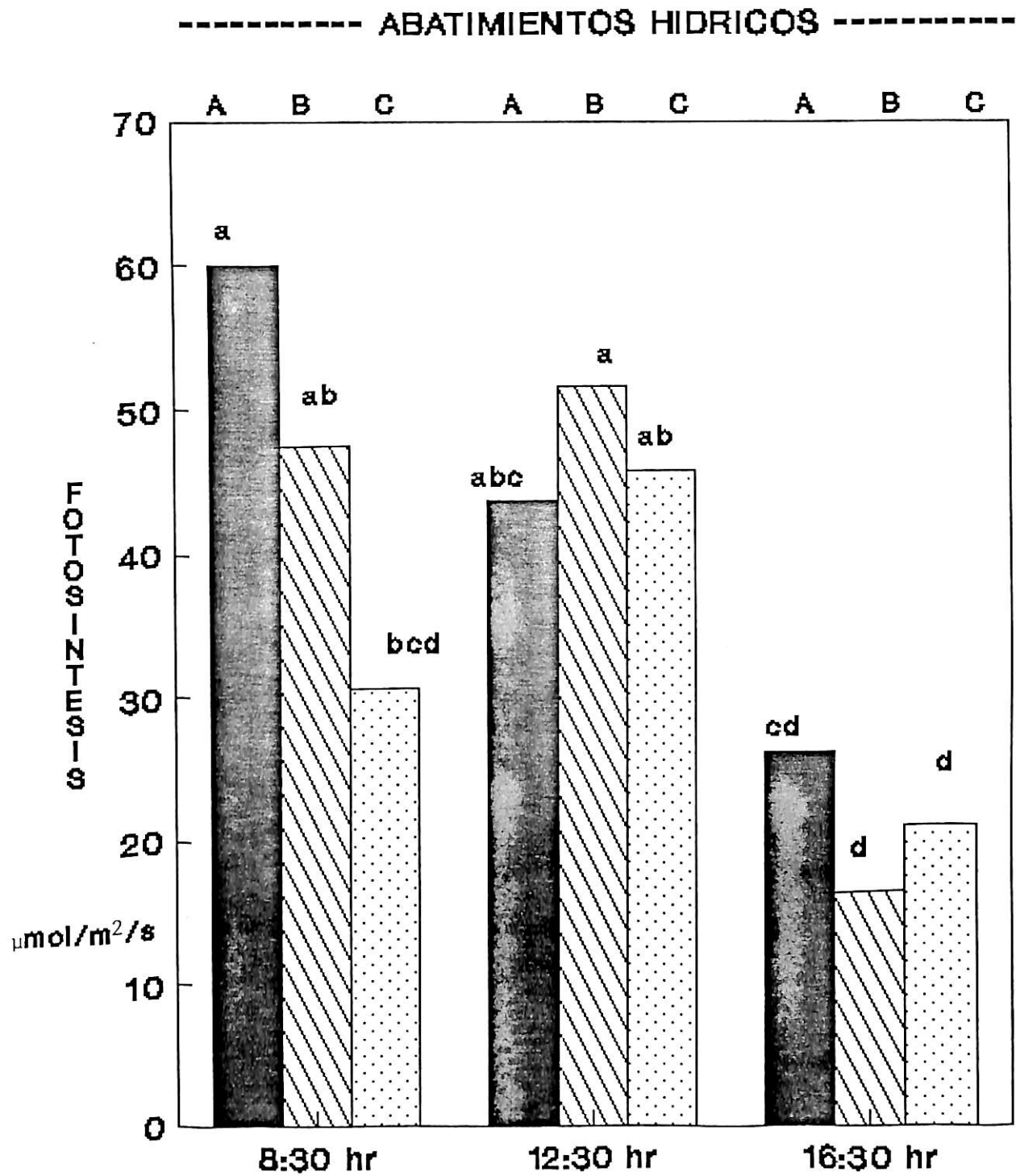


Figura 4.13. Fotosíntesis ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) del zacate buffel a tres horas del día a tres abatimientos hídricos.

