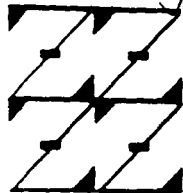


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA



RANGOS DE APORTE HIDRICO AL SUELO QUE SUSTENTAN LA
INSTALACION Y DESARROLLO DEL PASTO PERENNE *Bouteloua gracilis*
(H.B.K) Lag. ex Steud. BAJO CONDICIONES SEMICONTROLADAS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A :
ERICKA PATRICIA FLORES BERRIOS

1994

ASESOR: DR. ARCADIO MONROY ATA
ADSCRIPCION: LABORATORIO DE BIOFISICA
FES ZARAGOZA. UNAM.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Investigación realizada con
financiamiento de la **DIRECCIÓN
GENERAL DE ASUNTOS DEL
PERSONAL ACADÉMICO** a través del
proyecto PAPIID IN-204792

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Porque con su amor construyeron nuestra familia, con esfuerzo nos enseñaron a luchar y con comprensión nos guiaron para conseguir nuestras metas.

Este trabajo es de ustedes.

A MIS HERMANOS

Porque su cariño y apoyo han sido los mejores incentivos en mi carrera.

A

**María
José Luis
Isela
Oscar
Martha**

Por ser parte importante de la familia.

A mis sobrinos

Porque con ellos nace la esperanza.

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** y a la **Facultad de Estudios Superiores Zaragoza** por ser orgullosamente los firmes cimientos de mi formación profesional.

Al **Dr. Arcadio Monroy A.** por haber dirigido inmejorablemente este trabajo y por todo el apoyo proporcionado para su realización.

A la **M. en C. M. Socorro Orozco A.**, **M. en C. Ma. de Jesús Sánchez C.**, **M en C. Elvia García S.** y a la **Biol. Rosa I. Ramírez R.** porque sus conocimientos y experiencia enriquecieron de manera invaluable este trabajo.

A la **Biol. E. Fabiola Morales G.** por su reconfortante amistad y apoyo en todo momento.

Al **M. en C. Armando Cervantes S.** por su asesoría en la parte estadística del trabajo.

A quienes conforman el Laboratorio de Biofísica, **M. en C. Rosalva García S.**, **Biol. Patricia Koleff O.**, **Biol. Juan A. Cruz R.** y **Biol. Coral Martínez** profesionistas brillantes y excelentes compañeros, por haberme permitido compartir un agradable espacio de trabajo.

A todos los profesores, amigos y compañeros de la facultad por ser parte importante de lo que hoy se ha concluido.

ÍNDICE

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. ANTECEDENTES	3
3.1. Características de <i>Bouteloua gracilis</i>	3
3.1.1. Clasificación taxonómica	3
3.1.2. Descripción botánica	3
3.1.3. Fenología	4
3.1.4. Ecología	4
3.1.4.1. Efecto del pastoreo	5
3.1.4.2. Efecto de la sequía	5
3.1.5. Valor nutritivo	6
3.1.6. Usos	6
3.1.7. Distribución geográfica	6
3.2. Requerimientos físicos de <i>Bouteloua gracilis</i>	7
3.2.1. Topografía y características del suelo	7
3.2.2. Temperatura y precipitación	7
3.2.3. Fotoperíodo y variabilidad	7
3.3. Zonas áridas y semiáridas	8
3.4. Relación suelo-agua	8
3.5. Estrés hídrico	10
3.6. Definición de establecimiento	10
4. PROBLEMÁTICA	12

5. HIPÓTESIS .	13
6. OBJETIVOS	13
6.1. Objetivo general .	13
6.2. Objetivo particular	13
7. MATERIAL Y MÉTODOS	14
7.1. Área de trabajo	14
7.2. Preparación del sustrato	14
7.3. Distribución de riegos	15
7.4. Material biológico	15
7.5. Pruebas de germinación	15
7.5.1. Escarificación mecánica	16
7.5.2. Imbibición	16
7.5.3. Testigos	16
7.6. Siembra	16
7.7. Trasplante	16
7.8. Registro de datos	17
7.8.1. Germinación y emergencia	17
7.8.2. Fenología	17
7.8.3. Evapotranspiración y transpiración	17
7.8.4. Volumen	18
7.8.5. Biomasa y contenido de agua	18
7.8.6. Perfiles hídricos	19
7.8.7. Análisis estadístico	19

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
8.1. Germinación	20
8.2. Emergencia	22
8.3. Fenología	22
8.4. Volumen	26
8.5. Biomasa	28
8.6. Contenido de agua en las plantas	30
8.7. Evapotranspiración y transpiración	30
8.8. Perfiles hídricos	33
8.9. Eficiencia en el uso del agua	35
8.10. Establecimiento y desarrollo de <i>Bouteloua gracilis</i>	37
9. CONCLUSIONES	41
10. RECOMENDACIONES	42
11. LITERATURA CITADA	43

