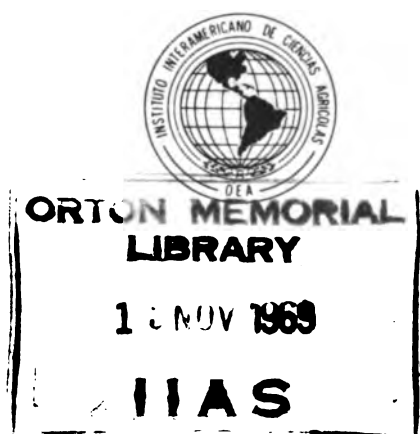


INFLUENCIA DE LA EPOCA DE SIEMBRA SOBRE
LA PRODUCCION Y ACUMULACION DE RESERVAS
EN PASTO ELEFANTE (Pennisetum purpureum)

Tesis de Grado de *Magister Scientiae*

Jorge Carrillo del Castillo



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Departamento de Zootecnia
Turrialba, Costa Rica
Octubre, 1969

INFLUENCIA DE LA EPOCA DE SIEMBRA SOBRE LA PRODUCCION Y ACUMULACION
DE RESERVAS EN PASTO ELEFANTE (Pennisetum purpureum)

Tesis

Sometida al Consejo de Estudios Graduados como
requisito parcial para optar al grado de

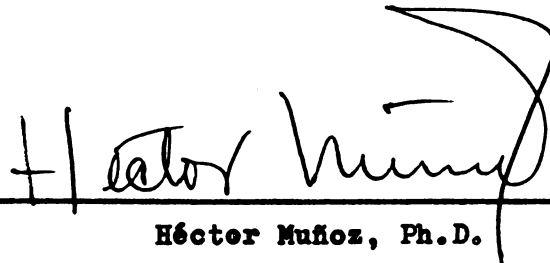
Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

Permiso para su publicación, reproducción total o
parcial, debe ser obtenido en dicho Instituto

APROBADA:



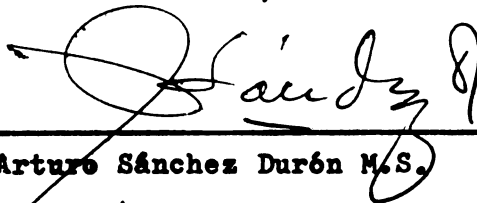
Héctor Muñoz, Ph.D.

Consejero



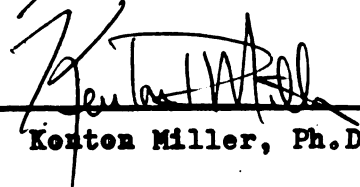
Oliver Deaton, Ph.D.

Comité



Arturo Sánchez Durón M.S.

Comité



Kenton Miller, Ph.D.

Comité

Octubre, 1969

A un maestro

A un amigo

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su agradecimiento al Dr. Héctor Muñoz, bajo cuya dirección concluyó el presente trabajo de tesis.

Al Dr. John Blydenstein quien orientó la iniciación del mismo.

A los demás miembros del Comité Consejero, Doctores Oliver Deaton y Kenton Miller y al Ing. Arturo Sánchez Durón por su apoyo y sugerencias para el mejoramiento del trabajo.

Al Dr. Gilberto Páez quien organizó el Análisis Estadístico y orientó su interpretación.

Al Institute Interamericano de Ciencias Agrícolas y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria por haberle permitido la realización de los estudios de postgrado y del presente trabajo.

BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Buenos Aires (Argentina) el 14 de octubre de 1931.

Realizó sus estudios primarios y secundarios en esta misma ciudad graduándose de Bachiller en 1949.

En 1950 ingresó a la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad de Buenos Aires, donde se graduó como Ingeniero Agrónomo en 1956.

Se dedicó al ejercicio libre de su profesión hasta el 23 de agosto de 1963, fecha en que ingresó a la Sección Forrajeras y Manejo de Pasturas, de la Estación Experimental Agropecuaria de Balcarce del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), donde se desempeñó hasta el año 1967 en que ingresó al IICA como estudiante graduado en la Disciplina de Zootecnia. Se graduó como Magister Scientiae el 21 de octubre de 1969.

CONTENIDO

| | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| LISTA DE CUADROS | viii |
| LISTA DE FIGURAS | ix |
| 1. INTRODUCCION | 1 |
| 2. REVISION DE LITERATURA | 2 |
| 2.1. Descripción de la planta | 2 |
| 2.2. Sustancias de reserva alimenticia | 3 |
| Formación de reservas | 4 |
| Acumulación de reservas | 6 |
| Organos de almacenaje de reservas | 8 |
| Variaciones en el contenido de reservas | 9 |
| Variaciones por defoliación (Corte o pastoreo) | 11 |
| Evaluación de reservas | 13 |
| Importancia de las reservas | 16 |
| Relación del IAF con carbohidratos de reserva | 17 |
| 3. MATERIALES Y METODOS | 19 |
| 3.1. Localización del experimento | 19 |
| 3.2. Trabajos en el umbráculo | 19 |
| Clima | 19 |
| Suelos | 20 |
| Variedad de pasto utilizada | 20 |
| Siembra | 22 |
| Cortes y cosechas de forraje | 23 |
| Datos obtenidos | 23 |
| 3.3. Trabajos en cámara oscura | 25 |
| Reservas iniciales en los tallos | 25 |
| Reservas finales en bases de tallos y raíces | 25 |
| 3.4. Análisis de la información | 26 |
| 4. RESULTADOS | 30 |
| 4.1. Análisis e interpretación de los resultados del umbráculo | 30 |

| | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| Relaciones funcionales entre las variables medidas | 30 |
| Efecto de la Epoca de siembra sobre el peso verde, el peso seco total y el índice de área foliar (IAF) | 33 |
| Efecto de Corte sobre peso verde, peso seco total e índice de área foliar | 37 |
| Efecto conjunto de la Epoca de siembra y de Corte. | 39 |
| 4.2. Análisis e interpretación de los resultados de cá- mara oscura | 42 |
| Reservas iniciales | 43 |
| Máximo (mínimo) esperado, en días, para producción de MS de reservas iniciales | 44 |
| Reservas finales | 46 |
| Máximo (mínimo) esperado, en días; para producción de MS de reservas finales | 47 |
| Número de cortes de rebrotes crecidos en la oscuri- dad y producción de MS por estaca | 49 |
| 4.3. Correlaciones entre variables climáticas e indica- doras de reservas | 50 |
| Reservas iniciales | 50 |
| Reservas finales | 51 |
| 4.4. Comparación del peso seco de raíces y bases de ta- llos al último corte y después de agotadas las reservas | 53 |
| 5. DISCUSION | 56 |
| 6. CONCLUSIONES | 66 |
| 7a. RESUMEN | 67 |
| 7b. SUMMARY | 69 |
| 8. LITERATURA CITADA | 71 |
| APENDICES | 76 |

LISTA DE CUADROS

| Cuadro N ^o | | <u>Página</u> |
|-----------------------|--|---------------|
| 1 | Matriz de correlaciones (\hat{R}) entre las diez variables de respuesta a nivel de unidades experimentales | 31 |
| 2 | Matriz de correlaciones (\hat{R}) entre las diez variables de respuesta a nivel de sub-unidades experimentales | 32 |
| 3 | Sumas de Cuadrados y Productos de peso verde, peso seco total e índice de área foliar (IAF) | 34 |
| 4 | Promedios mensuales para peso verde, peso seco total e índice de área foliar | 36 |
| 5 | Puntajes ("scores") correspondientes a cada Epoca de siembra | 37 |
| 6 | Promedios per mes y por corte para peso verde en gramos (\bar{Y}_1), peso seco total en gramos (\bar{Y}_2) e índice de área foliar (\bar{Y}_3) . | 40 |
| 7 | Puntajes ("scores") correspondiente a la interacción Epoca x Corte para las tres variables conjuntas | 42 |
| 8 | Ecuaciones de regresión para reservas iniciales expresado en MS (Y) en función del tiempo (T_1) | 43 |
| 9 | Máximos (mínimos) esperados y observados de producción de MS (g) y el tiempo de ocurrencia | 45 |
| 10 | Ecuaciones de regresión para reservas finales. Relación de MS (Y) en función del tiempo (T_1) | 46 |
| 11 | Máximos (mínimos) esperados y observados de producción de MS (g) y el tiempo de ocurrencia | 48 |
| 12 | Número de cortes de rebrotes blanqueados y producción de MS por estacas (en gramos) . | 49 |
| 13 | Peso en gramos de raíces y bases de tallos al último corte y después de agotadas las reservas | 54 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura Nº | | <u>Página</u> |
|------------------|---|----------------------|
| 1 | Condiciones climáticas durante el estudio (Datos de la estación metereológica del IICA) | 21 |
| 2 | Coefficientes de cerrelación de reservas iniciales y finales con diferentes varia- bles | 52 |

1. INTRODUCCION

El estudio de los forrajes aptos para las zonas tropicales no es lo suficientemente amplio como para abarcar todos los aspectos agronómicos que permitan el logro de la máxima productividad.

La producción de pasto elefante (Pennisetum purpureum Schum.) es afectada por la forma de manejo a que está sujeto y el medio ambiente en que se desarrolla. Si bien existe en forma de forraje verde durante todo el año, su rendimiento y duración depende muchas veces de la época de siembra, no solo por las condiciones climáticas que permiten su posterior desarrollo, sino también por las reservas alimenticias presentes en los tallos o estacas en dicho momento, que facilitan un más rápido y vigoroso enraizamiento y rebrote, permitiendo a la planta comenzar su propia síntesis y su desarrollo.

Una vez desarrollada la planta, la forma y frecuencia en que se la corte permitirá su posterior crecimiento. Este dependerá de la acumulación de sustancias de reserva en los órganos de almacenaje, para lo cual, durante el crecimiento la planta debe contar con suficiente superficie fotosintética, que le permita un balance positivo en la producción de los carbohidratos.

El presente trabajo tuvo como objetivos:

- 1) Determinar las asociaciones existentes entre algunas variables indicadoras de reservas.
- 2) Determinar la influencia de la época de siembra y de corte sobre el rendimiento del pasto elefante, expresado en peso verde, peso seco total e de láminas y tallos, índice de area foliar, largo y ancho de láminas, etc.
- 3) Establecer el patrón de variabilidad de las reservas en el transcurso del tiempo.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Descripción de la planta

El pasto elefante, que recibe también los nombres de "gigante", "zapote cortex" y "Napiergrass", es una gramínea de origen africano que se desarrolla en forma de macolla (7, 37). Fue introducida en Estados Unidos en el año 1913, donde se propagó rápidamente en la región de Florida debido a su adaptabilidad al medio ambiente y a sus características forrajeras. Puede llegar a tener una altura de más de 3 metros y sus tallos alcanzan un diámetro de 2,5 a 3 cm. Sus flores están dispuestas en una espiga larga, compacta, de 12 a 25 centímetros de largo. Sus hojas son lanceoladas pudiendo llegar a tener un ancho de hasta 4 centímetros en su lámina y un largo superior al metro. Si no es sometido a corte o pastoreo sus tejidos se lignifican al madurar perdiendo valor forrajero (37).

Su cultivo en Estados Unidos, sufrió un serio revés al ser atacado por el hongo Helminthosporium ocellum, pero adquirió nuevo vigor y desarrollo al aparecer variedades resistentes (7).

En 1947 se introdujeron en Turrialba algunas variedades procedentes de Cuba, y en base a ésta y a otras introducciones posteriores de diferentes orígenes se iniciaron las siembras en gran escala en el año 1951 (1).

Posteriormente se realizaron estudios para el mejor aprovechamiento y manejo, así como sus respuestas al corte y a los fertilizantes (1, 4, 31, 35, 37).

2.2. Sustancias de reserva alimenticia

Las sustancias de reserva de los vegetales son en general, materiales orgánicos elaborados por las plantas y almacenados en órganos permanentes a fin de ser empleados cuando las condiciones así lo requieran (28).

Los carbohidratos constituyen la fracción más importante dentro de las reservas en cuanto a cantidad y disponibilidad (28, 39, 50). Estos se pueden dividir según esta última cualidad en no estructurales (reservas verdaderas) y estructurales, que por constituir compuestos insolubles y formar parte de los esqueletos de células y tejidos no están disponibles como reservas (39). Dentro del primer grupo encontramos los azúcares en general, los fructosanos y el almidón (11, 25, 28).

Los vegetales que contienen los fructosanos pueden también tener azúcares pero nunca almidón, mientras que los que tienen este último pueden tener también azúcares pero nunca fructosanos (11, 32).

Las plantas que forman fructosanos como reservas son típicas de zonas templadas, mientras que las que forman almidón y azúcares lo son de climas cálidos (11, 25, 28).

Entre las plantas de zonas templadas se encuentran: el raigras perenne (Lolium perenne L.), el pasto ovillo (Dactylis glomerata), el fleo o timoti (Phleum pratense) y distintas especies de bromos e cebadillas (Bromus spp.) (12, 25, 27, 32). En las de zonas cálidas se encuentran el pasto Johnson o sorgo de Alepo (Sorghum halepense),

la grama o pasto Rhodes (Chloris gayana) y el pasto Bahía (Paspalum notatum) (11, 22, 50).

Smith (40) clasifica a las festuceas, hordeas y aveneas dentro del grupo de las que forman fructosanos y a las eragrostideas, cle-rideas, paniceas y andropogoneas en el grupo de las que forman almi-dón como sustancias no estructurales.

Formación de reservas:

El contenido de carbohidratos y otras sustancias de reserva, varía según las especies, los órganos considerados y el estado vege-tativo de la planta (25). Su formación depende fundamentalmente de la superficie fotosintética y de la luz por una parte y de los nu-trimentos y humedad del suelo por la otra (28).

La luz es necesaria para la formación de azúcares pero indírec-tamente también lo es para otros compuestos, ya que si bien pueden formarse en la oscuridad, lo hacen a partir de los azúcares o em-pleando la energía suministrada por los mismos (29, 39). Mackenzie y Wylan (26) colocando plantas de raigras en la sombra redujeron considerablemente su contenido en azúcares mientras los fructosanos sólo disminuyeron ligeramente.

La formación de reservas está directamente relacionada con la superficie fotosintética y con la calidad, intensidad y duración del período de luz (12, 29, 39). Alberda (2) y Mitchell (30) demostraron en raigras perenne que disminuyendo la intensidad de la luz de-crece tanto el macollaje como la cantidad de carbohidratos.

El efecto de la luz está estrechamente correlacionado con la

temperatura. Bathrust y Mitchell (5) encontraron que la formación de carbohidratos aumentaba si las plantas se colocaban a alta intensidad luminosa y a baja temperatura, mientras que la síntesis disminuía a la sombra y con bajas temperaturas.

Alberda (3) en un estudio con raigras expuesto a la luz del sol, encontró que las diferencias entre intensidad de luz y temperatura influyen sólo en la formación de carbohidratos solubles, ya que el resto de los compuestos orgánicos permanecieron prácticamente sin cambios.

Por otra parte, Davies (12) por medio de períodos de oscuridad y aumento de la temperatura consiguió también la disminución del contenido de carbohidratos y reducción del macollaje en raigras perenne.

Si bien la fotosíntesis depende de la calidad, intensidad y duración de la luz (29) ésta es proporcional al área fotosintética y el aumento de producción de las plantas requiere un incremento de la energía solar (8).

Para llegar a la máxima capacidad fotosintética la planta debe poseer un área foliar máxima en relación a la superficie del suelo que ocupa, con hojas de alta capacidad fotosintética que intercepten el máximo de luz y con una distribución adecuada de la luz interceptada (8).