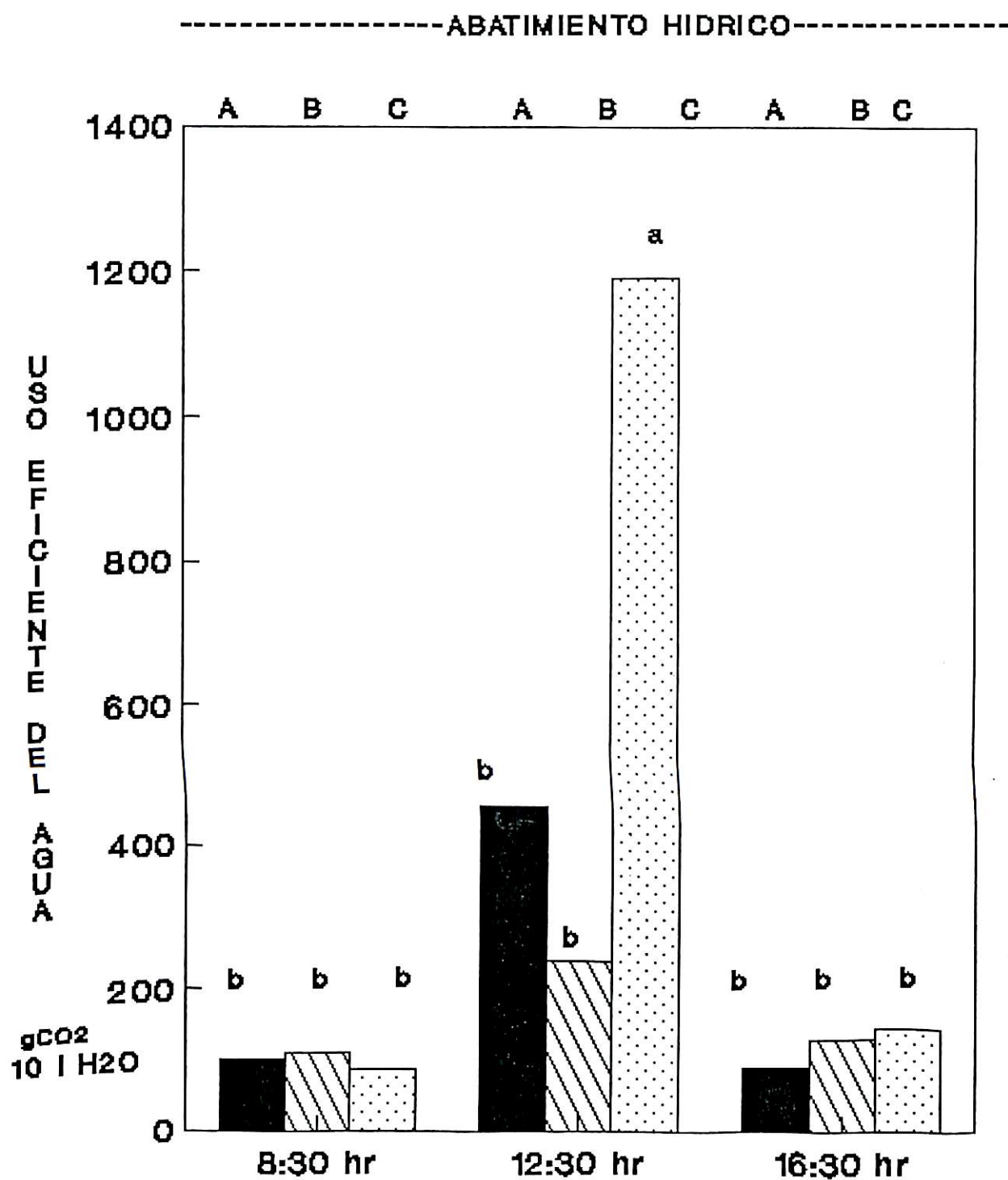


Figura 4.14. Uso eficiente del agua (g CO₂/10 l agua) a tres horas del día, por buffel, a tres abatimientos hídricos.

DISCUSION

Análisis de Crecimiento

Indices de Eficiencia del Crecimiento (IEC)

Las restricciones de agua disminuyen el crecimiento del buffel, debido a que se reduce la asimilación de CO_2 (Ludlow y Ng, 1976). Pande y Singh (1981), al trabajar con zacates C_4 y C_3 bajo condiciones controladas determinaron que el déficit hídrico reduce el crecimiento de las plantas debido al decremento de la asimilación neta; esto a causa de la disminución del potencial hídrico en hojas, tales planteamientos no coinciden con lo detectado en esta investigación puesto que a mayor déficit hídrico mayor índice de eficiencia en el crecimiento ocurrió (cuadro No. A.2), lo anterior es debido a que no es posible la comparación de la producción absoluta respecto a valores proporcionales. Por otra parte, respecto al IEC para las diferentes estructuras del buffel, se encontró que no guarda relación positiva con el abatimiento hídrico tal como lo describen Turner (1986) y Milburn (1979). Respecto a un menor índice de área foliar, es posible que las hojas reciban una mayor incidencia lumínica en un plano vertical, con lo cual paralelamente se incrementa la fotosíntesis y con ello el IEC de la planta; dicha respuesta, concuerda con lo expuesto por autores como Brown y Blaser (1968) y Larcher (1977), quienes establecen que el sombreado mutuo entre hojas o disminución del ángulo de incidencia

lumínica sobre la superficie, incrementa la respiración superando a la fotosíntesis y con ello las ganancias de peso decrecen.

Producción del Vástago Uno al n

Producción de Hojas, Vainas y Culmos

Los resultados presentados en el capítulo anterior señalan que al aumentar el abatimiento hídrico, el peso de hojas y vainas, se redujo (Figura 4.8), este comportamiento aparentemente es una respuesta evasiva a la transpiración, ya que como es sabido existe estrecha relación entre el peso de las hojas y vainas con el área foliar; similar comportamiento tiene esta última variable con la transpiración (figuras 4.4 y 4.12). El anterior comportamiento obviamente afecta el crecimiento, ya que como lo explican Milburn (1979) y Turner (1986), al disminuir el agua disminuye el crecimiento, pues reduce la fotosíntesis neta. En este sentido, los resultados establecen que la comparación intraespecífica del buffel a diferentes abatimientos hídricos, genera información para afirmar que a menor disponibilidad de agua decrece el peso seco de vástagos, sin embargo, nunca es inferior al peso radical. Lo anterior coincide con lo encontrado por Coyne y Bradford (1985), investigadores que argumentan que los zacates C4 introducidos bajo déficit hídrico, producen más fitomasa en vástagos versus radical, situación que avala a su vez al peso de culmos determinado en esta investigación.

Peso de Espiguillas

El peso de espiguillas, es de hecho la estructura del zacate buffel más sensible al abatimiento hídrico, razón por la que cuando la planta se enfrenta a la falta de humedad aprovechable en el suelo, sacrifica otras estructuras (culmos, corona y raíz) para fin de asegurar la perpetuidad de su especie; de ahí que la diferencia entre los niveles de abatimiento no hayan sido estadísticamente significativos. Resultados que no coinciden con lo reportado por Turner y Begg (1981), en el sentido de que existe dependencia directa entre la humedad aprovechable en el suelo y acumulación de peso en espiguillas, avalado a su vez por Langer (1972). Por otra parte, los resultados de índices de eficiencia en el uso del agua de esta investigación indican que al acercarse al P.M.P. la eficiencia en el uso del agua se incrementa por el tratamiento C (cuadro No. A.12 y figura 4.11), habilidad que le permite desarrollar sus cariopsis hasta la madurez fisiológica.

Peso de Corona y Raíz

El peso de corona y raíz del buffel, disminuyeron paralelamente al abatimiento hídrico, tal respuesta se atribuye a que la acumulación de materia seca depende de la disponibilidad de agua aprovechable. El comportamiento del buffel en esta investigación, coincide con lo reportado por Pande y Singh (1981), con zacates C4 bajo condiciones controladas, dichos autores argumentan que a grandes abatimientos hídricos se disminuye hasta en 58.1 por ciento el peso de raíz, lo anterior implica que el déficit de agua en la etapa de gran

crecimiento afecta determinadamente la producción de esta estructura, coincidiendo con lo planteado por DePuit y Caldwell (1975), al trabajar con Agropyron en invernadero.