ÍNDICE DE GRÁFICAS Y CUADROS

Gráfica 1: Porcentaje de germinación de <i>B. gracilis</i> en cada pretratamiento	21
Gráfica 2: Porcentaje acumulado de emergencia de <i>Bouteloua gracilis</i>	23
Gráfica 3: Fenograma de <i>Bouteloua gracilis</i> bajo cuatro tratamientos hídricos	25
Gráfica 4: Volumen final de <i>Bouteloua gracilis</i> bajo cuatro tratamientos hídricos	27
Gráfica 5: Biomasa total de <i>Bouteloua gracilis</i> bajo cuatro tratamientos hídricos	29
Gráfica 6: Contenido total de agua en plantas de <i>Bouteloua gracilis</i>	31
Gráfica 7 (a-d): Evapotranspiración y transpiración acumuladas por tratamiento	32
Gráfica 8: Perfiles hídricos finales en cada tratamiento	34
Gráfica 9: Relación biomasa seca-evapotranspiración	40
Cuadro 1: Eficiencia en el uso del agua (WUE)	36
Cuadro 2: Síntesis de las evaluaciones biológicas obtenidas en cada tratamiento	39

1. RESUMEN

El presente trabajo se realizó bajo condiciones de invernadero con el objetivo de determinar, mediante cuatro tratamientos hídricos totales y dos aportes iniciales en cada uno, los rangos de aporte hídrico que aseguren el establecimiento y desarrollo del pasto perenne *Bouteloua gracilis*. Se planteó la hipótesis de que es necesaria una reserva hídrica en el suelo para el establecimiento de esta gramínea perenne de alto valor forrajero. El efecto de los cuatro tratamientos hídricos (90 mm, 180 mm, 360 mm y 450 mm) y los dos aportes iniciales (20 mm y 40 mm), fue estimado a través del registro de las siguientes variables: fenología, volumen, biomasa, contenido de agua en las plantas, evapotranspiración, transpiración y eficiencia en el uso del agua.

Los resultados muestran que las plantas del tratamiento más seco (90 mm), no sobrevivieron debido a que el aporte hídrico no fue suficiente para superar el punto de marchitez permanente. Los tratamientos más húmedos (360 y 450) indujeron la etapa de floración, aunque se observa que ante un menor aporte hídrico, la etapa reproductiva se retrasa.

Se encontró que, bajo condiciones de invernadero, *Bouteloua gracilis* requiere de un mínimo de 180 mm totales de riego con una reserva hídrica inicial de 40 mm, para su establecimiento y desarrollo. Asimismo, el estrés hídrico disminuye el volumen, biomasa y contenido de agua de las plantas, además de promover el retraso en el desarrollo vegetativo y aparición de la etapa de antesis. Se concluye de este trabajo que la presencia de una reserva hídrica en el suelo es determinante en el establecimiento de las plantas de *Bouteloua gracilis* bajo condiciones de invernadero.

2. INTRODUCCIÓN

Se considera que en la República Mexicana las zonas áridas y semiáridas se extienden en una superficie de 84 millones de hectáreas, las cuales representan el 42% de la superficie total del país (Castillo *et al.*, 1988). La actividad agropecuaria en estas zonas se ve seriamente afectada por la variabilidad en la cantidad y distribución temporal de las lluvias, ya que el agua es el factor limitativo. En efecto, existen lugares donde la precipitación de todo un mes ocurre en uno o dos eventos, y donde más del 65% de la lluvia cae de junio a septiembre. Lo anterior, aunado a la presencia periódica de uno o varios años de sequía, hacen que la actividad agrícola sea riesgosa y poco redituable desde el punto de vista económico (Rodríguez y Gavande, 1976). Esta realidad ha creado la necesidad de buscar soluciones para que la escasa precipitación sea aprovechada más eficientemente desde un punto de vista global, con los recursos naturales existentes en estas zonas.

Lo anterior ocasiona que los rendimientos de los cultivos generalmente sean bajos debido a que, durante la estación de crecimiento, la deficiencia de agua es un fenómeno frecuente (Peña y Orozco, 1988); una opción para el aprovechamiento de las zonas áridas y semiáridas sería el cultivo de plantas con alta resistencia a la sequía y aprovechables como forraje; dentro de las especies vegetales importantes en los agostaderos semiáridos de México, por su palatabilidad y resistencia a la sequía, se encuentra el pasto "navajita" (*Bouteloua gracilis*), que es una gramínea perenne de alto valor forrajero distribuida ampliamente en el Norte del país y Sur de los Estados Unidos (Manuales para Educación Agropecuaria, 1990).