Brown y Blaser (8) analizaron los resultados de numerosos estudios y encontraron una relación directa entre tasa de crecimiento e

índice de área foliar y tasa de asimilación neta. Llamaron tasa de crecimiento por unidad de área al producto de la eficiencia de las hojas por el índice de área foliar (IAF), expresando el resultado como producción de materia seca por unidad de superficie y de tiempo. La importancia del índice de área foliar radica en que al aumentar ésta aumenta la intercepción de la luz, lo que acelera la tasa de crecimiento, si las otras condiciones son favorables. No obstante, este aumento no es ilimitado pues llega a un máximo donde se estabiliza la síntesis y la destrucción de los compuestos formados y luego si el IAF sigue en aumento, los procesos destructivos llegan a ser superiores a los de síntesis. Tallos, pecíolos, vainas e inflorescencias interceptan luz y participan de varios grados de fetosíntesis, pero generalmente no se considera su área superficial para el estudio del área foliar por considerárseles mínimos.

Acumulación de reservas

La acumulación de sustancias de reserva se produce al obtener la planta un balance energético positivo, que depende de la capacidad fotosintética de los tejidos y de la traslocación de los compuestos formados.

A fin de aumentar la fotosíntesis y por lo tanto lograr este balance positivo y poder acumular sustancias de reserva, Donald y Black (13) sugirieron que la planta opere con un índice de área foliar capaz de permitir la intercepción del máximo de energía luminosa.

La importancia de la traslocación se basa en que la fijación

del CO_2 se restringe cuando los productos de la fotosíntesis se acumulan en las hojas, que son por lo general los órganos con clorofila capaces de realizar este trabajo. El resto de las partes de la planta, cuando están desprovistas de este pigmento dependen de las células verdes para la obtención de productos primarios y energía y por lo tanto debe existir un desplazamiento libre desde las hojas hacia los otros órganos y sus células.

La acumulación de productos de la fotosíntesis ha sido estudiada por Went (51) quien demostró que una interrupción momentánea de la fotosíntesis durante las horas de mayor incidencia o intercepción de la luz, puede aumentar la producción al evitar la acumulación de carbohidratos formados. Según May (28) las reducciones periódicas de las reservas de las raíces, incluidas aquellas empleadas en la regeneración de tejidos después de una defoliación parcial, pueden estimular la fotosíntesis por aumento de traslocación desde los órganos fotosintéticos. El mismo autor indica que la dirección y grado de movimiento de los azúcares por traslocación, a través del floema, parece estar controlada en gran parte por la concentración de gradientes.

De un modo general, durante la época de desarrollo vegetativo los carbohidratos son llevados hacia las partes inferiores de la planta, según lo demostró Weinmann (50) en sus experiencias con grama Rhodes.

Marshall y Sagar (32) usaron carbono radiactivo en raigras anual y comprobaron que una vez fijado el anhídrido carbónico ra-

diactivo ($^{14}\text{CO}_2$) los compuestos formados fueron traslocados a las raíces. Este movimiento descendente sólo fue alterado cuando alguno de los tallos sufrieron defoliación, ya que los compuestos marcados se dirigieron desde los tallos intactos a los defoliados iniciando el rebrote, luego de lo cual el movimiento de los compuestos marcados fue hacia las raíces manteniendo un sistema de aparente independencia entre los tallos. En la época de la floración y fructificación, observaron un movimiento inverso de solutos, concentrándose las reservas en frutos y semillas.

Organos de almacenaje de reservas

Las raíces de las plantas herbáceas funcionan como órganos de reserva (50) pero también cumplen dicha misión otros órganos, especialmente, distintos tipos de tallos (rizomas, estolones, cormas) así como los bulbos y las bases de las hojas (45).

Las raíces actúan como órganos de depósito de reservas en raigras (Lolium spp.) (27) y grama Rhodes (Chloris gayana) (50). En pea, festuca, timoti y falaris se almacenan en cormas (45) y bases de los tallos (32, 36, 43).

En falaris bulbosa (Phalaris tuberosa) al igual que en sorge de Alepo o pasto Johnson (Sorghum halepense) las sustancias de reserva se almacenan en los rizomas (11) mientras que en pasto Bahía (Paspalum notatum) lo hacen en raíces y estolones (22).

El pasto oville (Dactylis glomerata) por su parte emplea las bases de los tallos y hojas como órganos de reserva, razón por la cual dichas bases foliares sufren un abultamiento (45).

En "buffel" (Cenchrus ciliaris) y en pasto Guinea (Panicum maximum) los carbohidratos de reserva se almacenan en raíces y bases de tallos (20).

Variaciones en el contenido de reservas

Las plantas presentan grandes variaciones en el contenido de reservas. Waite y Boyd (47) en un estudio con raigras perenne encontraron variaciones diarias, con un contenido máximo de sucrosa a las 3 p.m., mientras que a esa hora las hexosas llegaron a su valor mínimo. Los fructesanos variaron irregularmente durante el día.

Estos mismos autores (48) trabajando con festuca alta (Festuca arundinacea), pasto ovillo, timoti y raigras encontraron variaciones estacionales, con un mayor contenido de carbohidratos solubles durante el crecimiento vegetativo que al principio de la floración. Cuando el crecimiento no fue interrumpido por cortes, los fructesanos, con un máximo de 23-24% en las cuatro especies, mostraron una curva con una cima para el raigras. Las otras especies mostraron dos cimas, correspondiendo la primera al cambio de estado vegetativo a reproductivo y la segunda al momento de la formación de las semillas. Aparentemente el raigras fue capaz de sintetizar todos los carbohidratos para pasar de la fase vegetativa a la reproductiva y sus reservas sólo disminuyeron al iniciar la formación de las semillas.

En general, las plantas están supeditadas en su desarrollo y crecimiento a los factores ambientales y genéticos que pueden alterar o influir en los procesos fisiológicos (29).

Phillips et al (33) trabajando con timoti y pasto oville en Estados Unidos encontraron distintos valores en el contenido de carbohidratos, que los hallados para las mismas especies por Waite (46) en Gran Bretaña. Esta diferencia se explica por la distinta duración del ciclo vegetativo en uno y otro lugar, ya que el pasto oville tuvo un ciclo de 44 días en Estados Unidos y de 76 en Gran Bretaña y el timoti de 51 y 86 días respectivamente. Es decir, que las diferencias entre especies se deben a factores genéticos y las diferencias dentro de las especies a condiciones ambientales.

Weinmann (50) en Sud Africa, encontró variaciones estacionales en raíces de Trachypogon plumosus, Tristachya hispida y Digitaria tricholaenoides, donde el porcentaje de azúcares, compuestos nitrogenados y fósforo disminuyó durante la estación de crecimiento y aumentó en las de descanso vegetativo. En Chloris gayana, el mismo autor encontró un aumento del porcentaje de materia seca en las raíces desde el otoño hasta la llegada de la madurez.

Por lo general, el rápido crecimiento tiende a reducir las reservas de carbohidratos solubles, pudiendo llegar por este motivo a no ser la fracción mayoritaria entre las reservas (25). En el sorgo de Alepo, De Cugnac (11) encontró que el rizoma se desarrollaba después de que la parte aérea había madurado al igual que en Stipa pulchra donde el crecimiento ocurrió en otoño e invierno, cuando el desarrollo de la parte aérea había cesado.

En Bromus carinatus, Mc Carty (23) encontró también disminución de carbohidratos en raíces y bases de tallos desde el principio del

crecimiento de primavera hasta la emergencia de las espigas, comenzando a acumularse nuevamente recién en el otoño.

En bronce y timeti, Reynolds y Smith (34) y Okajima y Smith (32) observaron una evolución semejante en el contenido de reservas, llegando nuevamente al punto máximo al final de la madurez del fruto en el primero mientras que en el segundo lo hacía entre la antesis y el estado de grano pastoso.

Edwards (15) trabajando con especies subtropicales como Tristachya hispida, Elienerus argenteus, Hyparrhenia hirta y Themeda triandra encontró que los niveles de las mismas eran altos al comenzar la primavera y declinaban en la estación de crecimiento comenzando a acumularse durante el fin del verano para volver a descender durante el rebrote de otoño.

Humphrey y Robinson (21) trabajando con "buffel" (Cenchrus ciliaris) y pasto Guinea (Panicum maximum) encontraron que la cantidad de carbohidratos solubles en las raíces y bases de los tallos se acumulaban durante el otoño, invierno y principios de verano, pero se agotaban durante el gran crecimiento de primavera.

Variaciones por defoliación (corte o pastoreo)

Si el follaje de una planta se elimina casi completamente o se elimina en pleno desarrollo vegetativo o en forma muy frecuente se observa una depresión en la planta, debido a que los nuevos retoños y hojas en sus primeras etapas de desarrollo crecen a expensas de las reservas, que son así disminuídas e incluso agotadas, lo que puede llegar a causar la pérdida total por agotamiento, aunque las

condiciones edáficas y climáticas sean favorables (45).

Graber et al (18) trabajando con timoti demostraron que el vigor de las plantas disminuía al someterlas a cortes sucesivos durante la estación de crecimiento. Mc Carty y Price (24) comprobaron que si se cortan o pastorean durante el período reproductivo las plantas se debilitan y sufren una marcada reducción en la producción de forraje por agotamiento de las reservas.

Reynolds y Smith (34) midieron la variación de las reservas en alfalfa, bromo y timoti, sometidos a corte, y pudieron observar que éstas disminuían notablemente después de cada corte, comenzando luego a aumentar gradualmente. Las plantas sometidas al menor número de cortes almacenaban mayor cantidad de reservas, mientras que en aquellas que fueron frecuentemente cortadas el contenido de reservas era escaso y el rebrote producido era pobre. Similares observaciones con cortes frecuentes fueron realizadas con poa (18).

Davies (12) por medio de la reducción artificial de las reservas empleando períodos de oscuridad, explicó la asociación entre la producción de hojas después del corte y el contenido de reservas.

May (28) puntualiza que las defoliaciones intensas y frecuentes reducen las reservas de los órganos de almacenaje en general pero que en cambio en las raíces, éstas pueden aumentar con cada corte aunque la raíz se vea afectada por la reducción de la parte aérea. Esto se explica teniendo en cuenta que dichas reservas deben suplir la energía necesaria para la respiración y mantenimiento de las mismas, a fin de permitir luego el rebrote y la supervivencia de la especie. También manifiesta May (28) que después de una defo

liación intensa redujo la cosecha de forraje y disminuyó el peso total de la raíz, pero las reservas totales sólo disminuyeron un 4%, lo que significa que no son directamente proporcionales al crecimiento, ya que parte de ellas son empleadas en la respiración y mantenimiento del sistema radical mientras que sólo aquellas reservas almacenadas en tallos y bases de hojas se emplean en el rebrote y formación de nuevos tejidos fotosintéticos. Esta hipótesis coincide en parte con las experiencias de Marshall y Sagar (27) quienes trabajando con carbono radiactivo en raigras anual observaron que las sustancias sintetizadas en las hojas pasan a los tallos y se almacenan en raíces. Mientras están en los tallos, pueden ser empleadas para el rebrote o crecimiento de partes defoliadas de otros tallos, constituyendo toda la planta una unidad, pero en condiciones normales, cada tallo actúa como una unidad fisiológica independiente y almacena sus propias reservas en sus raíces. A fin de comprobar si las sustancias almacenadas en las raíces eran empleadas en los rebrotes, se cortaban todos los tallos y hojas que pudieran tener trazas de radiactividad y al producirse el rebrote se comprobó que no entraba en su constitución ningún compuesto radioactivo. No obstante, en plantas perennes, Troughton (45) demostró que sí ocurre tal transferencia de raíces a rebrotes después de la defoliación.

Evaluación de reservas

Las reservas alimenticias de la planta están constituidas por carbohidratos solubles y no solubles, sustancias nitrogenadas y

minerales. Los carbohidratos solubles son los que mayor variación presentan durante el ciclo vegetativo de la planta y los que desaparecen más rápidamente después del corte, la defoliación e después de un período de descanso.

Estudios hechos por Sullivan y Sprague (44) demostraron que después del corte no hubo cambios en el contenido de pentosanes hidrolizables, celulosa y lignina, y que las sustancias nitrogenadas tampoco variaron mayormente, mientras que los carbohidratos solubles fueron los que más mostraron el efecto del corte o pastoreo, disminuyendo su contenido en forma notable durante los primeros días. Una vez producidos los nuevos tejidos fotosintéticos y al comenzar a trabajar como tales, los niveles de carbohidratos solubles tendieron a alcanzar los niveles anteriores al corte.

La evaluación cualitativa y cuantitativa de las reservas, por lo general se realiza por medio de análisis químicos de las distintas partes de la planta, pudiéndose así diferenciar, identificar y evaluar las diferentes sustancias (11, 18, 22, 23, 32, 34, 40, 41, 44, 48, 50).

Sullivan y Sprague (44) observaron que las pérdidas de carbohidratos solubles, de plantas defoliadas y colocadas en cuarto oscuro son semejantes a las que ocurren los primeros días en plantas expuestas a la luz solar, pero que mientras en éstas últimas comienza el almacenaje de reservas, en aquéllas colocadas en la oscuridad, prosigue el agotamiento hasta ser total y terminar con la muerte de la planta.

Los carbohidratos solubles llegan a extinguirse, mientras celulosa, pentosanos, lignina y sustancias nitrogenadas se mantienen practicamente constantes, durante el crecimiento en la oscuridad. Estos autores (44) aceptan las observaciones formuladas por Graber et al. (18) de que el crecimiento de plantas en la oscuridad puede ser empleado para estimar la cantidad de reservas presentes.

Graber et al. (18) usando este método combinado con el análisis químico, observaron que después del rebrote desaparecían los carbohidratos solubles, mientras se mantenían más o menos constantes el resto de los constituyentes.

Begg y Wright (6) emplearon también el procedimiento de la evaluación de las reservas por los rebrotes producidos en la oscuridad, para lo cual eliminaron todas las partes aéreas de las plantas y luego las colocaron en un cuarto oscuro, donde midieron la materia seca de los rebrotes producidos.

Ward y Blaser (49) trataron de medir la tasa de rebrote en asociación con el índice de área foliar, usando plantas con distinto contenido de carbohidratos, regulados por medio de períodos variables de luz y oscuridad; también usaron distintas áreas foliares, reguladas por medio de defoliación parcial o total y luego colocaron parte de las plantas en la oscuridad para observar sus rebrotes y relacionarlos con sus reservas de carbohidratos y su área foliar.

Edwards (15) empleó los rebrotes desarrollados en la oscuridad después de una defoliación total como una estimación del "vigor potencial" y su relación con los carbohidratos de reserva de plantas sub-

tropicales. Para ello diseñé "cajas oscuras" que coloqué cubriendo las plantas una vez que les eliminé todas sus partes aéreas. Las curvas obtenidas en cuanto a la cantidad y variación de las reservas coincidieron con las obtenidas por Weinmann (50) para esas y otras especies mediante el análisis químico.

Importancia de las reservas

«El estudio y conocimiento del sistema radical y órganos basales de las plantas, así como de sus variaciones en el contenido de reservas, es de importancia ya que actúan no sólo como órganos de fijación o sostén o de unión y comunicación entre raicillas y hojas, sino también como depósitos o almacenes de reservas alimenticias (45).

* Los órganos de almacenaje permiten a las plantas perennes sus rebrotes estacionales, la formación de sus frutos y semillas (29), e incluso la reproducción agámica mediante sus tallos y otros órganos capaces de vivir a expensas de dichas reservas hasta comenzar su propia síntesis. Además permiten a la planta reaccionar ante la defoliación y daños por corte o pastoreo lo que hace que la explotación de las praderas sea prácticamente constante si las condiciones climáticas lo permiten.

∨ El conocimiento de los órganos de almacenaje en una especie y la reacción de ésta al corte o pastoreo, permiten realizar un manejo más apropiado, determinar métodos y períodos de explotación y descanso, de modo que las plantas sufran lo menos posible en su producción y en su longevidad.