Indices

Indices de Cosecha

Existen numerosos reportes respecto al efecto negativo del abatimiento hídrico sobre el crecimiento. Al analizar la distribución de la biomasa en las diferentes estructuras del zacate buffel, se observó la tendencia a acumular peso en aquellas partes que funcionalmente le retribuían mayores ganancias (hojas), ya que como es sabido son los sitios de mayor actividad fotosintética. Por otra parte, también se observó mayor tendencia a producir estructuras de reproducción (como son las espiguillas), en el tratamiento con mayor nivel de abatimiento hídrico (cuadro No. A.9). Es posible que tal comportamiento sea debido a que el llenado de cariópsis bajo déficit hídrico ocurre por una aportación del carbono soluble y nitrógeno almacenado en hojas y culmos, tal y como lo plantearon Begg y Turner (1976).

Indices de Eficiencia en el Uso del Agua

Es necesario enfatizar que la producción de fitomasa no se incrementa con el abatimiento hídrico; sin embargo, sí aumenta la eficiencia en la utilización del recurso agua; por lo tanto los resultados coinciden con los encontrados en trigo por Heitholt (1989),

bajo déficit hídrico, esta especie disminuyó su proporción de raíces/culmos, en virtud a lo planteado anteriormente, puede entenderse que el buffel a mayor abatimiento hídrico, mejora sus índices de cosecha en estructuras aéreas (vástagos).

Parámetros Funcionales

El comportamiento expresado por el zacate buffel (cuadro A.15), de que a menor fotosíntesis neta la transpiración es inferior, y de que a mayor transpiración decrece el uso eficiente del agua, coincide con lo reportado por Ludlow y Ng (1976), quienes consideran que plantas C₄ bajo déficit hídrico y a manera de evitar daños funcionales regulan su actividad fotosintética, esto mediante el control de intercambio de CO₂ y conductancia estomática; Bokhari *et al.* (1987), agregan que lo anterior es una táctica de plantas C₄ practicada en etapas vegetativas, para conservar agua en el desarrollo de inflorescencias. Con base a lo anterior se presenta la reducción del área foliar del tratamiento C, puesto que con un tamaño menor presentaron mayor resistencia al nivel de abatimiento hídrico a que fueron sometidas, ello como respuesta a que no existió sobrecalentamiento de las hojas, ya que se considera que se realizó una eficiente distribución de vapor de agua a través de los estomas, debido a baja resistencia a la difusión, razón por la cual es probable que no se consumieran cantidades excesivas de agua para el control de la temperatura interna, destinando por tanto el agua en procesos funcionales favorables a la ganancia de peso y paralelamente aumentando el uso eficiente del agua por el buffel en el tratamiento C.

CONCLUSIONES

1. El mayor índice de eficiencia de crecimiento de las hojas fue con el máximo abatimiento hídrico del suelo.

2. Al incrementarse el nivel de abatimiento hídrico se redujo la producción de forraje.

3.a. A mayor abatimiento hídrico, se incrementaron los índices de cosecha de los vastagos.

3.b. A mayor abatimiento hídrico, se incrementó el índice de uso eficiente del agua en : hojas, vainas y espiguillas.

4.a. A menor disponibilidad de humedad aprovechable en el suelo, el buffel incremento su eficiencia en el uso del agua.

4.b. La máxima eficiencia en el uso del agua fue a las 12.30 hr para todos los tratamientos.

Recomendaciones

En aquellas áreas donde el agua es moderadamente disponible y donde el objetivo sea la producción de forraje con buffel bajo riego, es recomendable someterlo ha abatimientos hídricos hasta del 50 por

ciento de la humedad aprovechable en el suelo, aún en lugares donde el agua no sea limitante para la producción.

Si el objetivo es la producción de espiguillas, se sugiere que el buffel se encuentre bajo condiciones de agua limitada (50 a 75 por ciento de abatimiento hídrico).

Recomendaciones de Investigación

1. Es necesario que los resultados obtenidos sean validados a nivel de campo.

2. Evaluar el impacto que sobre la producción y viabilidad de los cariópsis tienen los diferentes abatimientos hídricos, en el buffel.

3. En los análisis de crecimiento subsecuentes a nivel de invernadero para cualquier especie vegetal, es necesario tener repeticiones de los materiales a destruir, con la finalidad de tener mayor certeza estadística sobre el comportamiento de los índices de eficiencia del crecimiento.

4. Con el objetivo de incrementar el uso eficiente del agua en las Zonas Áridas, es necesario comparar otras especies forrajeras con el buffel.

5. Para un mayor conocimiento del funcionamiento en el buffel, deben de monitoriarse todas las etapas fenológicas, asociandolas con estudios de análisis de crecimiento.

RESUMEN

La investigación se realizó del 29 de abril de 1990, bajo condiciones de invernadero, con temperatura y humedad controlada (25 a 27 °C y 55 a 60 por ciento respectivamente), el sitio de estudio se localiza en las instalaciones del Campus de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

El objetivo fue determinar el efecto del abatimiento hídrico del suelo sobre el índice de crecimiento y la producción de forraje, índices de cosecha y el uso eficiente del agua, además de los parámetros fisiológicos (transpiración y fotosíntesis neta) del zacate buffel.

La investigación se estableció en macetas con suelo de textura franca, cuya capacidad de campo (C.C.) y punto de marchitez permanente (P.M.P.) fueron de 39.88 y 20.61 por ciento respectivamente. Los tratamientos de humedad fueron tres, considerando como base para su definición el rango existente entre C.C. y P.M.P., cada tratamiento se inició desde la C.C. dejándose abatir hasta el 25, 50 y 75 por ciento del volumen total del agua retenida por el suelo. El monitoreo de la humedad en suelo fue a través del método gravimétrico, pesando a cada 24 horas cada maceta y a partir de la etapa fenológica de excursión,

exclusivamente el tratamiento A se peso a cada 12 horas. Se tuvieron paralelamente macetas en blanco, las cuales sirvieron para diferenciar el agua avaporada de la transpirada. La variedad utilizada de zacate buffel fue la común o americano. Las semillas sembradas tuvieron el mismo peso y tamaño. La siembra se realizó el 29 de junio de 1990, depositando cinco semillas por maceta a una profundidad de 1.0 cm . Cuando la plantula tuvo tres hojas con ligula definida, se aclaró dejándose a un individuo por maceta.