Una vez establecida, *B. gracilis* es capaz de soportar sequías sin afectar demasiado su sobrevivencia (*op. cit.*), lo cual justifica la importancia de determinar las condiciones ecológicas y fisiológicas que rigen su germinación y crecimiento, con el fin de conocer sus requerimientos para reintroducirla como especie forrajera en las zonas en las que ha sido eliminada por sobrepastoreo.

En este contexto, se considera importante analizar el comportamiento de las especies bajo deficiencias de humedad, para investigar la manera en que serán afectadas en sus procesos fisiológicos, de crecimiento y reproductivos. Por ello la finalidad del presente estudio es la de evaluar el establecimiento del pasto "navajita" bajo diferentes niveles hídricos en condiciones de invernadero.

3. ANTECEDENTES

3.1. CARACTERÍSTICAS DE *Bouteloua gracilis*

3.1.1. Clasificación taxonómica

Subdivisión	Angiospermas
Clase	Monocotiledónea
Orden	<i>Glumiflorae</i> (Glumifloras)
Familia	<i>Gramineae</i> (Gramíneas)
Subfamilia	<i>Panicoideae</i>
Tribu	<i>Clorideae</i> (Clorideas)
Género	<i>Bouteloua</i>
Especie	<i>gracilis</i>
Nombre Científico	<i>Bouteloua gracilis</i>
Nombre Común	"navajita"

Sánchez (1980)



3.1.2. Descripción botánica

Bouteloua gracilis (H.B.K.) Lag. ex Steud. es un zacate perenne, cespitoso, anual. Culmos de 10 a 15 cm de longitud, con 2 a 3 nudos, amacollados o formando césped bajo presión de pastoreo, erectos, simples, lisos o glabros. Tallos erectos, delgados y lampiños de 30 a 50 cm de altura. Vainas glabras, hispidas en el collar; láminas de 2 a 10 cm de largo por dos cm de ancho, curvas o flexuosas, involutas cuando menos cerca de la punta, siendo ésta larga y delgada, los márgenes lisos o escabrosos, algunas veces dispersamente pilosos.

Inflorescencia con una a tres espigas de color moreno rojizo, de 2.5 a 5 cm de largo, generalmente curvadas; raquis terminado en un punto, espiguillas de unos 6 mm de largo; raquilla con un mechón de vellos largos bajo la espiguilla rudimentaria; primera gluma angosta, acuminada, de 3 mm de largo; la segunda más ancha, acuminada de 4 mm de largo, barbada en la base, con pelos largos en ambas caras de la nervadura media, los

márgenes con cilios cortos y el ápice ligeramente lobulado, con una arista central como de un milímetro de largo, densamente barbado en la base, con lóbulos anchos en forma de capucha, aristas de casi 3 mm de largo, algunas veces se desarrolla un flósculo rudimentario sin arista; número cromosómico $n=7$ (Sánchez, 1980; Pohl, 1978; Beetle, 1987).

3.1.3. Fenología

El pasto "navajita" es una gramínea de crecimiento tardío, usualmente produce forraje verde hasta avanzado mayo o a principios de junio (Prieto y Rojas, 1991).

La antesis o apertura del flósculo es el primer signo de que la polinización va a ocurrir. En la mayoría de las gramíneas esto ocurre algunos días después de que la espiga ha emergido, aunque hay algunas en las que la antesis sucede exactamente antes de la polinización. El hinchamiento de los lodículos es el mecanismo más común causante de que la lema se separe de la palea, permitiendo a los estigmas plumosos extenderse y alargarse a los filamentos de la antera, a continuación las anteras se abren y el polen es liberado (Langer y Arnold, 1970).

Generalmente, el crecimiento de *B. gracilis* se inicia en junio, la floración se presenta en septiembre y la maduración en noviembre.

3.1.4. Ecología

Bouteloua gracilis se caracteriza por ser un pasto perenne que no tolera la sombra densa pero es altamente resistente a la sequía, esto se debe a que sus estomas poseen una eficiente regulación de apertura y cierre de acuerdo con las condiciones ambientales que predominen (López, 1989). Asimismo, es una planta que posee un metabolismo C_4 debido a que tiene como primer producto de la fotosíntesis un ácido carboxílico de 4 carbonos. Esta característica hace que el proceso fotosintético sea más eficaz, siendo capaces de utilizar intensidades lumínicas y temperaturas más altas (Dainthith, 1983). También esta vía fotosintética promueve una mayor eficiencia en el uso del agua (WUE).