Relación del IAF con carbohidratos de reservas

Por lo general se ha tenido por objetivo en prácticas de pastoreo y corte de forraje el mantenimiento de un alto nivel de carbohidratos solubles en raíces y bases de tallos, pero investigaciones más recientes, como las citadas por Humphreys y Robinson (21) han tendido a demostrar que también se debe tener en cuenta el mantenimiento de un IAF óptimo, para producir un máximo de fotosíntesis neta, ya que existe interrelación entre IAF y carbohidratos de reserva.

Humphreys y Robinson (21) demostraron, trabajando con "buffel" y pasto Guinea que sometidos a distintas intensidades de defoliación el crecimiento posterior de las hojas estuvo negativamente relacionado con el IAF. Si bien durante las primeras tres semanas después de cada defoliación, las plantas sometidas a un tratamiento liviano tuvieron cierta ventaja, ésta se perdió a partir de la tercera a la sexta semana, en que se realizó una nueva defoliación.

Comparando luego defoliaciones frecuentes con respecto a poco frecuentes observaron que la tasa de crecimiento se redujo con las primeras, pero en cambio aumentó la tasa de macollaje. Esto ocasionó en el segundo año variaciones en el contenido de carbohidratos solubles en raíces y bases de tallos, siendo en ambas especies mayor el contenido en aquellas sometidas a defoliaciones menos frecuentes.

Combinando tres niveles de IAF con tres de carbohidratos solubles, concluyeron que el IAF fue más importante que el nivel de

carbohidratos en la tasa de crecimiento de las plantas. El crecimiento tanto de la parte aérea como de raíces fue positivamente relacionado con el IAF residual lo que se debió especialmente a una expansión de las hojas ya existentes al comienzo del período de crecimiento. La disminución de reservas en raíces fue negativamente relacionada con el IAF residual y positivamente relacionada al nivel de carbohidratos solubles iniciales. La tasa de asimilación neta en cambio fue negativamente relacionadas con el IAF residual. Las causas de que no disminuyera la producción con bajo IAF se atribuyen a las detenciones intermitentes del crecimiento impuestas por poca humedad (estación seca) o falta de nitrógeno en el suelo; al efecto compensatorio de una alta tasa de asimilación neta en los tratamientos de defoliación más frecuente; y a que no existieron efectos inhibitorios de la floración sobre la expansión y crecimiento foliar, ya que en los tratamientos de defoliación intensa, se causó un aumento de crecimiento en las hojas y contenido de nitrógeno en la planta lo que extendió el período de crecimiento a expensas de las reservas de las plantas.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo en el umbráculo y una cámara oscura, adjuntos a los laboratorios de Nutrición Animal, de la Disciplina de Zootecnia, del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.

En el umbráculo se realizaron los trabajos para medir la influencia de la época de siembra y de corte sobre el rendimiento del pasto elefante, mientras en la cámara oscura, se efectuaron los trabajos para estimar la variabilidad de las reservas.

3.2. Trabajos en el umbráculo

El umbráculo está sujeto prácticamente a las mismas condiciones climáticas del medio ambiente.

Clima

El clima de Turrialba es "tropical húmedo", la temperatura media anual 22-25°C, con máximas medias de 27°C y mínimas medias de 17°C. La precipitación anual promedio es de 2609 mm, distribuidos durante todo el año, considerándose a diciembre como el mes más lluvioso con 314 mm de promedio y a marzo y abril como los más secos con 78 y 119 mm respectivamente.

De enero a abril pueden producirse sequías estacionales, existiendo durante el resto del año un alto porcentaje de humedad ambiente (87,8 %).

A fin de que el agua no fuera un factor limitante durante la época seca, la humedad de las macetas fue mantenida a capacidad de campo.

La evaporación diaria es de aproximadamente 3,71 mm y el brillo solar tiene en promedio 4,38 horas de duración.

En la Figura 1 se presentan las características principales del clima de Turrialba durante la época en que se llevó a cabo el experimento.

Suelos

En el experimento, tanto en el umbráculo como en la cámara oscura, se emplearon suelos del primer horizonte de la serie "Instituto Arcilloso" (14). La capa superficial (0 a 20 cm) es de un color pardo oscuro, de origen aluvional, plásticos y adhesivos cuando húmedos. En la experiencia sólo se usó esta primera capa de 20 cm, la que fue tamizada en seco, homogeneizada y almacenada en bodegas para efectuar con la misma todas las siembras.

Variedad de pasto utilizada

En el experimento se empleó la variedad Panamá, introducida a Turrialba desde David (Panamá) y registrada en el Jardín de Introducción del I.I.C.A. bajo el número 66.004.

Esta variedad mostró ser la de mayor rendimiento y fue la de floración más tardía según Bateman y Decker (4). Fue también la que tuvo una mayor producción en los meses más secos (1).

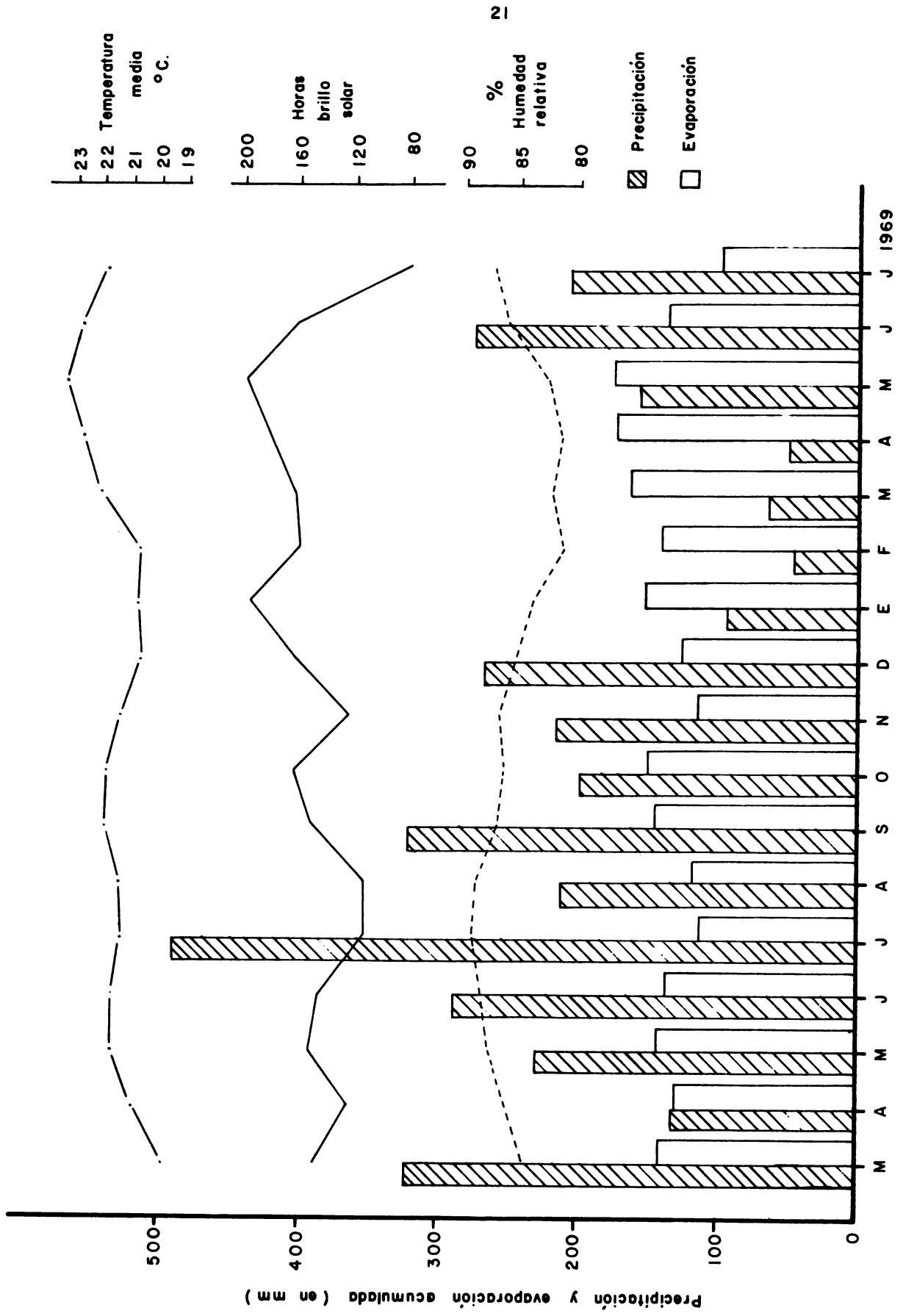


Fig. 1 Condiciones climáticas durante el estudio (Datos de la estación meteorológica del IICA)

Siembra

Las siembras se realizaron todos los días primero de mes desde marzo de 1968 hasta febrero de 1969.

Para la siembra se empleó material fresco, cortado el mismo día del Jardín del Instituto. El material fue preparado en trozos que comprendían dos nudos y el correspondiente entrenudo. El diámetro, largo, edad y peso de las estacas, varió ligeramente de un mes a otro, pese a que siempre se eligió para la siembra el trozo de tallo que ocupaba la misma posición en cuanto a su distancia a la base de la planta.

Se colocaron tres estacas por maceta, en posición vertical, quedando el nudo superior a la altura del suelo. Una vez brotadas se procedió a seleccionar en cada maceta una estaca, de acuerdo a las que presentaban un crecimiento más uniforme y semejante, eliminándose las dos restantes, que por su brote irregular, afectaban la homogeneidad inicial de la siembra.

Con el fin de facilitar el enraizamiento y rápido desarrollo de las estacas se aplicó en cada maceta una dosis de urea equivalente a 200 kg de nitrógeno por hectárea.

La siembra se realizó en macetas plásticas, a fin de facilitar el traslado de las plantas a cámara oscura una vez finalizados los cortes y períodos establecidos. La extracción de bases de tallos y raíces por lavado con agua, se hizo a fin de obtener su peso seco inmediatamente después del tercer corte y poderlos comparar con los pesos de las bases y raíces de las plantas llevadas a cámara oscura

cuando finalizaran sus rebrotes en la oscuridad por agotamiento de reservas.

A cada maceta le fue asignado un número de 1 a 20 junto con las iniciales correspondientes al mes de siembra para su identificación.

Cortes y cosechas del forraje

Se realizaron tres cortes del forraje con intervalos de aproximadamente 60 días a partir del día de la siembra. Este lapso se eligió en base a los trabajos de Muñoz (31) quien determinó que en cortes efectuados cada ocho semanas (56 días) se produjo mayor porcentaje y producción de materia seca y forraje verde que con intervalos menores, en los cuales en cambio se obtuvo mayor porcentaje de hojas y de proteínas por hectárea.

La altura a la cual se cortó las plantas, osciló entre los 5 y 7 cm, de acuerdo a las experiencias de Rincón Velazco (35) quien no encontró diferencias significativas para diferentes alturas de corte.

Datos obtenidos

En cada corte de forraje se obtuvieron los siguientes datos:

Número de tallos por planta. Se realizó por simple recuento de los tallos de cada planta.

Distancia entre los dos primeros nudos. Se realizó por medición directa sobre el tallo principal de la planta.

Peso verde (PV). Se individualizó y se pesó cada planta

inmediatamente después del corte.

Longitud y ancho basal de las láminas. En cada planta se eligieron tres hojas, una basal, una media y una superior. Se cortaron de ellas sólo las láminas, por medio de una incisión en la zona ligular, las que fueron medidas en su largo y en el ancho de sus bases y luego secadas en estufa con ayuda de una prensa para evitar su deterioro.

Secado del forraje. Se realizó el secado de las plantas en estufa de aire forzado a 100°C durante 10 horas.

Peso seco total y porcentaje de materia seca (MS). Se pesaron nuevamente las plantas ya secas y luego se calculó el porcentaje de materia seca.

Peso de tallos y láminas. Se cortaron todas las láminas en la zona ligular pesándose por separado las láminas y tallos y vainas.

Relación láminas-tallos. Se calculó por la relación entre el peso de láminas y tallos.

Muestras para índice de área foliar (IAF). En cada una de las tres hojas seleccionadas como representativas de cada planta se cortaron tres muestras de diez milímetros (10 mm) de largo ubicadas en la parte media del tercio inferior, tercio medio y tercio superior, luego se midió el ancho de cada una con una aproximación de medio milímetro (0,5 mm) a fin de estimar sus superficies. Las muestras obtenidas fueron pesadas en una balanza con aproximación de un diez milésimo de gramo (0,0001 g).

El área foliar total se obtuvo mediante la relación entre el peso total de las láminas de cada planta y el peso de las muestras

cuya superficie se había determinado. El área ocupada por las plantas se calculó en base a la superficie ocupada por el lote de macetas dividido por el número de las mismas. El Índice de Área Foliar se calculó teniendo en cuenta el área foliar correspondiente a las siembras de cada mes con respecto a la superficie ocupada por las plantas.

3.3. Trabajos en cámara oscura

Como su nombre lo indica, esta cámara estaba completamente cerrada al paso de la luz, manteniéndose la renovación del aire mediante ventiladores apropiados.

En esta cámara se instaló un recipiente capaz de contener suelo, del mismo tipo y origen que el empleado en la siembra en macetas. Así mismo, se controló la temperatura interna de la cámara, la que osciló entre 20 y 22°C durante todo el transcurso del experimento y se mantuvo el suelo con humedad, prácticamente a capacidad de campo.

Reservas iniciales en los tallos. Cada mes se realizó, junto con las siembras en macetas en el umbráculo, otra en la cámara oscura. Esta siembra se efectuó el mismo día con igual material vegetativo. Se cortaron los rebrotes blanqueados producidos en ausencia de luz en forma semanal. Luego se secaron en estufa y se pesaron obteniéndose así la materia seca producida correspondiente a cada mes de siembra. Estos datos se emplearon para realizar una evaluación comparativa de las reservas iniciales.

Reservas finales en bases de tallos y raíces. Después de rea-

lizados los tres cortes de forraje de las plantas colocadas en el umbráculo, sobre diez de ellas se determinó por separado el peso seco de los tallos y raíces. Las otras diez macetas fueron llevadas a cámara oscura para evaluar las reservas acumuladas. Esta medición fue hecha con el peso seco de los rebrotes producidos en ausencia de luz cortados semanalmente.

Cuando cesó el rebrote se procedió a la extracción de las raíces por lavado con agua y se determinó el peso seco de las mismas así como el correspondiente a las bases de los tallos.

3.4. Análisis de la información

El análisis estadístico desarrollado para la interpretación de los resultados siguió dos orientaciones. Los datos obtenidos en el umbráculo, fueron sometidos previamente a un Análisis de relación a efecto de detectar las asociaciones pertinentes de las diferentes variables de respuesta estudiadas. Posteriormente y una vez seleccionadas las variables que se consideraron en la prueba de hipótesis para detectar efectos de tratamiento, se llevó a cabo una Análisis de variancia simultáneo para las variables PV, PS total e IAF.

El modelo matemático empleado en el experimento fue el de "Parcelas Divididas", consideradas sobre tres variables de respuesta y que se describe a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_{ijk}$$

basado en la suposición de que $\underline{\epsilon}_{i,j} \sim \text{NM} (0, \Sigma_a)$

y $\underline{\delta}_{i,j,k} \sim \text{NM} (0, \Sigma_b)$

(NM = normal multivariada)

$$E \left(\begin{array}{c} \underline{Y} \\ 1 \quad x \quad 3 \end{array} \right) = \underline{\mu} + \underline{\alpha}_i + \underline{\beta}_k + \underline{\gamma}_{ik}$$

donde E indica la esperanza matemática de la matriz de respuestas

$$\underline{Y} = \left[\underline{Y}_1, \underline{Y}_2, \underline{Y}_3 \right]$$

donde \underline{Y}_1 = vector de respuesta de peso verde (PV)

\underline{Y}_2 = vector de respuesta de peso seco total (PS total)

\underline{Y}_3 = vector de respuesta de índice de área foliar (IAF)

$\underline{\mu}$ = media general

$\underline{\alpha}_i$ = efecto diferencial de la Epoca de siembra "i"

$\underline{\beta}_k$ = efecto diferencial de Corte "k"

$\underline{\gamma}_{ik}$ = interacción de la Epoca de siembra "i" con el
Corte "k"

$\underline{\epsilon}_{i,j}$ = efecto aleatorio correspondiente a la Epoca de siembra
(error (a))

$\underline{\delta}_{i,j,k}$ = efecto aleatorio correspondiente a Corte (error (b))

El primer paso en el análisis de variancia multidimensional (MANOVA) es el cálculo de la suma de cuadrados (SC) y suma de productos (SP) de y entre las variables de respuestas (PV, PS total e IAF) y la partición correspondiente de las sumas totales en los diferentes componentes de variación.