Las variables medidas fueron: un análisis de crecimiento. (utilizando los primeros seis vastagos de la planta). Producción total de biomasa en base seca para hojas, vainas, culmos, espiguillas, corona y raíz, al final de la madurez fisiológica. de las variables descritas. Con ambos tipos de medición de la producción se efectuó un análisis de varianza y prueba múltiple de medias .

Respecto a los índices de producción y de eficiencia en el uso del agua, se calcularon para : Hojas, vainas, culmos, espiguillas, corona y raíz.

Se midieron los parámetros funcionales: transpiración y fotosíntesis, utilizando un analizador de gases portátil IRGA-LI-6200. El uso del agua se estimó a partir de fotosíntesis y transpiración.

Los Análisis de los Resultados Fueron:

a) Análisis de varianza. Para área foliar, producción total por componentes, y parámetros funcionales.

b) Prueba múltiple de medias. Para producción total por componentes, área foliar y parámetros funcionales.

El máximo índice de eficiencia del crecimiento en hojas fue para el tratamiento C, el IEC del crecimiento aéreo en las etapas iniciales fue para el tratamiento B, en etapas posteriores al gran crecimiento para el C y A; además en el IEC de raíz los tratamientos C y A fueron sobresalientes.

El tratamiento A, a partir de la etapa de ahijamiento produjo la mayor área foliar, seguido por el tratamiento B a excepción de la etapa de 8^{va} hoja y madurez fisiológica. En general el gran crecimiento y excursión de panícula fueron las etapas de mayor área foliar para los tres tratamientos.

La máxima producción de materia seca de hojas, vainas, culmos, espiguillas, corona y raíz (10.825, 7.291, 30.992, 11.766, 3.600 y 21.000 g respectivamente), fue con el tratamiento A (menor abatimiento hídrico).

Respecto a los índices de producción, el tratamiento C destinó proporcionalmente del peso total, mayores acumulaciones en

hojas, vainas, culmos y espiguillas (7.56:1, 9.84:1, 2.82:1 y 5.53:1 g respectivamente).

El tratamiento C, proporcionalmente utilizó menor cantidad de agua (g) para producir un g de materia seca en hojas, vainas y espiguillas (706.88:1, 920.48:1 y 517.12:1 respectivamente), inferior en 4.7, 15.2 y 26.3 por ciento del agua utilizada por el tratamiento A.

Los parámetros funcionales indicaron que a las 12:30 hr del día la transpiración para los tres abatimientos hídricos decrece. Por otra parte a las 12:30 hr del día se incremento el uso eficiente del agua para los tres abatimientos hídricos, siendo el C el del máximo UEA.

LITERATURA CITADA

- Aase, J.K. 1978. Relationship between leaf area and dry matter in winter wheat. *Agron. J.* 70(4): 563-565. USA.
- Allan R.E. 1983. Harvest indexes of backcross-derived wheat lines differing in culm height¹. *Crop Sci.* 23: 1029-1032. USA.
- Allison, J.C.S. and A.J. Vermon. 1963. A Method of calculating net assimilation rate. *Nature.* 23: 814. USA.
- Ashley, D.A., Doss, B.D., and Bennett, O.L. 1965. Relation of cotton leaf area index to plant growth and fruiting. *Agron. J.* 57: 61-64. USA.
- Bashaw, E.C. 1985. Buffelgrass origins. p. 6-8. In: *Proceedings of a Symposium Buffelgrass: Adaptation, management, and forage quality.* Texas A & M University Research and Extension Center. Weslaco, Texas, USA.
- Begg, J.E. and M.C. Turner. 1976. Crop water deficit. *Adv. in Agron.* 28: 161-217. USA.
- Bokhari, U.G., F. Alyaesh and M. Al-Nori. 1987. Adaptative strategies of desert grasses in Saudi Arabia. *J. Range Manage.* 40 (1): 19-22. USA.
- Brown, R.H. and R.E. Blaser. 1968. Leaf area index in pasture growth. *Herb. Abstracts.* 38(1): 1-9. USA.
- Chakravarty, A.K., and L. Kalkani. 1967. Study on variation in seed yielding components of Cenchrus ciliaris Linn. *Ann. of Arid Zone.* 5 (1): 63-71. INDIA.
- Coyne R.L. and J.A. Bradford. 1985. Morphology and growth in seedlings of several C4. Perennial grasses. *J. Rang. Manage.* 38(6): 504-512. USA.

- Dale, J.E. 1988. The control of leaf expansion. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 39: 267-95. USA.
- Darrow, M.G. 1932. Methods of measuring strawberry leaf areas. *Plant Physiol.* 7:745-747. USA.
- Daubenmire, R.F. 1982. *Ecología vegetal: Tratado de Autoecología de Plantas.* Ed. Limusa. 1er., Reimpresión. 496 p. México.
- De La Peña, I. 1978. El buen uso y manejo del Agua de Riego (Primera parte). Boletín Técnico No. 8 del Comité Directivo del Distrito de Riego No. R-28-41. Cd. Obregon, Son. 113 p. México.
- DePuit, J.E., and M.M. Caldwell. 1975. Gas exchange of three cool semidesert species in relation to temperature and water stress *J. Ecol.* 63: 835-856. USA.
- Dornbos, D.L. Jr., R.E. Mullen and R.M. Shibles. 1989. Drought stress effects during seed fill on soybean seed germination and vigor. *Crop. Sci.* 29: 476-480. USA. •
- Fairbourn, M.L. 1982. Water use by forage species. *Agron. J.* 74: 62-66. USA.
- Fisher R.A. and Z. Kertesz. 1976. Harvest index spaced population and grain weight of microplots as indicators of yielding ability in spring wheat. *Crop Sci.* 16:55-59. USA.
- Frank, A.B. and R.E. Barker. 1976. Rates of photosynthesis and transpiration and diffusive resistance of six grasses grown under controlled conditions. *Agron. J.* 68 (3):487-90 USA.
- Frasier, G.W. and H.A. Schreiber. 1978. Rangeland forage rehabilitation by water harvesting. p 295-298. In: *Proceedings of the first International Rangeland Congress.* USA.
- Grant, R.F., B.S. Jackson, J.R. Kiniry, and G.F. Arkin. 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agron. J.* 81:61-65. USA.