El siguiente paso consiste en la determinación de la función lineal discriminatoria, procedimiento descrito por Chacón (9).

Prueba de hipótesis

Las pruebas de hipótesis se basaron en el método conocido con el nombre de Unión-Intersección, que emplea la máxima raíz característica de $E^{-1}H$ donde el criterio de la prueba está dado por la fórmula:

$$\hat{\theta} = \frac{\hat{\lambda}_{\max}}{1 + \lambda_{\max}}, \text{ el valor } \hat{\theta} \text{ se comparó con el valor de } \theta \text{ de}$$

la tabla de Heck, que utiliza los parámetros tabulares s , m y n , donde:

$$s = \min \{n_0, p\}$$

$$m = \frac{(n_0 - p - 1)}{2}$$

$$n = \frac{(n_0 - p - 1)}{2}$$

donde n_0 = grados de libertad asociados con la hipótesis

p = número de variables de respuesta

n_0 = grados de libertad asociados con el error

En los casos en que los grados de libertad asociados con la hipótesis sea 1, se utiliza como criterio de prueba de hipótesis el valor T^2 de Hotelling, que está dado por la fórmula:

$$T^2 = \frac{1}{p} \times \frac{r_1 \times r_2}{r_1 + r_2} \times (n_0 - p + 1) \underline{Q}' E^{-1} \underline{Q}$$

donde r_1 = número total de observaciones para época de siembra

r_2 = número total de cortes

\underline{Q} = valor del contraste

$T^2 \sim F_{\alpha} (p, n_0 - p + 1)$ que es el criterio de una simple prueba de F .

Los datos obtenidos en cámara oscura, fueron sometidos a Análisis de tendencias y correlacionados con algunos datos climáticos y con los obtenidos en el umbráculo. Para la estimación de la tendencia se utilizó la ecuación siguiente:

$$Y = b_0 + b_1 T + b_2 T^2$$

Donde:

Y = producción de gramos de M.S. para un período determinado

b_0 = punto de corte de la ordenada cuando $x = 0$

$b_1 = \frac{dy}{dT}$ = incremento de M.S. por unidad de incremento de tiempo

$b_2 = \frac{d^2y}{dT^2}$ = razón de cambio del incremento de gramos de materia seca por día (b_1).

T = período de tiempo en que se determinó la producción de M.S.

De las ecuaciones ajustadas se obtuvieron los puntos máximos (mínimos), usándose en este caso dos fórmulas:

$\hat{T} = \frac{-b_1}{2b_2}$, en los casos donde la función $Y \geq 0$. Cuando no se cumplía esta condición y como el mínimo de producción no puede ser inferior a cero, se empleó la fórmula siguiente:

$$\hat{T} = \frac{-b_1 + \sqrt{b_1^2 - 4b_0 b_2}}{2 b_2}$$

4. RESULTADOS

Se obtuvieron dos tipos de informaciones: una concernientes a los datos levantados en el umbráculo y las otras, a los obtenidos en el laboratorio. Ambas fueron analizadas primero independientemente y luego en forma conjunta.

4.1. Análisis e interpretación de los resultados del umbráculo

Los datos obtenidos en el umbráculo se procesaron siguiendo dos criterios: una se concretó a detectar relaciones funcionales existentes entre las variables medidas y el otro a discriminar efectos asociados con las diferentes fuentes de variación.

La evaluación inicial se basó sobre diez variables que fueron correlacionadas entre sí. Posteriormente se seleccionaron algunas variables de respuesta que presentaron mayor relevancia práctica para el estudio.

Las fuentes de variación consideradas en este análisis fueron: efectos de Epoca de siembra, efectos de Cortes y de la interacción entre ambos efectos.

Relaciones funcionales entre las variables medidas

En el análisis preliminar de las diez variables consideradas, se estudió la estructura de las relaciones entre las mismas. Para los cálculos de las asociaciones fueron consideradas las dos Matrices de Errores (Error (a) y Error (b)), es decir, se tomaron en cuenta las asociaciones al nivel de unidades (Epoca de siembra) y subunidades experimentales (Cortes).

Cuadro 1. Matriz de correlaciones (\hat{R}) entre las diez variables de respuesta a nivel de unidades experimentales.

| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|
| $\hat{R} =$ | 1,00 | 0,89 | 0,84 | 0,81 | -0,26 | 0,36 | 0,27 | 0,57 | 0,44 | 0,57 | X_1 |
| | | 1,00 | 0,93 | 0,96 | -0,25 | 0,39 | 0,23 | 0,82 | 0,39 | 0,55 | X_2 |
| | | | 1,00 | 0,81 | -0,09 | 0,41 | 0,24 | 0,90 | 0,41 | 0,51 | X_3 |
| | | | | 1,00 | -0,36 | 0,34 | 0,18 | 0,68 | 0,35 | 0,54 | X_4 |
| | | | | | 1,00 | -0,18 | 0,03 | 0,00 | -0,18 | -0,16 | X_5 |
| | | | | | | 1,00 | -0,09 | 0,34 | 0,46 | 0,29 | X_6 |
| | | | | | | | 1,00 | 0,27 | -0,27 | -0,17 | X_7 |
| | | | | | | | | 1,00 | 0,32 | 0,44 | X_8 |
| | | | | | | | | | 1,00 | 0,59 | X_9 |
| | | | | | | | | | | 1,00 | X_{10} |

Donde:

- X_1 = peso verde total
- X_2 = peso seco total
- X_3 = peso seco láminas
- X_4 = peso seco tallos
- X_5 = relación lámina-tallos
- X_6 = distancia entre nudos
- X_7 = número de tallos
- X_8 = índice de área foliar (IAF)
- X_9 = longitud promedio de las láminas
- X_{10} = ancho basal promedio de las láminas

En el Cuadro 1 se observa que las relaciones o asociaciones de las variables de respuesta son bastante estrechas entre peso verde total y peso seco total, peso verde total con peso seco de láminas y de tallos, y peso seco total con peso seco de láminas y de tallos. También se observa una estrecha relación entre peso seco de láminas y de tallos. La variable X_6 (IAF) está medianamente asociada con peso verde total y peso seco de tallos y altamente correlacionada con peso seco total y peso seco de láminas. Las asociaciones entre las demás variables fueron bajas o casi nulas, por lo que se desecharon como indicadores de reservas.

Cuadro 2. Matriz de correlaciones (\hat{R}) entre las diez variables de respuesta a nivel de sub-unidades experimentales.

| | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 | X_7 | X_8 | X_9 | X_{10} | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|
| $\hat{R} =$ | 1,00 | 0,13 | 0,12 | 0,12 | 0,14 | -0,03 | 0,21 | 0,13 | -0,01 | 0,10 | X_1 |
| | | 1,00 | 0,93 | 0,91 | -0,26 | 0,32 | -0,10 | 0,78 | 0,49 | 0,68 | X_2 |
| | | | 1,00 | 0,77 | -0,01 | 0,26 | -0,02 | 0,92 | 0,54 | 0,64 | X_3 |
| | | | | 1,00 | 0,23 | 0,32 | -0,13 | 0,57 | 0,43 | 0,60 | X_4 |
| | | | | | 1,00 | 0,39 | -0,13 | 0,34 | 0,20 | -0,09 | X_5 |
| | | | | | | 1,00 | -0,13 | 0,20 | 0,34 | 0,26 | X_6 |
| | | | | | | | 1,00 | 0,00 | -0,19 | -0,16 | X_7 |
| | | | | | | | | 1,00 | 0,32 | 0,49 | X_8 |
| | | | | | | | | | 1,00 | 0,60 | X_9 |
| | | | | | | | | | | 1,00 | X_{10} |

En el Cuadro 2 a nivel de subunidades experimentales se observa que desaparecen las asociaciones de peso verde con las otras variables, pero en cambio se mantienen la de peso seco total con respecto a peso seco de láminas y de tallos, manteniéndose también la relación entre IAF y peso seco total y peso seco de láminas.

Debido a que el peso seco total involucra peso seco de láminas y de tallos, se decidió omitir estas dos variables de los análisis subsiguientes. De las dos matrices de correlaciones se seleccionaron las variables peso verde total, peso seco total e índice de área foliar como posibles indicadores de reservas. Sobre estas tres variables seleccionadas como indicadores se llevó a cabo el Análisis de Variancia multidimensional.

Efecto de Epoca de siembra sobre el peso verde, el peso seco total y el índice de área foliar (IAF)

La estimación de los diferentes efectos se llevó a cabo simultáneamente sobre el peso verde, peso seco total e IAF. Para ello se utilizó la técnica del Análisis de Variancia sobre las tres variables. El resultado de este análisis se encuentra en el Cuadro 3.

Para verificar los efectos diferenciales de la Epoca de siembra, la hipótesis establecida fue: $H_0: [\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3] = [0, 0, 0]$ y se usó el método de Unión-intersección y la máxima raíz característica de $E_s^{-1} H$, cuyo cálculo aparece en el apéndice 1.

El valor obtenido para $\hat{\theta}$ fue de 0,8971 y se usó para detectar diferencias debidas a Epecas en las tres variables analizadas simultáneamente. Este fue comparado con el valor de θ de la tabla de

Cuadro 3. Sumas de Cuadrados y Productos de peso verde, peso seco total e índice de área foliar (IAF).

| FV | gl | SCX ₁ | SPX ₁ X ₂ | SCX ₂ | SPX ₁ X ₃ | SCX ₃ | SPX ₂ X ₃ |
|---------------------------|------------|---------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|
| Epoca | 11 | 261.409,26 | 33.327,20 | 5.395,17 | 12.123,03 | 601,91 | 1.727,15 |
| Error (a) | 228 | 101.187,57 | 14.104,20 | 2.476,52 | 2.740,45 | 224,48 | 613,14 |
| Cortes | 2 | 158.880,98 | 13.084,43 | 1.428,60 | 6.012,41 | 240,13 | 561,75 |
| Efecto lineal | 1 | 158.028,44 | 12.468,16 | 52.179,74 | 5.876,67 | 7.782,98 | 463,55 |
| Efecto Cuadrát. | 1 | 852,54 | 616,27 | -50.751,13 | 135,69 | 7.542,86 | 98,05 |
| Interacción Epoca x Corte | 22 | 263.955,11 | 36.108,71 | 5.885,79 | 7.402,13 | 304,73 | 1.092,56 |
| Error (b) | 456 | 2.412.322,50 | 12.337,41 | 3.451,97 | 4.068,35 | 368,65 | 887,41 |
| Total | 719 | 3.170.755,42 | 112.961,95 | 18.638,06 | 32.346,37 | 1.739,91 | 4.882,01 |

Heck usando el procedimiento descrito en Materiales y Métodos.

El valor tabular de $\theta_{0,01}$ fue de 0,125 o sea menor que el de $\hat{\theta}$ lo que indicó la existencia de respuesta diferencial entre los efectos de Epoca al nivel del 1%.

Una vez comprobada la heterogeneidad de la respuesta de las plantas a los efectos de Epoca de siembra, se estimó la función lineal discriminatoria (L) que es la combinación lineal que maximiza las diferencias existentes entre los efectos de Epocas de siembra (ver apéndice 3). Dicha función lineal fue la siguiente:

$$L = 0,18 \bar{Y}_1 - 1,50 \bar{Y}_2 + 2,54 \bar{Y}_3$$

Los valores obtenidos en la ecuación se utilizaron para calcular puntajes ("score") para Epoca de siembra, empleándose los valores promedios para PV, PS total e IAF que aparecen en el cuadro 4.

Los coeficientes de la mejor función lineal discriminatoria indicar la importancia relativa de sus respectivas variables para diferenciar el efecto de la Epoca de siembra como fuente de variación en el PV, PS total e IAF.

A juzgar por dichos coeficientes, se declara que el IAF posee mayor fuerza discriminatoria para los efectos de Epoca de siembra, siguiéndole el PS total y ubicándose en el último lugar el PV. Este hecho también puede deberse a la alta correlación entre las variables mencionadas.

Cuadro 4. Promedios mensuales para peso verde, peso seco total e índice de área foliar.

| Epoca de siembra | PV | PS | IAF |
|------------------|-------|-------|------|
| Marzo | 61,22 | 9,27 | 3,14 |
| Abril | 70,85 | 10,09 | 3,43 |
| Mayo | 53,32 | 8,32 | 2,98 |
| Junio | 43,29 | 6,53 | 2,38 |
| Julio | 33,18 | 4,87 | 2,19 |
| Agosto | 42,35 | 6,61 | 2,68 |
| Septiembre | 43,18 | 6,70 | 2,82 |
| Octubre | 41,67 | 5,85 | 2,47 |
| Noviembre | 40,56 | 5,84 | 2,65 |
| Diciembre | 70,07 | 10,37 | 4,18 |
| Enero | 85,41 | 11,98 | 4,87 |
| Febrero | 95,62 | 14,28 | 5,01 |

Los puntajes ("scores") obtenidos correspondientes a cada Epoca de siembra se dan el Cuadro 5.

Del Cuadro 5 se desprende que los meses de mayores puntajes totales ("scores") fueron enero, febrero, diciembre y abril, siendo de mediano valor para los meses de marzo, octubre y noviembre, mientras que el resto de los meses mostraron bajos puntajes. Esta clasificación un tanto arbitraria, se basó en el rango asignado de

acuerdo al valor absoluto de cada puntaje.

Cuadro 5. Puntajes ("scores") correspondientes a cada Epoca de siembra.

| Epoca de siembra | Puntaje | Rango |
|-------------------------|----------------|--------------|
| Marzo | 5,09 | 6 |
| Abril | 6,33 | 4 |
| Mayo | 4,68 | 9 |
| Junio | 4,04 | 12 |
| Julio | 4,23 | 11 |
| Agosto | 4,51 | 10 |
| Septiembre | 4,88 | 8 |
| Octubre | 5,00 | 7 |
| Noviembre | 5,27 | 5 |
| Diciembre | 7,67 | 3 |
| Enero | 9,77 | 1 |
| Febrero | 8,49 | 2 |

Efectos de corte sobre peso verde, peso seco total e índice de área foliar

La evaluación del efecto de Corte se llevó a cabo determinando la tendencia de la respuesta a través de los cortes. Además se determinaron los puntajes totales correspondientes a los efectos lineales y cuadráticos simultáneamente sobre PV, PS total e IAF.

Como se explicó previamente, la prueba de las hipótesis de tendencias lineal y cuadrática se basó sobre el criterio de Hotelling, mencionado en Materiales y Métodos, ya que cada matriz hipótesis posee solo un grado de libertad. La hipótesis asume que $H_0: [\underline{\beta}_1, \underline{\beta}_2, \underline{\beta}_3] = [\underline{0}, \underline{0}, \underline{0}]$ para las variables estudiadas.