- Gupta, A.S. and Berkowitz 1988. Chloroplast osmotic adjustment and water stress effects on photosynthesis. Biol. Abstr. 87 (1). USA.
- Guy, W.M. 1964. A coefficient for computing leaf area in hibrid corn. Agron. J. 56: 240-41. USA.
- Hanson, A.E. and W.D. Hitz. 1982. Metabolic adjustment of mesophytes to plant water deficit. Ann. Rev. Plant Physiol. 33. 163-206. USA.
- Heitholt, J.J. 1989. Water use efficiency and dry matter distribution in nitrogen and water stressed winter wheat. Agron J. 81:464-469. USA.
- Holt, E.C. 1985. Buffel-a Brief history. p. 1-5. In: Proceedings of a Symposium Buffelgrass: Adaptation, Management, and Forage quality. Texas A & M University Research and Extention Center. Weslaco, Texas, USA.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant Responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol. 24: 519-570. USA.
- Hunt, R. 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold. p 15-48. England.
- Jewiss, O.R. 1966. Morphological and physiological aspects of growth of grasses during the vegetative phase. p 39-58. In: Milthorpe, F.L. and J.D. Ivins. 1966. The growth of cereals and grasses. Ed. Butterworthes. London, England.
- Jones, C.A. 1985. C₄ grasses and cereals. Growth, development, and stress responses. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons. New York. 419 p. USA.
- Jordan, W.R. 1983. Whole Plant responses to water deficits: An Overview. p. 289-317. In: H.M. Taylor, W.R. Jordan and T.R. Sinclair. 1983. Limitations to efficient water use and crop production. USA.

- Kramer, J.P. 1962. Water stress and plant growth. Symposium Responses of field crops to environmental factors, sponsored by American Meteorology Society and American Society of Agronomy. St. Louis Missouri. 1961. In: Agron. J. 54: 31-35. USA.
- Kramer, J.P. 1983. Water relations of plants. Academic Press. Inc., 475 p. USA.
- Kumar, A. and M.C. Joshi. 1970. A note on the leaf area estimation in three species of *Cenchrus*. Annals of Arid Zone. 9(2): 157-158. India.
- Lane, L.J., E.M. Romney and T.E. Hakonson. 1984. Water balance calculation and net production of perennial vegetation in the Northern Mojave Desert. J. Range Manage. 37(1): 12-18 USA.
- Langer R. H.M. 1972. How Grasses Grow. Studies in Biology N.34. Edward Arnold London. 60 p. England.
- Larcher, W. 1977. Ecofisiologia Vegetal. Ed. Omega. 305 p. Barcelona España.
- Ludlow, M.M. and T.T. Ng. 1976. Effect of water deficit on carbon dioxide exchange and leaf elongation rate of *Panicum maximum* var. *trichoglume*. Aust. J. Plant. Physiol. 3: 401-13. Australia.
- Myers, L.F. 1972. Effects of grazing and grazing systems. In: J.H. Ligh and J.C. Noble (Ed). Plant for sheep in Australia. Edit. Headlead. 183. Sidney, Australia.
- Meidner, H. and T.A. Mansfield. 1968. Physiology of stomata. McGraw Hill. New York. 179 p. USA.
- Milburn, J.A. 1979. Water flow in plants. Ed. Longman Inc. New York. 225 p. USA.
- Morales C.A., E. García M., J.R. Aguirre R. y F.V. González C. 1990. Efecto del corte y la presencia de rizomas en la producción de materia seca en zacate buffel. p 67 En: Resúmenes del sexto Congreso Mexicano de Manejo de Pastizales. Monterrey Nvo. León, México..

- Kramer, J.P. 1962. Water stress and plant growth. Symposium Responses of field crops to environmental factors, sponsored by American Meteorology Society and American Society of Agronomy. St. Louis Missouri. 1961. In: Agron. J. 54: 31-35. USA.
- Kramer, J.P. 1983. Water relations of plants. Academic Press. Inc., 475 p. USA.
- Kumar, A. and M.C. Joshi. 1970. A note on the leaf area estimation in three species of *Cenchrus*. Annals of Arid Zone. 9(2): 157-158. India.
- Lane, L.J., E.M. Romney and T.E. Hakonson. 1984. Water balance calculation and net production of perennial vegetation in the Northern Mojave Desert. J. Range Manage. 37(1): 12-18 USA.
- Langer R. H.M. 1972. How Grasses Grow. Studies in Biology N.34. Edward Arnold London. 60 p. England.
- Larcher, W. 1977. Ecofisiologia Vegetal. Ed. Omega. 305 p. Barcelona España.
- Ludlow, M.M. and T.T. Ng. 1976. Effect of water deficit on carbon dioxide exchange and leaf elongation rate of *Panicum maximum* var. *trichoglume*. Aust. J. Plant. Physiol. 3: 401-13. Australia.
- Myers, L.F. 1972. Effects of grazing and grazing systems. In: J.H. Ligh and J.C. Noble (Ed). Plant for sheep in Australia. Edit. Headlead. 183. Sidney, Australia.
- Meidner, H. and T.A. Mansfield. 1968. Physiology of stomata. McGraw Hill. New York. 179 p. USA.
- Milburn, J.A. 1979. Water flow in plants. Ed. Longman Inc. New York. 225 p. USA.
- Morales C.A., E. García M., J.R. Aguirre R. y F.V. González C. 1990. Efecto del corte y la presencia de rizomas en la producción de materia seca en zacate buffel. p 67 En: Resúmenes del sexto Congreso Mexicano de Manejo de Pastizales. Monterrey Nvo. León, México..