El valor de T^2_{lineal} de Hotelling se obtuvo directamente de $\underline{Q}'_L E_b^{-1} \times \underline{Q}_L$, donde \underline{Q}_L corresponde al estimado del contraste $[\hat{\beta}_{11} - \hat{\beta}_{21}, \hat{\beta}_{12} - \hat{\beta}_{22}, \hat{\beta}_{13} - \hat{\beta}_{23}] = [-18,14, -1,43, 0,68]$ por consiguiente

$$T^2_L = \frac{1}{3} \times \frac{240 \times 240}{2 \times 240} \times (456 - 3 + 1) \times 0,001 = 23,89$$

Comparando el valor de T^2_L obtenido (23,89) con el valor tabular a nivel de $P = 0,01$ que fue de 4,61 se encontró que el efecto lineal de corte fue altamente significativo para las tres variables analizadas simultáneamente. Como Cortes tiene 2 grados de libertad se procedió a estimar la tendencia cuadrática del efecto de Corte

$$H_0 = [\beta_{11} - 2\beta_{21} + \beta_{31}, \beta_{12} - 2\beta_{22} + \beta_{32}, \beta_{13} - 2\beta_{23} + \beta_{33}] = [0, 0, 0]$$

Los coeficientes de la respuesta cuadrática estimada están representados por \underline{Q}'_C que se da a continuación:

$$\underline{Q}'_C = [-0,77 - 0,56 - 0,12]$$

El procedimiento seguido para la prueba de hipótesis es el mismo descrito para la respuesta lineal, de donde el valor obtenido fue de $T^2_C = 5,93$, valor que comparado con el tabular da evidencia de la falsedad de la hipótesis lineal, por lo que se declara signi-

ficativo ($P < 0,01$) el efecto cuadrático del Corte sobre el decaimiento del PV, PS total e IAF, a medida que se aumenta el número de cortes.

Las mejores funciones lineales discriminatorias de las tendencias lineales y cuadráticas de los efectos de Corte se calcularon conforme a las fórmulas $E_b^{-1} Q_L$ y $E_b^{-1} Q_C$, cuyos valores se dan como sigue:

$$L_L = \frac{1}{480} (-0,002250 Q_1 + 0,074813 Q_2 - 1,033999 Q_3)$$

$$L_C = \frac{1}{1440} (0,000663 Q_1 - 0,287315 Q_2 + 0,020600 Q_3)$$

Los puntajes totales de las dos funciones son: 0,63 y 0,16 para efectos lineales y cuadráticos respectivamente; esto implica la mayor importancia relativa del efecto lineal comparado con el cuadrático. Sin embargo, como el efecto de Corte es cuadrático y significativo ($P < 0,01$) se estima que la declinación de la respuesta al Corte medida en PV, PS total e IAF considerados simultáneamente sigue una tendencia cuadrática.

Efecto conjunto de la Epoca de siembra y de Corte

La interacción Epoca de siembra y Corte se evaluó sobre las tres variables seleccionadas previamente. La prueba para detección de la respuesta diferencial de Epoca x Corte está formulada en la siguiente hipótesis: $H_0: [\underline{Y}_{jP}, \underline{Y}_{jP}, \underline{Y}_{jP}] = [0, 0, 0]$

Los parámetros estimados fueron γ_{jp} ($j = 1, 2, 3$ y $p = 1, 2, 3$, donde el vector γ representa a las doce épocas de siembra, $j =$ número de cortes y $p =$ número de variables).

Los promedios para Epoca de siembra y Corte para las tres variables se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Promedios por mes y por corte para peso verde en gramos (\bar{Y}_1), peso seco total en gramos (\bar{Y}_2) e índice de área foliar (\bar{Y}_3).

| Epoca | C ₁ | | | C ₂ | | | C ₃ | | |
|--------|----------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|
| | \bar{Y}_1 | \bar{Y}_2 | \bar{Y}_3 | \bar{Y}_1 | \bar{Y}_2 | \bar{Y}_3 | \bar{Y}_1 | \bar{Y}_2 | \bar{Y}_3 |
| Marzo | 51,86 | 6,58 | 2,69 | 75,36 | 11,68 | 3,54 | 56,46 | 9,56 | 3,24 |
| Abril | 119,76 | 14,12 | 4,86 | 59,67 | 10,72 | 2,88 | 33,14 | 5,45 | 2,55 |
| Mayo | 93,75 | 12,57 | 4,50 | 40,78 | 7,36 | 2,56 | 25,44 | 5,04 | 1,90 |
| Junio | 74,70 | 9,47 | 3,63 | 31,31 | 6,00 | 2,00 | 23,88 | 4,14 | 1,51 |
| Julio | 56,40 | 6,88 | 2,97 | 25,30 | 4,92 | 1,81 | 17,86 | 2,81 | 1,81 |
| Agosto | 74,35 | 10,89 | 3,93 | 35,36 | 6,04 | 2,32 | 17,36 | 2,90 | 1,80 |
| Sept. | 75,32 | 11,10 | 3,82 | 37,34 | 6,32 | 2,87 | 16,88 | 2,70 | 1,78 |
| Oct. | 67,48 | 7,72 | 2,92 | 34,96 | 6,12 | 2,90 | 22,60 | 3,72 | 1,61 |
| Nov. | 62,29 | 7,88 | 3,48 | 31,82 | 5,06 | 2,62 | 27,58 | 4,60 | 1,86 |
| Dic. | 62,17 | 7,43 | 3,86 | 69,50 | 10,92 | 5,19 | 78,55 | 12,76 | 3,50 |
| Enero | 78,37 | 8,31 | 4,36 | 108,03 | 15,07 | 6,41 | 69,83 | 12,56 | 3,85 |
| Feb. | 72,83 | 8,30 | 4,48 | 149,81 | 23,90 | 6,68 | 64,24 | 10,66 | 3,86 |

La prueba de esta hipótesis siguió el mismo procedimiento usado en la sección anterior.

Los valores encontrados para $\hat{\theta} = 0,67$ y el valor tabular de

θ (0,11) indicaron la existencia de un efecto diferencial altamente significativo ($P \leq 0,01$) para la interacción Epoca x Corte.

El resultado encontrado para la interacción Epoca por Corte dio la pauta para el cálculo de la función lineal discriminatoria que maximiza la respuesta de la interacción. Los cálculos de esta función aparecen en el apéndice.

La función lineal discriminatoria encontrada es mostrada por la ecuación siguiente:

$$L = - 0,002 \bar{Y}_1, - 0,752 \bar{Y}_2, + 1,221 \bar{Y}_3,$$

De acuerdo con la magnitud de los coeficientes de la ecuación parece evidente que el índice de área foliar sigue siendo la variable de mayor importancia, para discriminar cualquier efecto.

Con la obtención de L se calcularon los puntajes correspondientes a cada combinación Epoca x Corte, combinando las tres variables (Cuadro 7).

Se puede observar que de abril a octubre todos los puntajes descienden a medida que se aumenta el número de los cortes, en noviembre el puntaje desciende del primero al segundo corte y luego vuelve a aumentar para el tercero. En los meses de diciembre y enero se invierte totalmente la situación y el puntaje aumenta a medida que se realizan los cortes. En febrero y marzo el puntaje llega a su punto máximo en el segundo corte y tiene un descenso en el tercero. En estos últimos meses se hace más palpable la interacción Epoca x Corte.

**Cuadro 7. Puntajes ("scores") correspondientes a la interacción
Epoca x Corte para las tres variables conjuntas.**

| Epocas \ Cortes | C₁ | C₂ | C₃ |
|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Marzo | 1,78 | 4,62 | 3,35 |
| Abril | 4,93 | 4,67 | 1,06 |
| Mayo | 4,16 | 2,50 | 1,53 |
| Junio | 2,84 | 2,13 | 1,31 |
| Julio | 1,66 | 1,55 | -0,05 |
| Agosto | 3,55 | 1,79 | 0,02 |
| Septiembre | 3,84 | 1,33 | -0,11 |
| Octubre | 2,38 | 1,14 | 0,88 |
| Noviembre | 1,80 | 0,67 | 1,25 |
| Diciembre | 1,00 | 2,02 | 5,50 |
| Enero | 1,09 | 3,74 | 4,89 |
| Febrero | 0,92 | 10,13 | 3,43 |

4.2. Análisis e interpretación de resultados de cámara oscura

A fin de evaluar la variabilidad de las reservas a través del tiempo, los resultados obtenidos en cámara oscura, se dividieron en los correspondientes a reservas iniciales, presentes en el momento de la siembra y a reservas finales, existentes al realizar el último corte.

Con el fin de estimar las tendencias o la velocidad de consumo

de las reservas se ajustaron ecuaciones cuadráticas que expresan la variabilidad del contenido de MS a través del tiempo. Estas ecuaciones se determinaron para cada mes, derivando de ellas los mínimos y máximos esperados. Así mismo los coeficientes de regresiones parciales b_1 y b_2 explican el transcurso de la MS a través del tiempo.

Reservas iniciales

El transcurso de la MS de rebrotes iniciales está en las ecuaciones que se encuentran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Ecuaciones de regresión para reservas iniciales expresado en MS (Y) en función del tiempo (T_1).

| Epoca de siembra | Ecuaciones |
|------------------|---|
| Marzo | $Y = 5,3476 - 0,1448 T_1 + 0,0008 T_1^2$ |
| Abril | $Y = 0,0152 + 0,2746 T_1 - 0,0052 T_1^2$ |
| Mayo | $Y = 2,0125 + 0,0021 T_1 - 0,0022 T_1^2$ |
| Junio | $Y = 0,7345 + 0,0168 T_1 - 0,0004 T_1^2$ |
| Julio | $Y = 0,3103 + 0,0589 T_1 - 0,0012 T_1^2$ |
| Agosto | $Y = 1,5167 - 0,0329 T_1 + 0,0001 T_1^2$ |
| Septiembre | $Y = 0,1279 + 0,1603 T_1 - 0,0028 T_1^2$ |
| Octubre | $Y = 0,6823 + 0,0646 T_1 - 0,0011 T_1^2$ |
| Noviembre | $Y = 3,7512 - 0,0722 T_1 + 0,0001 T_1^2$ |
| Diciembre | $Y = 0,4702 + 0,0826 T_1 - 0,0017 T_1^2$ |
| Enero | $Y = -0,2566 + 0,2308 T_1 - 0,0054 T_1^2$ |
| Febrero | $Y = -1,5551 + 0,2460 T_1 - 0,0044 T_1^2$ |

En el Cuadro 8 se puede observar que en todos los meses, excepto marzo, agosto y noviembre, la producción de MS de los rebrotes sufre primero un cierto incremento por unidad de tiempo (b_1 positivo) y en la parte final de la curva, ésta desciende por efecto del consumo a través del tiempo (b_2 negativo). En promedio la producción de MS se incrementa en 0,12 gramos por día hasta alcanzar un máximo promedio alrededor de los 22,7 días, para luego caer ininterrumpidamente hasta anularse.

En los tres meses señalados, la curva sufre primero un descenso brusco con un incremento negativo promedio de 0,08 gramos de MS por día y luego la tendencia es suavizada o invertida.

Máximo (mínimo) esperado, en días para producción de MS de reservas iniciales

La determinación del máximo (mínimo) esperado en días, con relación a producción de MS fue calculado de acuerdo con las fórmulas descritas en Materiales y Métodos. Los resultados obtenidos de los máximo (mínimos) observados y esperados se ofrecen en el Cuadro 9.

En todos los meses, con excepción de marzo, agosto y noviembre, se determinó la fecha, en días, en que las reservas llegaron a la producción máxima de MS en los rebrotes. Excepto en el mes de mayo en que la producción máxima correspondió teóricamente al primer día, debido a que la tasa de incremento fue prácticamente nula, el resto de los meses tuvo una producción máxima esperada que osciló entre 21 y 29 días, es decir entre la tercera y cuarta semana. Los valo-

res teóricos esperados difirieron de los máximos observados desde 1 hasta 12 días.

Cuadro 9. Máximos (mínimos) esperados y observados de producción de MS (g) y el tiempo de ocurrencia.

| Epoca de siembra | Esperado | | | | Observado | | | |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Días | | Producción | | Días | | Producción | |
| | Máxi- ma | Míni- ma | Máxi- ma | Míni- ma | Máxi- Ma | Míni- ma | Máxi- ma | Míni- ma |
| Marzo | - | 52,0 | - | 0 | - | 49,0 | - | 0,2200 |
| Abril | 26,4 | - | 3,6359 | - | 21,0 | - | 5,4750 | - |
| Mayo | 1,0 | - | 2,0130 | - | 7,0 | - | 1,9340 | - |
| Junio | 21,0 | - | 0,9109 | - | 14,0 | - | 1,6440 | - |
| Julio | 24,5 | - | 1,0330 | - | 14,0 | - | 1,3530 | - |
| Agosto | - | 54,0 | - | 0 | - | 49,0 | - | 0,1850 |
| Septiembre | 28,6 | - | 2,4222 | - | 35,0 | - | 1,4180 | - |
| Octubre | 29,4 | - | 1,6308 | - | 42,0 | - | 2,1500 | - |
| Noviembre | - | 56,0 | - | 0 | - | 56,0 | - | 0,1390 |
| Diciembre | 24,3 | - | 1,4736 | - | 21,0 | - | 2,0200 | - |
| Enero | 21,4 | - | 2,2095 | - | 21,0 | - | 2,9350 | - |
| Febrero | 27,9 | - | 1,8833 | - | 28,0 | - | 2,4100 | - |

Reemplazando en las ecuaciones ajustadas el valor T_1 por el valor máximo esperado (en días) de \hat{T}_1 se determinó la producción máxima de MS en los rebrotes.

Para los meses de marzo, agosto y noviembre, se determinó el valor esperado (en días) para la producción mínima. Valor que comparado a los valores observados solo difirió en 0 a 5 días, lo que es explicable ya que se consideró como fecha de la producción mínima observada, a la fecha del último corte y por lo tanto no se consideró a ésta como cero.

Reservas finales

Los valores para las ecuaciones de reservas finales se hallaron del mismo modo que para reservas iniciales, sobre la MS de los rebrotes. Se obtuvieron las ecuaciones que figuran en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Ecuaciones de regresión para reservas finales. Relación de MS (Y) en función del tiempo (T_1).

| Epoca de siembra | Ecuaciones |
|------------------|---|
| Marzo | $Y = 1,6104 - 0,0450 T_1 - 0,0002 T_1^2$ |
| Abril | $Y = 0,5237 + 0,0221 T_1 - 0,0005 T_1^2$ |
| Mayo | $Y = 0,5645 + 0,0634 T_1 - 0,0012 T_1^2$ |
| Junio | $Y = -0,3453 + 0,1424 T_1 - 0,0029 T_1^2$ |
| Julio | $Y = 3,0350 - 0,1822 T_1 + 0,0028 T_1^2$ |
| Agosto | $Y = 2,6603 - 0,1022 T_1 + 0,0011 T_1^2$ |
| Septiembre | $Y = 0,5655 + 0,0517 T_1 - 0,0010 T_1^2$ |
| Octubre | $Y = 2,6167 - 0,0870 T_1 + 0,0007 T_1^2$ |
| Noviembre | $Y = 0,7721 + 0,1597 T_1 - 0,0045 T_1^2$ |
| Diciembre | $Y = 4,0710 - 0,1910 T_1 - 0,0021 T_1^2$ |
| Enero | $Y = 3,7562 - 0,0845 T_1 - 0,0001 T_1^2$ |
| Febrero | $Y = 0,5234 + 0,1199 T_1 - 0,0032 T_1^2$ |

En el caso de reservas finales, los meses del año se dividen en dos grupos de igual número, en cuanto a los que tienen un incremento primero (b_1 positivo) y un descenso posterior (b_2 negativo) y aquellos, cuya curva de producción de MS sufre primero un descenso (b_1 negativo) el que después es leve y se invierte (b_2 positivo). El incremento promedio de producción de MS es de 0,09 g por día para el primer grupo, llegando a un máximo promedio de 23 días para luego declinar hasta llegar a cero. En el segundo grupo el incremento negativo es de 0,11 g de MS por día.

Los meses que tienen el primer tipo de curva son abril, mayo, junio, septiembre, noviembre y febrero, teniendo los restantes el otro tipo de curva.

Máximo (mínimo) esperado en días, para producción de MS de reservas finales

La estimación del máximo y mínimo en días esperado para reservas finales se efectuó con el mismo criterio de las reservas iniciales. Los resultados obtenidos son presentados en el Cuadro 11.

En los meses en que se determinó el máximo esperado en días, se ve que la diferencia con los máximos observados no difiere en más de 5 días, y que dicho máximo se encuentra entre la segunda y tercera semana.

En los meses en que se calculó el mínimo esperado, se ve que con excepción de marzo, en que difirió en casi 12 días, en el resto de los meses solo se encontraron diferencias con los valores observados no superiores a los 4 días.

Cuadro 11. Máximos (mínimos) esperados y observados de producción de MS (g) y el tiempo de ocurrencia.

| Epoca de siembra | Esperado | | | | Observado | | | |
|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Días | | Producción | | Días | | Producción | |
| | Máxi ma | Míni ma | Máxi ma | Míni ma | Máxi ma | Míni ma | Máxi ma | Míni ma |
| Marzo | - | 46,7 | - | 0 | - | 35,0 | - | 0,3500 |
| Abril | 22,1 | - | 0,7679 | - | 21,0 | - | 1,3300 | - |
| Mayo | 26,4 | - | 1,4019 | - | 21,0 | - | 2,1000 | - |
| Junio | 24,6 | - | 1,4027 | - | 21,0 | - | 2,6050 | - |
| Julio | - | 32,5 | - | 0,0710 | - | 35,0 | - | 0,0820 |
| Agosto | - | 46,4 | - | 0,2865 | - | 49,0 | - | 0,2720 |
| Septiembre | 25,9 | - | 1,2337 | - | 21,0 | - | 1,7740 | - |
| Octubre | - | 52,0 | - | 0 | - | 49,0 | - | 0,0500 |
| Noviembre | 17,7 | - | 2,1890 | - | 14,0 | - | 3,2150 | - |
| Diciembre | - | 34,0 | - | 0 | - | 35,0 | - | 0,0110 |
| Enero | - | 41,0 | - | 0 | - | 42,0 | - | 0,2590 |
| Febrero | - | 41,4 | - | 0 | - | 42,0 | - | 0,2020 |

Reemplazando en las ecuaciones halladas el valor T_1 por el valor máximo o mínimo esperado, se determinaron las producciones máximas y mínimas de MS en los rebrotes. Los valores máximos de producción de MS esperados con respecto a los observados no difirieron mayormente, lo mismo se puede decir de aquellos valores mínimos.

Número de cortes de rebrotes crecidos en la oscuridad y producción de MS por estaca

Los cortes de los rebrotes blanqueados crecidos en la oscuridad se realizaron semanalmente. Estos rebrotes se secaron en estufa y se obtuvo el peso seco promedio producido para ese intervalo de tiempo, tanto para la determinación de reservas iniciales como finales.

Los datos obtenidos se ofrecen en el Cuadro 12 en el que se puede observar que con excepción de aquellas realizadas en marzo y abril, todas las siembras efectuadas en el resto del año aumentaron el almacenaje de sustancias de reserva después de vegetar seis meses, no obstante haber sido sometidas a tres cortes.

Cuadro 12. Número de cortes de rebrotes blanqueados y producción promedio de MS por estacas (en gramos).

| Epoca de siembra | Número de cortes | | MS por estaca | |
|------------------|------------------|---------|------------------|------------------|
| | Iniciales | Finales | Iniciales | Finales |
| Marzo | 7 | 5 | 0,4945 | 0,3778 |
| Abril | 8 | 9 | 0,5830 | 0,4597 |
| Mayo | 4 | 9 | 0,1638 | 0,8239 |
| Junio | 6 | 7 | 0,1662 | 0,5651 |
| Julio | 7 | 5 | 0,1921 | 0,3700 |
| Agosto | 7 | 7 | 0,1678 | 0,6214 |
| Septiembre | 8 | 9 | 0,4537 | 0,7197 |
| Octubre | 9 | 7 | 0,3594 | 0,5952 |
| Noviembre | 8 | 6 | 0,4202 | 0,8229 |
| Diciembre | 8 | 5 | 0,2549 | 0,5851 |
| Enero | 6 | 6 | 0,2765 | 0,9781 |
| Febrero | 7 | 6 | 0,2332 | 0,6533 |
| Promedio Cortes | 7,08 | 6,75 | -- | -- |
| Promedio días | 49,56 | 47,25 | -- | -- |
| Rango | 4-9 | 5-9 | 0,1638 0,5830 | 0,3700 0,9781 |

4.3. Correlaciones entre variables climáticas e indicadoras de reservas

A fin de determinar el grado de asociación que pudiera existir entre algunas variables indicadoras de reservas, obtenidas en el umbráculo con ciertos factores climáticos y con las variables medidas en cámara oscura, se estudiaron sus relaciones funcionales.

Las variables obtenidas en umbráculo que se consideraron fueron: peso verde, peso seco total e índice de área foliar, a las que se agregó el puntaje asignado a las épocas de siembra, empleando los coeficientes obtenidos para la mejor función discriminatoria.

Las variables climáticas consideradas fueron: temperaturas máximas y mínimas promedio; la cantidad de lluvia, las horas de brillo solar y la evaporación acumuladas durante el período de vegetación de la planta y el porcentaje de humedad relativa ambiente.

Las variables provenientes de cámara oscura fueron: materia seca total producida en los rebrotes, los coeficientes de regresión lineal obtenidos, el número de cortes semanales efectuados y las máximas y mínimas producciones de materia seca observadas. Todas estas variables se consideraron tanto para la determinación de reservas iniciales como finales.

Reservas iniciales

Las variables climáticas en estudio (lluvias, horas de brillo solar y evaporación acumuladas, temperaturas y porcentaje de humedad relativa) no presentaron ningún tipo de asociación con reservas

iniciales (Figura 2). Estas, presentaron bajo grado de asociación con el peso verde, el peso seco total y el índice de área foliar obtenidos para cada época de siembra ($r = 0,08$; $0,05$ y $-0,04$ respectivamente). También mostró bajo grado de asociación ($r = 0,12$) la tasa de incremento de materia seca por día (coeficiente de regresión).

El total de reservas iniciales, expresado en la materia seca producida por los rebrotes, estuvo altamente correlacionado ($r = 0,93$) con la producción máxima observada de MS. Mientras que en cambio presentó una correlación casi nula ($r = 0,02$) con los valores mínimos observados para igual período.

Reservas finales

Los promedios de las temperaturas máximas presentaron una asociación de cierta importancia ($r = 0,54$) con reservas finales, mientras que los promedios de las temperaturas mínimas mostraron una correlación prácticamente nula ($r = -0,03$).

La lluvia acumulada mostró estar asociada negativamente ($r = -0,53$) a las reservas finales, lo mismo que con respecto a brillo solar con el que presentó una alta correlación negativa ($r = -0,89$) mientras que con el porcentaje de humedad relativa presentó una alta correlación ($r = 0,99$). Esta última variable a su vez, también presentó con brillo solar una alta correlación negativa ($r = -0,91$).

El brillo solar estuvo moderadamente asociado ($r = 0,53$) con reservas finales pero altamente correlacionado con evaporación ($r = 0,84$) la que a su vez estuvo moderadamente asociado ($r = 0,64$)



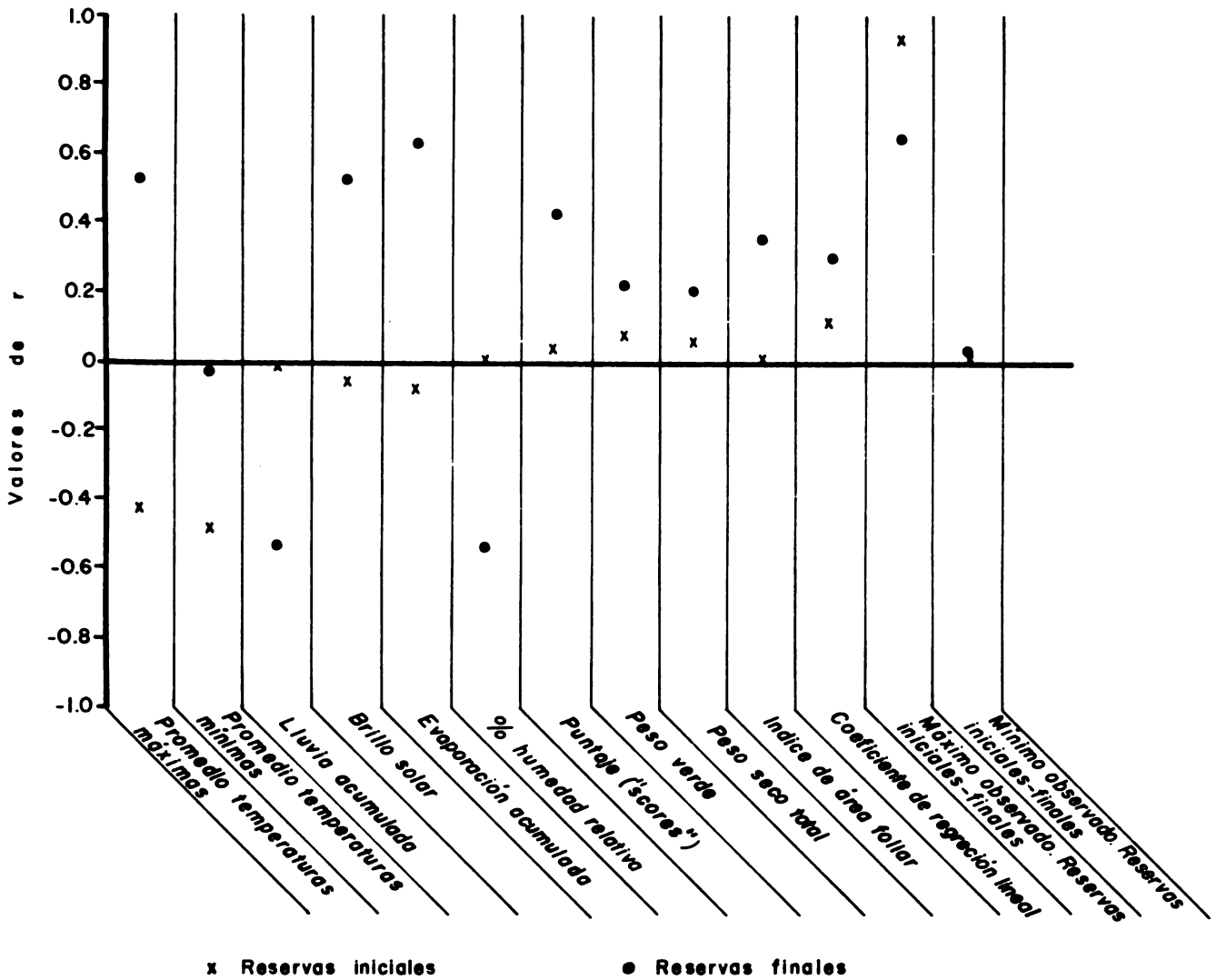


Figura 2 Coeficientes de correlación de reservas iniciales y finales con diferentes variables

a reservas finales, y a temperaturas máximas ($r = 0,67$), altamente relacionada con brillo solar ($r = 0,84$) y negativamente correlacionada ($r = -0,94$) con lluvias.

Tanto el puntaje asignado a las diferentes épocas de siembra como el IAF estuvieron medianamente asociados con la producción de reservas finales ($r = 0,43$ y $0,37$ respectivamente) mientras que con peso verde y peso seco total el grado de asociación fue bajo ($r = 0,23$ y $0,21$ respectivamente).

El máximo observado en la producción de materia seca en los rebotes producidos en la oscuridad tuvo buena asociación ($r = 0,65$) con reservas finales mientras que el mínimo observado presentó una correlación prácticamente nula ($r = 0,03$).

4.4. Comparación del peso seco de raíces y bases de tallos al último corte y después de agotadas las reservas

Al realizar el último corte en el umbráculo, diez plantas fueron llevadas a cámara oscura para evaluar las reservas existentes por medio de rebotes etiolados, mientras que las otras diez eran sometidas al lavado inmediato para separarlas de la tierra, y una vez creadas al aire, sometidas a secado, separando previamente bases de tallos y raíces.

Los pesos totales correspondientes a cada época de siembra obtenidos inmediatamente después del último corte y aquellos obtenidos después que las plantas agotaron sus reservas en cámara oscura, se pueden apreciar en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Peso en gramos de raíces y bases de tallos al último corte y después de agotadas las reservas.

| Epoca de siembra | Raíces | | Tallos | |
|------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| | Al último corte | Al agotar reservas | Al último corte | Al agotar reservas |
| Marzo | 49,6 | --* | 104,7 | --* |
| Abril | 41,3 | --* | 92,8 | --* |
| Mayo | 76,3 | 70,3 | 127,1 | 116,3 |
| Junio | 76,9 | 61,0 | 132,3 | 112,3 |
| Julio | 67,4 | 45,8 | 138,6 | 111,8 |
| Agosto | 127,5 | 81,5 | 161,9 | 120,1 |
| Septiembre | 64,4 | 29,4 | 166,1 | 141,2 |
| Octubre | 71,9 | 32,6 | 212,5 | 176,8 |
| Noviembre | 38,7 | 39,7 | 125,9 | 116,3 |
| Diciembre | 67,7 | 39,5 | 140,1 | 83,1 |
| Enero | 75,4 | 65,5 | 260,8 | 200,6 |
| Febrero | 74,8 | 57,8 | 239,9 | 235,0 |

* Valores perdidos.

El peso de raíces, excepto en el mes de noviembre, disminuyó desde el momento de realizar el último corte al momento en que se agotaron las reservas. Esta disminución puede atribuirse en parte a las reservas empleadas por la planta para formar los rebrotes en la oscuridad y para mantener las funciones vitales.

Las diferencias entre pérdidas de peso experimentadas por bases de tallos y raíces con respecto a los pesos de los rebrotes, son tan grandes, que aunque se considera que gran parte de los carbohidratos fueron empleados en la respiración y otras funciones vitales, solo pueden considerarse como datos ilustrativos.

5. DISCUSION

La existencia de múltiples medidas como causas de un solo efecto aumenta considerablemente la complejidad del análisis. Si la decisión es aplicar independientemente a cada medida de respuesta la técnica del Análisis unidimensional y si las variables están correlacionadas se pueden producir problemas de múltiple interpretación en los casos donde un tratamiento sea mejor que otro sobre ciertas variables y sobre otra u otras variables se comporte en dirección opuesta. La única técnica de análisis que permite una interpretación simultánea sobre todas las variables, es la técnica del Análisis multidimensional. Además, esta técnica tiene una fuerza discriminatoria mucho mayor que el Análisis univariado comunmente usado.

Los resultados indicaron la dificultad que existe en la separación de las variables: peso verde, peso seco total e índice de área foliar, que presentan una fuerte interrelación entre ellas, justificando así un análisis de los efectos de tratamiento, considerando simultáneamente dichas variables.

El efecto diferencial detectable de la época de siembra, parece seguir un transcurso bien definido que a juzgar por los puntajes dados por la combinación lineal PV, PS total e IAF permite formar tres grupos. En el primer grupo encontramos los meses de enero, febrero, diciembre y abril. El grupo intermedio está formado por marzo, octubre y noviembre, constituyendo el resto de los meses el grupo con puntaje inferior.

Las razones para explicar este agrupamiento de meses según pun
tajes asignados a la combinación lineal de las tres variables en es
tudio podemos encontrarlas en la incidencia de los factores climáti
cos, de los cuales la temperatura, la precipitación y la luz solar
son los que generalmente se consideran con mayor incidencia sobre
el comportamiento de las plantas.