- Tottman, D.R., R.J. Makepeace and H. Broad. 1979. An Explanation of the decimal code for growth stress of cereals, with illustrations. *Ann. Appl. Biol.* 93: 221-234. England.
- Turner, C.N. 1986. Crop water deficit: A decade of progress. *Adv. in Agron.* 39: 1-51. USA.
- Turner, N.C. and J.E. Begg. 1981. Plant- water relations and adaptation to stress. *Plant and Soil.* 58: 97-131. USA.
- Vanderlip, R.L. and G.F. Arkin. 1977. Simulting accumulation and distribution of dry matter in grain sorghum. *Agron J.* 69 (6): 917-923. USA.
- Villa C.M.M. 1987. Potencial del agua en la hoja, conductancia estomática y producción de materia seca en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L). en función de la disponibilidad de agua en el suelo. Tesis de Maestría. Ined. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 147 p.
- * Wilson, A.M. and J.A. Sarles. 1978. Quantification of growth drought tolerance and avoidance of blue grama seedlings *Agron. J.* 70: 231-237. USA.

APENDICE

Cuadro No. A.1 Indices de eficiencia de crecimiento del zacate buffel (mg M.S./cm² hoja . día) por etapa fenológica a tres niveles de abatimiento hídrico (25, 50 y 75 %) en invernadero

Trat.	Etapa fenológica	Componente estructural	IEC observados	
A	Octava hoja	Hojas	0.10	
			Ahijamiento	0.18
			Gran crecimiento	0.30
			Excursión final	0.10
			Madurez fisiológica	0.79
	Octava hoja	Vástagos	0.14	
			Ahijamiento	0.29
			Gran crecimiento	1.02
			Excursión final	12.07
			Madurez fisiológica	21.56
	Octava hoja	Raíz	0.10	
			Ahijamiento	0.0006
			Gran crecimiento	0.28
			Excursión final	7.21
			Madurez fisiológica	7.85
B	Octava hoja	Hojas	0.10	
			Ahijamiento	0.96
			Gran Crecimiento	0.008
			Excursión final	1.65
			Madurez fisiológica	0.41
	Octava hoja	Vástagos	0.15	
			Ahijamiento	3.24
			Gran crecimiento	2.21
			Excursión final	7.41
			Madurez fisiológica	23.90
	Octava hoja	Raíz	0.07	
			Ahijamiento	1.41
			Gran crecimiento	1.78
			Excursión final	1.09
			Madurez fisiológica	1.26

Continúa...

ContinúaCuadro No. A.1

C	Octava hoja	Hojas	0.15
	Ahijamiento		1.28
	Gran crecimiento		3.87
	Excursión final		5.94
	Madurez fisiológica		0.47
	Octava hoja	Vástagos	0.19
	Ahijamiento		1.20
	Gran crecimiento		3.75
	Excursión final		4.77
	Madurez fisiológica		48.50
	Octava hoja	Raíz	0.02
	Ahijamiento		0.79
Gran crecimiento		0.07	
Excursión final		2.36	
Madurez fisiológica		14.60	

Cuadro No. A.2 Análisis de varianza del área foliar (cm²) en seis etapas fenológicas del zacate buffel a tres niveles de abatimiento hídrico, en condiciones de invernadero

Etapa fenológica	Fuente de variación	G	L	C.M.	Fc	Ft																																																																									
						0.05	0.01																																																																								
Octava hoja	Trat	2		3.46	0.275 n. s.	3.89	6.93																																																																								
	Error exp.	12		12.59				Ahijamiento	Trat	2		240.79	0.638 n. s.			Error exp.	12		377.29	Gran crecimiento	Trat	2		5584.75	1.353 n. s.			Error exp.	12		4125.33	Excursión de panicula	Trat	2		64237.69	8.934 **			Error exp.	12		7190.57	Grano masos	Trat	2		13861.35	7.852 **			Error exp.	12		1765.36	Madurez de grano	Trat	2		2447.21	2.850 n. s.			Error exp.	12		1.071	**	Significativo estadísticamente al nivel de					P<0.01		*	"		
Ahijamiento	Trat	2		240.79	0.638 n. s.																																																																										
	Error exp.	12		377.29				Gran crecimiento	Trat	2		5584.75	1.353 n. s.			Error exp.	12		4125.33	Excursión de panicula	Trat	2		64237.69	8.934 **			Error exp.	12		7190.57	Grano masos	Trat	2		13861.35	7.852 **			Error exp.	12		1765.36	Madurez de grano	Trat	2		2447.21	2.850 n. s.			Error exp.	12		1.071	**	Significativo estadísticamente al nivel de					P<0.01		*	"					P<0.05									
Gran crecimiento	Trat	2		5584.75	1.353 n. s.																																																																										
	Error exp.	12		4125.33				Excursión de panicula	Trat	2		64237.69	8.934 **			Error exp.	12		7190.57	Grano masos	Trat	2		13861.35	7.852 **			Error exp.	12		1765.36	Madurez de grano	Trat	2		2447.21	2.850 n. s.			Error exp.	12		1.071	**	Significativo estadísticamente al nivel de					P<0.01		*	"					P<0.05																					
Excursión de panicula	Trat	2		64237.69	8.934 **																																																																										
	Error exp.	12		7190.57				Grano masos	Trat	2		13861.35	7.852 **			Error exp.	12		1765.36	Madurez de grano	Trat	2		2447.21	2.850 n. s.			Error exp.	12		1.071	**	Significativo estadísticamente al nivel de					P<0.01		*	"					P<0.05																																	
Grano masos	Trat	2		13861.35	7.852 **																																																																										
	Error exp.	12		1765.36				Madurez de grano	Trat	2		2447.21	2.850 n. s.			Error exp.	12		1.071	**	Significativo estadísticamente al nivel de					P<0.01		*	"					P<0.05																																													
Madurez de grano	Trat	2		2447.21	2.850 n. s.																																																																										
	Error exp.	12		1.071																																																																											
**	Significativo estadísticamente al nivel de					P<0.01																																																																									
*	"					P<0.05																																																																									

Cuadro No. A.3 Prueba multiple de medias del área foliar (cm²) en seis etapas fenológicas del zacate buffel a tres abatimiento hídrico, en invernadero.