La temperatura media, en el presente caso, fue de poca impor-
tancia ya que prácticamente no acusó mayores variaciones durante el
transcurso del experimento. Este criterio está de acuerdo con
Cooper y Tainton (10) quienes al comparar los distintos tipos de
climas, consideran que en el tropical húmedo (bosque tropical de
Köpen) la temperatura no tiene mayor incidencia, ya que la media os
cila entre los 25 y 30°C para el lugar descrito, con pequeñas variaia
ciones diurnas y estacionales. También consideran que el agua no
es un factor limitante, aunque ocurran variaciones estacionales, pe
ro, la estación lluviosa puede tener influencia sobre la luminosi-
dad al aumentar el nublado.

En el presente experimento, no obstante, como la temperatura
media oscila entre valores de 20 a 23°C, es decir, ligeramente infere
iores a los puntualizados por estos autores, cualquier incremento
en la misma, puede influir favorablemente en la productividad, ya
que las plantas crecen por debajo de su temperatura óptima, estima-
da en 30°C y reaccionan favorablemente al incremento de temperatura
mientras no existan otros factores limitantes.

Este criterio coincide con el de Garrido Virgúez (17) quien en
contró que en pasto elefante, la producción aumentaba en los meses

de máximas temperaturas, con temperaturas medias muy similares a las de Turrialba, y disminuía en aquellos con temperaturas medias mínimas.

En cuanto al efecto de las lluvias, citado por Cooper y Tainton (40) y a su incidencia sobre las condiciones de luminosidad coincide con la conclusión obtenida por da Silva (38) en un ensayo con caña de azúcar, realizado en Turrialba, quien determinó que el crecimiento de la planta sufre un efecto depresivo por acción de las lluvias cuando no hay una influencia o acción pronunciada de la luz.

Quedaría la luz solar como el factor climático más importante a considerar.

Da Silva (38) determinó que el brillo solar tiene un efecto positivo en el crecimiento de la planta, aunque este efecto no sea constante. Por su parte Garrido Virgüez (17) encontró también máximas producciones en pasto elefante para los meses de máxima longitud del día y mínima producción para las longitudes diurnas más cortas. La influencia de la luz sobre otros fenómenos de la planta, como el macollaje fue demostrada por otro autores (2, 30).

Al disminuir el crecimiento por disminución de las horas de luz o de la intensidad de la misma, en el presente trabajo causada por el aumento de la nubosidad, el área fotosintética no aumenta y por consiguiente no hay aumento en la producción, ya que ésta es directamente proporcional al área foliar (29) y al incremento de la energía solar lo que coincide con los estudios de Brown y Blaser

(8) en cuanto a la relación directa que existe entre tasa de crecimiento e índice de área foliar y tasa de asimilación neta.

Los máximos valores de la relación hojas-tallos, es decir, de la parte activa de la planta con respecto a la que no posee casi actividad de síntesis, fue encontrada para los meses de menor precipitación lo que coincide con lo expresado por Garrido Virgúez (17) quien a su vez afirma que en los meses de mayor precipitación aumenta el número de tallos bajando en consecuencia la relación hojas-tallos.

El efecto de Corte causó un decaimiento general de la producción a medida que se realizaron los cortes siguiendo una tendencia cuadrática. Esta tendencia, probablemente se debió a la falta de acumulación de reservas suficientes, íntimamente ligadas al corto período entre cortes y a los factores climáticos y a su acción tanto antes de la siembra como a medida que transcurrieron los cortes. Otro factor que es posible que haya influido es el tipo de siembra en macetas. Este método impidió a las plantas extender las raíces en busca de nutrimentos más allá de los límites físicos de la misma. Por otra parte, el estar las macetas aisladas del suelo, si bien sufrían el lavado y drenaje de nutrimentos debido a las lluvias, en cambio no se producía en ellas el proceso inverso de reposición de tales nutrimentos.

No obstante, la tendencia general a la disminución de la producción se puede observar en experimentos a campo con pasto elefante, como los efectuados por Guerrero (19), Muñoz (31) y Roux Varela (36).

El primero muestra una disminución del primero al segundo corte a diferentes niveles de abono nitrogenado, y si bien el tercer corte produce más que el segundo, esto se debe a la aplicación de una nueva dosis de abono después del segundo corte.

También Garrido Virgúez (17) encontró una tendencia a la disminución de la producción en los tres primeros cortes de pasto elefante.

En la detección de la respuesta diferencial de las tres variables en estudio se llegó a la conclusión de que existió un efecto diferencial Epoca x Corte, estadísticamente significativo ($P < 0,01$). Calculando la mayor función lineal discriminatoria se observó que el IAF fue la variable de mayor importancia en la obtención de puntajes correspondientes a dicha interacción.

Las tres variables en estudio, es decir PV, PS total e IAF, se ven afectadas por la Epoca de siembra y los Cortes. Esto se puede observar en 8 meses correspondientes a ocho Epocas de siembra, de abril a noviembre, en que la tendencia de los puntajes es evidentemente decreciente desde el primero al último corte, lo que estaría de acuerdo con la tendencia general de efectos de Corte sobre producción ya citado por Guerrero (19), Muñoz (31) y Roux Varela (36).

A partir de diciembre hasta marzo el efecto conjunto de Epoca por Corte presentó tendencias completamente diferentes al grupo anterior, y el puntaje alcanzó un máximo en el segundo corte y luego declinó rápidamente, a excepción del mes de diciembre que mostró un incremento positivo de los puntajes a través de los cortes.

El efecto de Epoca de siembra ejercería una marcada influencia, especialmente por la incidencia de dos factores climáticos, el primero, la temperatura, de poco valor aunque no despreciable, pues es a partir de diciembre y los meses que siguen en que aumenta ligeramente sobre el resto del año, y el otro factor constituido por las horas de brillo solar que alcanzan su máximo durante la vegetación de las siembras efectuadas en diciembre, enero, febrero y marzo.

El uso de las reservas iniciales en la emisión de brotes en la oscuridad siguió una tendencia cuadrática en la que nueve meses tuvieron primero un incremento positivo, seguido de un descenso leve. En los tres meses restantes (marzo, agosto y noviembre) las curvas obtenidas sufrieron primero un descenso y posteriormente fueron invertidas.

La misma tendencia cuadrática se pudo observar en el empleo de las reservas finales, pero los meses se dividieron en igual número para los que siguieron una curva con un incremento positivo primero y un decaimiento después y los que siguieron una tendencia inversa.

No se encontró ninguna relación entre el número de cortes efectuados sobre los rebrotes, es decir, la duración de la liberación o uso de las reservas y la cantidad de materia seca producida.

En cuanto a la velocidad de uso del máximo de reservas, tanto en iniciales como en finales, se observó que en general los valores observados y los calculados no difirieron mayormente y que salvo pequeñas excepciones, especialmente observadas en reservas iniciales, el máximo empleo de las reservas se observó entre la tercera y cuarta semana.

El número de cortes promedio para reservas iniciales fue ligeramente superior que el efectuado para reservas finales, lo que se traduce en una mayor duración de la vida de la planta.

No obstante se puede observar que el rango osciló entre 4 y 9 cortes, mientras que para reservas finales osciló entre 5 y 9 cortes.

En cuanto a las diferencias en M.S. producida entre reservas iniciales y finales, si bien pueden haber influido otros factores, se observa que la tendencia general es al aumento de la producción de finales sobre iniciales. La explicación de este fenómeno radicaría en que las reservas iniciales se midieron sobre las estacas recién plantadas y sin tener éstas raíces, mientras que las reservas finales se hicieron sobre bases de tallos con todo un sistema radical establecido, en cuyo interior existían reservas acumuladas en el rebrote. Este criterio estaría compartido por Weinmann (50) y Humphreys y Robinson (21) quienes determinaron que en ciertas especies tropicales la acumulación de reservas se hace en raíces y bases de tallos.

Al estudiar las correlaciones entre variables climáticas e indicadores de reservas iniciales se comprobó que las variables climáticas estudiadas no presentaron ningún tipo de asociación con las reservas iniciales lo que puede explicarse por los mismos datos suministrados para encontrar las asociaciones, ya que corresponden a las variables observadas durante la época de vegetación de las plantas y las reservas iniciales se han formado y acumulado con anterioridad a la siembra.

La baja asociación entre PV, PS total e IAF con reservas iniciales sugeriría, por su parte, la poca importancia de las reservas iniciales en la producción, siempre y cuando éstas permitan a la nueva planta, después de la siembra, iniciar la brotación y el crecimiento subsiguiente.

La alta correlación existente entre el máximo observado en la producción semanal de MS de los brotes con respecto al total de reservas iniciales podría indicar que al aumentar las reservas aumenta su velocidad de utilización por parte de la planta, lo que daría para iguales períodos de corte mayor cantidad de reservas transformadas en rebrotes, evaluados por su contenido en MS.

La asociación entre promedios de temperaturas máximas y reservas finales, aunque si bien de mediana magnitud, era esperada y fácilmente explicable, ya que el aumento de temperatura tiene una acción estimulante para el crecimiento y metabolismo de las plantas de climas tropicales, cuya temperatura óptima está alrededor de los 30°C (10). En el caso de Turrialba, en que la media oscila alrededor de los 22°C cualquier aumento de temperatura va a favorecer la producción de las plantas, siempre que no existan otros factores limitantes. La mayor producción se traduce en un aumento de la superficie fotosintética y por lo tanto de la parte activa de la planta en la síntesis de nuevos carbohidratos.

Es por estas mismas razones que las temperaturas mínimas tuvieron una correlación prácticamente nula con las reservas finales, ya que si bien las temperaturas alternantes entre el día y la noche

disminuyen el crecimiento de ciertas especies tropicales (10), esto sucede cuando las mínimas nocturnas bajan a menos de 15°C, hecho que no ocurrió en el presente ensayo.

La asociación negativa de la lluvia acumulada con la producción de reservas se explica por que el agua estimula el crecimiento de los pastos, lo que causa una disminución de los carbohidratos al ser utilizados por la planta como fuente de energía y sustancias primarias (20) y también por el hecho de que la lluvia tiene a su vez una alta correlación negativa con brillo solar, y éste, en cambio, influye o está asociado con la producción de reservas como una consecuencia de la alta correlación existente entre fotosíntesis neta e intensidad de luz (10).

La evaporación acumulada que parece estar asociada moderadamente a los rebrotes producidos por las reservas finales, tendría más una correlación indirecta con ellas, ya que actuaría por su asociación con temperatura máxima y brillo solar y por su alta correlación negativa con lluvias.

El puntaje asignado a épocas de siembra estuvo medianamente asociado con reservas finales, quizá como una consecuencia del peso verde y peso seco que presentaron valores de correlación bajos, los que habrían sido neutralizados en cierta forma por la IAF, que presentó una asociación moderada.

La asociación observada entre la producción semanal de MS máxima en los rebrotes y las reservas finales se explicaría igual que en el caso de reservas iniciales.

Una intensa defoliación, como sucedió en el presente experimento, después del tercer corte, en que prácticamente se dejó sólo la base de los tallos, se traduce en una disminución del peso de las raíces (20) e incluso en la muerte de las mismas, debido principalmente a la falta de capacidad de la planta para elaborar reservas sin actividad fotosintética (18).

Graber (18) encontró pérdidas de más del 50% en el peso seco de las raíces, comparando los pesos de las mismas, al introducirlas en la cámara oscura después de una intensa defoliación y el peso que tenían después de terminar las sucesivas brotaciones en la oscuridad. De esta pérdida atribuye el 35,5% a pérdidas por respira- ción y lixiviación y el resto, o sea el 17%, al peso recuperado en forma de rebrotes.

6. CONCLUSIONES

Las variables que presentaron mayor asociación entre ellas como indicadores de la producción, según las diferentes Epocas de siembra, fueron peso verde, peso seco total e IAF. De las tres, ésta última fue la de mayor ponderación para discriminar o maximizar las diferencias entre los efectos de Epoca de siembra.

El efecto de Epoca de siembra permite formar 3 grupos de meses, de los cuales el que presenta mayores ventajas sería el constituido por los meses de diciembre, enero, febrero y abril.

Los factores climáticos, especialmente brillo solar, y en menor grado, temperatura, serían los de mayor incidencia en el comportamiento de las plantas.

El efecto de Corte sobre las variables indicadoras causó una disminución en la producción del primero al tercer corte.

Se observó interacción entre efectos de Epoca de siembra y Corte, atribuibles a la incidencia de los factores climáticos por los meses en que se realizaron tanto las siembras como los cortes.

No se pudo establecer ninguna tendencia o patrón de variabilidad de reservas iniciales y finales a través del tiempo.

La liberación de las reservas en ambos casos siguió una tendencia cuadrática.

7a. RESUMEN

En Turrialba, Costa Rica, se llevó a cabo un estudio para evaluar la importancia de los carbohidratos de reserva del pasto elefante (Pennisetum purpureum Schum.) presentes en el momento de la siembra. La evaluación se hizo indirectamente por la producción de forraje, estimada por medio de diferentes variables de respuesta obtenidas en tres cortes. Para ello se realizaron durante un año, siembras mensuales por medio de material vegetativo en macetas colocadas en umbráculo y otras colocadas en cámara oscura. Estas últimas sirvieron para evaluar las reservas iniciales por medio de la materia seca de los rebrotes blanqueados obtenidos en la oscuridad.

Después de tres cortes efectuados a intervalos de ocho semanas, las plantas pasaron a cuarto oscuro para determinar en ellas el contenido de reservas finales. Se midió el peso seco de raíces y bases de tallos antes de entrar al cuarto oscuro y después de haber agotado las reservas en sucesivos rebrotes.

Los resultados obtenidos del estudio de la asociación entre diez variables de respuesta, demostraron que peso verde, pese seco total e índice de área foliar estaban altamente correlacionados; sugiriendo así un análisis conjunto de las mismas, por medio de la técnica del Análisis de Variancia Multidimensional.

Se detectó un efecto diferencial marcado para Epoca de siembra, siendo las efectuadas en los meses de diciembre, enero, febrero y abril las que presentaron mejores condiciones de producción, encontrándose que en dichos meses hubo mayor cantidad de horas de brillo

solar y temperaturas ligeramente superiores a la media anual.

El efecto de corte sobre la producción declinó siguiendo una tendencia cuadrática, como función del número de cortes.

Se detectó un efecto diferencial para la interacción Epoca x Corte.

De los resultados obtenidos en cámara oscura se determinó que la producción de materia seca por los rebrotes sigue una tendencia cuadrática y que el máximo (mínimo) esperado de producción como los días máximos (mínimos) esperados en llegar a la producción máxima (mínima) no difirieron mayormente de los valores observados.

La liberación de reservas, tanto iniciales como finales, no siguió ninguna tendencia definida y en promedio la duración de la vida de las plantas a sus expensas fue prácticamente igual.

La baja asociación de las variables de respuesta con las reservas iniciales sugeriría su poca importancia en las condiciones del ensayo.

La producción de reservas finales fue en casi todos los casos superior a la producción de reservas iniciales y apareció positivamente asociada a los aumentos de temperatura y de horas de brillo solar y negativamente asociada a la cantidad de lluvia acumulada.

La diferencia de peso encontrada entre raíces y bases de tallos al último corte con respecto a los valores obtenidos después de agotadas las reservas confirmaría el hecho de que las plantas usaron para su rebrote y para mantener sus funciones vitales en la oscuridad, de las reservas acumuladas en dichos órganos.

7b. SUMMARY

In Turrialba, Costa Rica, a study was carried out to evaluate the importance of carbohydrate reserves in Elephant Grass (Pennisetum purpureum Schum.) at the time of planting. The evaluation was made indirectly by means of forage production, as estimated by three cuttings of several variables. Throughout the year monthly plantings were made to measure vegetative material using potted plants located both in a semi-shade open area and in a dark room. The dark room data was used to evaluate the initial reserves by means of the dry matter production of the white shoots obtained in the dark.