Fase fenológica	Tratamiento	Valor medio	Valor Tukey	
Octava hoja	C	7.84	A	27.70 n. s.
	A	6.60	A	
	B	6.26	A	
Ahijamiento	B	34.69	A	43.78 n. s.
	A	33.92	A	
	C	22.30	A	
Gran crecimiento	A	268.79	A	144.80 n. s.
	B	261.63	A	
	C	207.66	A	
Excursión de panícula	A	446.78	A	191.13 **
	B	254.21	AB	
	C	246.91	B	
Grano masoso	A	132.47	A	94.70 **
	B	45.40	AB	
	C	37.65	B	
Madurez fisiológica	A	53.46	A	66.05 n. s.
	C	24.30	A	
	B	10.06	A	

Todos los valores medios seguidos de una misma literal estadísticamente son iguales al nivel de $P \leq 0.01$ (**)

Cuadro No. A.4 Análisis de varianza del área foliar (cm²) de zacate buffel para cada nivel de abatimiento hídrico, en seis etapas fenológicas, (tratamientos) en invernadero.

Nivel de abatimiento hídrico	Fuente de variación	G de L	C.M.	F.c.	F. t.	
					0.05	0.01
A	Tratamiento	5	145563.78	51.39**	2.78	3.90
	Error exp.	24	2832.57			
B	Tratamiento	5	74003.05	21.84**		
	Error exp.	24	3389.17			
C	Tratamiento	5	56846.32	60.21**		
	Error exp.	24	944.15			

** = Significativo estadísticamente al nivel de $P \leq 0.01$

Cuadro No. A.5 Prueba múltiple de medias del área foliar (cm²) de zacate buffel seis etapas fenológicas, para los diferentes niveles de abatimiento hídrico, en invernadero.

Tratamiento	Etapa (días) fenológica	Media	Valor Tukey
A	8 ^{va} hoja (32)	6.59	c
	Ahijamiento (42)	33.92	c
	Gran crecimiento (60)	268.79	b
	Excursión (81)	446.78	a
	Grano masoso (99)	132.47	c
	Madurez fisiológica (107)	53.46	c
B	8 ^{va} hoja (32)	6.26	b
	Ahijamiento (42)	34.69	b
	Gran crecimiento (60)	261.60	a
	Excursión (81)	254.21	a
	Grano masoso (99)	40.40	b
	Madurez fisiológica (107)	34.69	b
C	8 ^{va} hoja (32)	7.84	b
	Ahijamiento (42)	22.30	b
	Gran crecimiento (60)	207.66	a
	Excursión (81)	246.91	a
	Grano masoso (99)	37.64	b
	Madurez fisiológica (107)	24.30	b

Los valores con la misma literal son estadísticamente iguales al nivel de $P \leq 0.01$ (**)

CUADRO No A.6 Análisis de varianza del peso seco (g) de cada parte de la planta de zacate buffel en madurez fisiológica, a tres niveles de abatimiento hídrico, en invernadero

VARIABLE	FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	Fc	Ft	
					.05	.01
Peso de hojas	Trat	2	10.7680	9.026**	4.10	7.56
	Error exp.	12	1.193			
Peso de vainas	Trat	2	1.826	2.151n.s.		
	Error exp.	12	0.726			
Peso de culmos	Trat	2	140.375	7.271*		
	Error exp.	12	19.307			
Peso de espiguillas	Trat	2	0.965	0.180n.s.		
	Error exp.	12	5.350			
Peso de corona	Trat	2	4.550	9.414*		
	Error exp.	12	0.480			
Peso de Raíz	Trat	2	123.467	5.927*		
	Error exp.	12	20.830			

** Significativo estadísticamente al nivel de $P \leq 0.01$

* " " " " $P \leq 0.05$

Cuadro No. A.7 Prueba múltiple de medias del peso seco (g) de cada parte de la planta de zacate buffel en madurez fisiológica, a tres abatimientos hídricos, en condiciones de invernadero.

COMPONENTE	TRATAMIENTO	VALOR MEDIO	VALOR TUKEY
Peso de hojas	A	10.8251	A
	B	9.9709	AB
	C	7.9662	B
Peso de vainas	A	7.2915	A
	B	6.9536	A
	C	6.1176	A
Peso de culmos	A	30.9924	A
	B	29.9761	AB
	C	21.3491	B
Peso de espiguillas	A	11.7663	A
	B	11.2829	A
	C	10.8894	A
Peso de corona	A	3.6000	A
	B	2.8000	AB
	C	1.7000	B
Peso de raíz	A	21.0000	A
	B	20.6000	A
	C	12.2000	B

Los valores medios con una misma literal estadísticamente son iguales al nivel de: $P \leq 0.05$ (*) y $P \leq 0.01$ (**)

Cuadro No. A. 8 Análisis de varianza de los índices de cosecha en la etapa de madurez fisiológica, de seis componentes estructurales del zacate buffel, a tres niveles de abatimiento hídrico, en invernadero.

Componente	Fuente de variación	G.L.	Cuadrado medio	F.c.	F.t.	
					0.05	0.01
Hojas	Trat	2	7.67e-4	1.900 n.s.	4.46	8.65
	Error exp.	12	4.04e-4			
Vainas	Trat	2	9.73e-4	9.563 **		
	Error exp.	12	1.02e-4			
Culmos	Trat	2	8.39e-4	0.216 n.s.		
	Error exp.	12	38.79e-4			
Raíz	Trat	2	21.01e-4	0.797 n.s.		
	Error exp.	12	26.37e-4			
Corona	Trat	2	2.24e-4	2.310 n.s.		
	Error exp.	12	0.97e-4			
Espiguillas	Trat	2	49.41e-4	5.351 *		
	Error exp.	12	9.24e-4			

* = Significativo estadísticamente al nivel de $P \leq 0.05$

** = " " " " $P \leq 0.01$

Cuadro No. A. 9 Prueba múltiple de medias de índices de cosecha en la etapa de madurez fisiológica, de seis componentes estructurales del zacate buffel, a tres niveles de abatimiento hídrico, en invernadero.

COMPONENTE	TRATAMIENTO	VALOR MEDIO	VALOR TUKEY
Hojas	C	0.1449 A	0.0398 n. s.
	A	0.1281 A	
	B	0.1206 A	
Vainas	C	0.1095 A	0.0228 **
	A	0.0865 B	
	B	0.0844 B	
Culmos	C	0.3862 A	0.1050 n. s.
	A	0.3665 A	
	B	0.3620 A	
Raíz	B	0.2571 A	0.0866 n. s.
	A	0.2402 A	
	C	0.2163 A	
Corona	A	0.0432 A	0.0166 n. s.
	B	0.0337 A	
	C	0.0303 A	
Espiguillas	C	0.1928 A	0.0512 *
	B	0.1422 AB	
	A	0.1351 B	

Los valores medios con una misma literal estadísticamente son iguales al nivel de $P \leq 0.05$ (*) y $P \leq 0.01$ (**)

Cuadro No. A. 10 Índices de cosecha de las diferentes estructuras del buffel, a tres niveles de abatimiento hídrico, en invernadero.

Componentes estructurales	Tratamientos		
	A	B	C
Hojas /Peso total	1:07.90	1:08.18	1:07.56
Vainas / "	1:11.72	1:11.73	1:09.84
Culmos / "	1:02.76	1:02.72	1:02.82
Espiguillas / "	1:07.26	1:07.23	1:05.53
Subterráneo / " (corona + raíz)	1:03.47	1:03.48	1:04.33

Cuadro No. A.11 Análisis de varianza de los índices eficiencia en el uso del agua (g M.S./ g de agua trasnpirada) de seis componentes estructurales del zacate buffel, en la etapa de madurez fisiológica, a tres niveles de abatimiento hídrico, en invernadero.

Componente	Fuente de variación	G.L.	Cuadrado medio	F.c.	F. t.	
					0.05	0.01
Hojas	Trat	2	0.0227	0.620 n. s.	4.46	8.65
	Error exp.	12	0.0366			
Vainas	Trat	2	0.2733	3.565 n. s.		
	Error exp.	12	0.0767			
Culmos	Trat	2	0.0173	0.280 n. s.		
	Error exp.	12	0.0618			
Raíz	Trat	2	0.5674	1.131 n. s.		
	Error exp.	12	0.5019			
Corona	Trat	2	0.0340	2.631 n. s.		
	Error exp.	12	0.0130			
Espiguillas	Trat	2	0.3360	3.331 n. s.		
	Error exp.	12	0.1009			

n. s. = No significativo estadísticamente al nivel de $P \leq 0.05$

Cuadro No. A. 12 Prueba múltiple de medias de índices de eficiencia en el uso del agua (mg de M.S. /g de agua) de seis componentes estructurales del zacate buffel en madurez fisiológica, a tres niveles de abatimiento hídrico en invernadero.

COMPONENTE	TRATAMIENTO	VALOR MEDIO	VALOR TUKEY
Hojas	C	1.44	A 0.3225
	A	1.39	A
	B	1.31	A
Vainas	C	1.11	A 0.2943
	A	0.93	A
	B	0.91	A
Culmos	A	3.92	A 0.4190
	B	3.91	A
	C	3.81	A
Raíz	B	2.84	A 1.1944
	A	2.61	A
	C	2.17	A
Corona	A	0.46	A 0.1922
	B	0.37	A
	C	0.30	A
Espiguillas	C	1.93	A 0.5356
	B	1.55	A
	A	1.44	A

Los valores medios con una misma literal estadísticamente son iguales al nivel de $P < 0.05$.

Cuadro No A. 13 Relación g de agua transpirada/ g de M.S. producida.

Componente Estructural	vs Agua Transpirada	Tratamiento		
		A	B	C
	g de M.S. vs g de agua		
Hojas		1: 741.41	1: 765.10	1: 706.88
Vainas		1: 1085.86	1: 1097.09	1: 920.48
Culmos		1: 255.47	1: 254.49	1: 263.76
Espiguillas		1: 701.73	1: 648.35	1: 517.12
Subterráneo (corona + raíz)		1: 327.17	1: 320.53	1: 405.11

Cuadro A. 14 Análisis de varianza de tres parámetros funcionales del zacate buffel en estado de grano masoso, a tres niveles de abatimiento hídrico, en condiciones de invernadero.

Parámetro	Fuente variación	G. de L.	Cuadrado medio	Fc	Ft	
					0.05	0.01
Transpiración $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Tratamiento	8	0.45e-4	8.218 **	2.55	3.79
	Error exp.	17	0.05e-4			
	Total	25				
Fotosíntesis $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	Tratamiento	8	677.05	23.715 **	2.55	3.79
	Error exp.	17	28.55			
	Total	25				
Uso eficiente del agua en $\text{gCO}_2 \cdot 10 \text{ l agua}^{-1}$	Tratamiento	8	385794.00	16.882 **	2.55	3.79
	Error exp.	17	22852.49			
	Total	25				

n.s. = no significativo estadísticamente al nivel de $P \leq 0.01$

Cuadro A. 15 Prueba múltiple de medias de tres parámetros funcionales del zacate buffel, a tres niveles de abatimiento hídrico, en condiciones de invernadero.

Parámetro	Trat.	Hr.	% A. Hídrico	Valor medio	Significancia estadística	valor Tukey
Transpiración $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	1	8:30	A	13.4	a	7.9**
	4	8:30	B	10.5	ab	
	7	8:30	C	8.7	abc	
	3	16:30	A	7.3	abcd	
	5	12:30	B	6.4	bcd	
	6	16:30	B	6.2	bcd	
	9	16:30	C	3.6	cd	
	2	12:30	A	2.2	d	
	8	12:30	C	1.0	d	
Fotosíntesis $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	1	8:30	A	60.02	a	18.92**
	5	12:30	B	51.64	a	
	4	8:30	B	47.48	ab	
	8	12:30	C	45.70	ab	
	2	12:30	A	43.63	abc	
	7	8:30	C	30.62	bcd	
	3	16:30	A	26.23	cd	
	9	16:30	C	20.92	d	
	6	16:30	B	16.34	d	
Uso eficiente del agua $\text{g CO}_2 \cdot 10 \text{ l agua}^{-1}$	8	12:30	C	1189.12	a	435.12**
	2	12:30	A	453.46	b	
	5	12:30	B	238.15	b	
	9	16:30	C	140.41	b	
	6	16:30	B	126.01	b	
	4	8:30	B	108.28	b	
	1	8:30	A	99.24	b	
	3	16:30	A	87.17	b	
	7	8:30	C	84.47	b	

n. s. = no significativo estadísticamente al nivel de $P \leq 0.05$