The cuttings were made at intervals of eight weeks. Following each cutting the plants were put into the dark room to determine their final reserves. This was done by measuring the dry weight of the roots and stem bases before entry into the dark room and after the successive shoots drained the reserves.

The results obtained from studying the relationships between ten variables showed that green weight, dry weight and leaf area index were highly correlated, suggesting a joint analysis was appropriate. The Multidimensional Analysis of Variance was thus utilized to analyze these variables.

A marked difference in production was detected related to the different months of planting. December, January, February and April were months wherein the conditions for production were better, as evidenced by more hours of sunshine and temperatures slightly above the annual median.

The effects of increase of reserves on the production showed a negative correlation tendency.

An association between weight of plants and weight of roots was also observed.

Of the results obtained in the first year it was determined that the production of dry matter followed a quadratic tendency. Further more the reserves of biomass expected in production and weight of the biomass of biomass days expected to reach maximum of biomass production did not differ markedly from the values observed.

The duration of reserves, initial as well as final, did not follow any definite tendency and the average duration of life of the plants utilizing their reserves was practically equal.

The weak association of the variables observed with initial reserves suggests that the latter variable was of little importance under the conditions of the experiment.

The production of final reserves was, in nearly all cases, superior to the production of initial reserves and appeared to be positively associated with the increases of temperature and the hours of sunshine and negatively associated with the rainfall accumulated.

The differences in weight found between roots and stem bases in the final cutting as compared to their weights after using their reserves confirms the fact that the plants use their accumulated reserves for regrowth and maintenance of their vital functions in conditions of darkness.

3. INTERNATIONAL LITERATURE

1. ALBA, J. M. y SORIANO, A. V. Investigaciones sobre farrajes en Turrialba. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Publicación Miscelánea 33. 1965. pp. 13-14.
2. ALKEDA, F. The effects of cutting, light intensity and night temperature on growth and soluble carbohydrate content of Lolium perenne L. Plant and Soil 8(3):299-300. 1957.
3. _____. The influence of temperature, light intensity and nitrate concentration on dry-matter production and chemical composition of Lolium perenne L. Netherlands Journal of Agricultural Research 13(4):335-360. 1965.
4. BATHMAN, J. V. y BECKER, G. Production, analysis and acceptability by cattle of some varieties of elephant grass (Pennisetum purpureum Schum.). Tropical Agriculture 39(2): 133-140. 1962.
5. BATHURST, V. C. y WILKINSON, I. J. The effects of light and temperature on the chemical composition of pasture plants. New Zealand Journal of Agricultural Research 1(4):540-552. 1958.
6. BEGG, J. E. y WILKINSON, M. J. Relative effectiveness of top and basal leaves for the growth of vegetative shoots of red canary grass (Phalaris arundinacea L.). Crop Science 4:607-609. 1964.
7. BLASER, E. R. et al. Experiments with napier grass. Florida Agricultural Experimental Station. Technical Bulletin 568. 1955. 32 p.
8. BROWN, E. H. y BLASER, E. R. Leaf area index in pasture growth. Herbage Abstracts 38(1):1-9. 1968.
9. CHACON DIAZ, A. Control del gramalote (Paspalum fasciculatum Willd.) en potreros mediante herbicidas. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1969. 44 p. (Mimeografiada).
10. COOPER, J. P. y TAINCH, H. M. Light and temperature requirements for the growth of tropical and temperate grasses. Herbage Abstracts 38(3):167-176. 1968.
11. CUGNAC, A. DE. Recherches sur les glucides des Graminées. Ann. Sci. Naturelles 13:1-129. 1931. (Original no consultado, citado por Smith, D. Forage management in the north. Iowa, Brown Book, 1962. pp. 155-163).

12. DAVIES, A. Carbohydrates levels and regrowth in perennial ryegrass. *Journal of Agricultural Science* 65(2):213-221. 1965.
13. DONALD, C. M. y ELLI, J. V. The significance of leaf area in pasture growth. *Herbage Abstracts* 23(1):1-6. 1958.
14. DONDELI, C. B. y TORRES, M. J. A. Estudio geogronómico de la región oriental de la meseta central. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias, 1953. 131 p.
15. EDWARDS, P. J. The construction and use of light-proof boxes in grassland research work. In *International Grassland Congress, 10th., Helsinki, Finlandia, Julio 7-16, 1966. Proceedings.* Helsinki, Valtioneuvoston Kirjapaino, 1966. pp. 1433-1435.
16. FASSBENDER, H. W. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de la meseta central y de las llanuras atlánticas de Costa Rica. *Pitotecnia Latinoamericana* 3(1/2):187-202. 1966.
17. GARRIDO VIRGÜEZ, O. Ensayo comparativo de 13 clones de pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). In *International Grassland Congress, 9th., São Paulo, Brasil, Enero 7-20, 1965. Proceedings.* São Paulo, Alarico, 1966. pp. 929-938.
18. GRABER, L. F. et al. Organic food reserves in relation to the growth of alfalfa and other perennial herbaceous plants. *Wisconsin Agricultural Experimental Station. Research Bulletin* 80. 1927. 128 p.
19. GUERRERO, R. Efectos de dosis ascendentes de nitrógeno, dosis ascendentes de P_2O_5 con dos formas de aplicación y de cuatro combinaciones NP, sobre la producción y composición del pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1969. 76 p. (Mimeografiada).
20. HOJJATI, S. M., Mc CREERY, R. A. y ADAMS, W. E. Effects of nitrogen and potassium fertilization, irrigation and clipping interval on chemical composition of coastal Bermuda grass (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.). I. Total available carbohydrates. *Agronomy Journal* 60(6):617-619. 1968.

21. HUMPHREYS, L. R. y ROBINSON, A. R. Interrelations of leaf area and non structural carbohydrate status as determinant of growth of subtropical grasses. In International Grassland Congress, 10th., Helsinki, Finlandia, Julio 7-16, 1966. Proceedings. Helsinki, Valtioneuvoston Kirjapaino, 1966. v. 1, pp. 113-116.
22. LEUKEL, W. A. y COLEMAN, J. M. Growth behavior and maintenance of organic food in Bahia grass. Florida Agricultural Experimental Station. Bulletin 219. 1930. 56 p.
23. Mc CARTY, E. C. The relation of growth to the varying carbohydrates content in mountainbroms. U. S. Department of Agriculture. Technical Bulletin 598. 1938. 24 p.
24. _____ y PRINCE, R. Growth and carbohydrates content of important mountain forage plants in centre Utah as affected by clipping and grazing. U. S. Department of Agriculture. Technical Bulletin 818. 1942. 51 p.
25. Mc ILROY, R. J. Carbohydrates of grassland herbage. Herbage Abstracts 27(2):78-87. 1967.
26. MACKENZIE, D. J. y WYLAM, C. B. Analytical studies on the carbohydrates of grasses and clovers. VIII. Changes in carbohydrates composition during the growth of perennial ryegrass. Journal of the Science of Food and Agriculture 8(1):38-45. 1957.
27. MARSHALL, C. y SAGAR, G. R. The influence of defoliation on the distribution of assimilates in Lolium multiflorum. Annales of Botany 29:365-370. 1965.
28. MAY, L. H. The utilization of carbohydrate reserves in pasture plants after defoliation. Herbage Abstracts 30(4): 239-245. 1960.
29. MEYER, B. S., ANDERSON, D. B. y BÖHNING, R. M. Introduction to plant physiology. New York, Van Nostrand, 1960. 579 p.
30. MITCHELL, K. J. Influence of light and temperature on the growth of ryegrass (Lolium spp.). II. The control of lateral bud development. Physiologia Plantarum 6(1): 21-46. 1953.
31. MUÑOZ, H. Efecto del corte y la fertilización en el crecimiento estacional del zacate elefante (Pennisetum purpureum Schum.). Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1960. 76 p. (Mimeografiada).

32. OKAJIMA, H. y SMITH, D. Available carbohydrate in the stem bases and seed of timothy, smooth bromegrass and several other northern grasses. *Crop Science* 4(3):317-320. 1964.
33. PHILLIPS, T. G. et al. Chemical composition of some forage grasses. I. Changes with plant maturity. *Agronomy Journal* 46(8):361-369. 1954.
34. REYNOLDS, H. y SMITH, D. Trend of carbohydrate reserves in alfalfa, smooth bromegrass and timothy grown under various cutting schedules. *Crop Science* 2(4):333-336. 1962.
35. RINCON VELAZCO, E. Estudio sobre el crecimiento del pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1966. 65 p. (Mimeografiada).
36. ROUX VARELA, H. Efectos estacionales de edad y fertilización en el crecimiento y aceptación por el ganado del pasto elefante. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1961. 108 p. (Mimeografiada).
37. SAENZ MAROTO, A. Los forrajes de Costa Rica. San José, Costa Rica, Editorial Universitaria, 1965. pp. 207-210.
38. SILVA, T. C. A. DA. Relações entre alguns fatores climáticos com crescimento e rendimento da cana de açúcar. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1969. 63 p. (Mimeografiada).
39. SMITH, D. Forage management in the north. Iowa, Brown Book, 1962. 219 p.
40. _____. Removing and analyzing total non-structural carbohydrates from plant tissue. Wisconsin. College Agricultural Research Division. Research Report 41. 1969. 11 p.
41. _____ y GROTELUESCHEN, R. O. Carbohydrates in grasses. I. Sugar and fructosan composition of the stem bases of several north-adapted grasses at seed maturity. *Crop Science* 6(3):263-266. 1966.
42. SOLARES TORRES, L. Influencia de la época del año, fertilización y edad de los pastos sobre su digestibilidad por los bovinos. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1961. 55 p. (Mimeografiada).

43. SPRAGUE, V. G. y SULLIVAN, J. T. Reserve carbohydrates in orchard grass clipped periodically. *Plant Physiology* 25(1):90-102. 1950.
44. SULLIVAN, J. T. y SPRAGUE, V. G. Composition of the roots and stubble of perennial ryegrass following parcial defoliation. *Plant Physiology* 18(4):656-670. 1943.
45. THROUGHTON, A. The underground organs of herbage grasses. Commonwealth Bureau of Pasture and Field Crops. *Bulletin* 44. 1957. 163 p.
46. WAITE, R. E. The water-soluble carbohydrates of grasses. III. First and second year growth. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 8(7):422-428. 1957.
47. _____ y BOYD, J. The water-soluble carbohydrates of grasses. I. Changes occurring during the normal life-cycle. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 4(4):197-204. 1953.
48. _____ y BOYD, J. The water-soluble carbohydrates of grasses. II. Grasses cut at grazing height several times during the growth season. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 4(4):257-261. 1953.
49. WARD, C. y BLASER, R. E. Carbohydrate food reserves and leaf area in regrowth of orchardgrass. *Crop Science* 1(4):366-370. 1961.
50. WEINMANN, H. Storage of root reserves in Rhodes grass. *Plant Physiology* 15(3):467-484. 1940.
51. WENT, F. W. The physiology of photosynthesis in higher plants. *Preslia* 30:225-249. 1958. (Original no consultado, citado por May, L. H. The utilization of carbohydrate reserves in pasture plants after defoliation. *Herbage Abstracts* 30(4):239-245. 1960).

A P E N D I C E S

La matriz hipótesis H_0 a probar se da a continuación:

$$H_0 \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \\ \alpha_{41} & \alpha_{42} & \alpha_{43} \\ \alpha_{51} & \alpha_{52} & \alpha_{53} \\ \alpha_{61} & \alpha_{62} & \alpha_{63} \\ \alpha_{71} & \alpha_{72} & \alpha_{73} \\ \alpha_{81} & \alpha_{82} & \alpha_{83} \\ \alpha_{91} & \alpha_{92} & \alpha_{93} \\ \alpha_{101} & \alpha_{102} & \alpha_{103} \\ \alpha_{111} & \alpha_{112} & \alpha_{113} \\ \alpha_{121} & \alpha_{122} & \alpha_{123} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Donde los parámetros estimados de α_i , se dan seguidamente:

$$\begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \\ \alpha_{41} & \alpha_{42} & \alpha_{43} \\ \alpha_{51} & \alpha_{52} & \alpha_{53} \\ \alpha_{61} & \alpha_{62} & \alpha_{63} \\ \alpha_{71} & \alpha_{72} & \alpha_{73} \\ \alpha_{81} & \alpha_{82} & \alpha_{83} \\ \alpha_{91} & \alpha_{92} & \alpha_{93} \\ \alpha_{101} & \alpha_{102} & \alpha_{103} \\ \alpha_{111} & \alpha_{112} & \alpha_{113} \\ \alpha_{121} & \alpha_{122} & \alpha_{123} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 61,22 & 9,27 & 3,14 \\ 70,85 & 10,09 & 3,43 \\ 53,32 & 8,32 & 2,98 \\ 43,29 & 6,53 & 2,38 \\ 33,18 & 4,87 & 2,19 \\ 42,35 & 6,61 & 2,68 \\ 43,18 & 6,70 & 2,82 \\ 41,67 & 5,85 & 2,47 \\ 40,56 & 5,84 & 2,65 \\ 70,07 & 10,37 & 4,18 \\ 85,41 & 11,98 & 4,87 \\ 95,62 & 14,28 & 5,01 \end{bmatrix}$$

El criterio de la prueba usada se basó sobre λ_{\max} , expresada en la siguiente fórmula:

$$\hat{\theta} = \frac{\hat{\lambda}_{\max.}}{1 + \hat{\lambda}_{\max.}} = \frac{8,72}{1 + 8,72} = 0,90$$

Para detectar si existen respuestas diferenciales a épocas, simultáneamente sobre las tres variables, se comparó $\hat{\theta}$ con θ tabular obtenida de la tabla de Heck, tabla que emplea los siguientes parámetros:

$$s = [\min n_i, p] = \min [11, 3] = 3$$

$$n = \frac{(n_i - p - 1)}{2} = \frac{(228 - 3 - 1)}{2} = 112$$

$$m = \frac{(\min n_i - p - 1)}{2} = 3,5$$

siendo el valor tabular de $\theta_{0,01} = 0,12$, dada la condición de $\hat{\theta} > \theta$ se rechaza la hipótesis de igualdad de los efectos de Epoca y se acepta la alternativa de que existen respuestas diferenciales entre los efectos de Epoca de siembra al nivel del 1% de probabilidad.

Función lineal discriminatoria (L) que maximiza diferencias entre efectos de Epoca de siembra

La mejor función lineal discriminatoria L, se obtuvo sustituyendo $\lambda_{\max.}$ en $(E^{-1}H - I \hat{\lambda}_{\max.}) \underline{a}$ y calculando así el vector característico \underline{a} asociado con la máxima raíz característica $\lambda_{\max.}$

Cálculo de la mejor función lineal discriminatoria que maximiza la respuesta diferencial Epoca x Corte

Siendo E_p^{-1} conocido en la sección anterior, se obtuvo $E_p^{-1} \times H$, donde H es la matriz de Suma de Cuadrados y Productos correspondientes a la interacción del Cuadro 3, con 22 grados de libertad.

$$E_p^{-1} H = \begin{bmatrix} 0,050757 & 0,007517 & 0,001416 \\ 13,802424 & 2,459855 & 0,270111 \\ -13,706210 & -3,040620 & 0,160776 \end{bmatrix}$$

Ahora, resolviendo la ecuación $|E_p^{-1} H - I \lambda| = 0$ cuyo resultado es:

$$\hat{\lambda}_1 > \hat{\lambda}_2 > \hat{\lambda}_3 = \{2,0577 > 0,6092 > 0,0044\}$$

escogiendo la $\hat{\lambda}_{\max.} = 2,0577$ para calcular el vector característico obtenido de la solución $|E_p^{-1} H - I \lambda| \underline{a} = 0$ se obtiene la mayor función lineal discriminatoria.