A pesar de ello, durante las primeras etapas de desarrollo de la plántula, *B. gracilis* es en extremo vulnerable a la sequía atmosférica (Wilson y Briske, 1979) debido a que su germinación, en primera instancia, requiere de una reserva hídrica en el suelo, conservada durante 2 a 4 días, con lo cual es capaz de iniciar el crecimiento de raíces adventicias que posteriormente requieren de 2 a 8 semanas de humedad suficiente para que la planta se pueda establecer (Ries y Svejcar, 1991).

Se ha observado que *B. gracilis* tiene la capacidad de producir nuevas raíces a nivel de la superficie del suelo, después de la presencia de un periodo lluvioso, esto incrementa en gran medida sus probabilidades de supervivencia en tanto representa una adaptación a condiciones esporádicas favorables (López, 1989).

Sin embargo, las raíces adventicias que se generan después de la germinación son producidas en la superficie del suelo, por lo que se exponen inmediatamente a severas condiciones de sequía cuando no se cuenta con un periodo de lluvias recurrente. Así, la oportunidad de supervivencia de las raíces y de la plántula misma es baja. Por otra parte, en esta etapa sólo presenta una sola raíz seminal con conducción hídrica limitada, que no sobrevive si la capa superficial del suelo no se encuentra húmeda, aminorando más las posibilidades de supervivencia (Hyder *et al.*, 1971).

3.1.4.1. Efecto del pastoreo

Cuando *B. gracilis* es el componente principal de un pastizal, su vigor se reduce con pastoreo intenso y su efecto se refleja como sigue: 1) retraso en el tiempo en el que empieza el crecimiento durante la primavera, 2) decremento en el tamaño y número de hojas, 3) escasez de tallos florales, asociados con aparición tardía, 4) retraso en la madurez de la semilla, producción limitada de la semilla y baja viabilidad de la semilla cosechada y 5) baja germinación y establecimiento limitado de los renuevos de las plantas en la siguiente primavera (Hernández, 1987).

3.1.4.2. Efecto de la sequía

Dye (1972) menciona que la temperatura óptima para la fotosíntesis en el pasto navajita es de 34 a 36 °C y cuando la humedad del suelo es un factor limitante va decreciendo de 2 a 4 °C conforme se incrementa el déficit de agua. Temperaturas altas inhiben la anthesis a través de la desecación, dañando el estilo o restándole desarrollo (Pearson e Ison, 1987; Hill, 1980)

Weaver y Clements (1929) mencionan que en años con sequía extrema, aún los pastos cortos pueden fallar en la floración. Ante la falta de humedad, la planta permanece en latencia y cuando hay nuevamente disponibilidad hídrica, rápidamente recobra el crecimiento.

Cuando existe un déficit en el aporte de agua al comienzo del crecimiento reproductivo, el número total de semillas producidas resulta afectado debido a una reducción

del número de inflorescencias producidas. El exceso de deficiencia de agua puede ocasionar detrimento en la cantidad y calidad de la semilla (Youngberg y Baker, 1985).

3.1.5. Valor nutritivo

Las plantas jóvenes de *Bouteloua gracilis* tienen mayor contenido de humedad, menor contenido de materia seca en peso húmedo y son más ricas en proteínas; la materia seca es más digerible, conteniendo más calcio y fósforo (Reed y Dwyer, 1971).

El valor forrajero de *B. gracilis* es de los más altos entre los zacates nativos de las regiones secas y altas del país (Cuevas, 1975). En efecto, es un zacate fino de mucha palatabilidad, con bajo contenido de fibra y relativamente alto en proteína. En invierno o en su estado de letargo, tiene la característica de retener más del 50% de su valor nutritivo, por lo que es un alimento excelente tanto en invierno como en verano (Contreras, 1979).

3.1.6. Usos

Se utiliza generalmente para pastoreo directo, sin embargo, puede cultivarse para cosecharse en pacas de heno al inicio de la floración o bien para la producción de semilla cuando ésta ya se encuentra madura. La resistencia del zacate navajita a la sequía y por lo tanto la producción de forraje se ve afectada por el corte de la parte superior de la planta, por ello se recomienda que cuando se vaya a henificar el forraje, el corte se efectúe cuando menos un mes antes de que termine la temporada de lluvias, para que *B. gracilis* pueda tener rebrote vigoroso al siguiente año (Contreras, 1979).

3.1.7. Distribución geográfica

Se presenta en poblaciones densas y casi monoespecíficas, o como componente dominante o subordinado de muchas de las fases de pastizal de "navajita", que deriva su nombre precisamente de esta especie.

De acuerdo con Hitchcock (1959), el pastizal en el que *B. gracilis* es un dominante o codominante, se extiende desde el sur de Saskatchewan, Alberta y centro de Columbia Británica, oeste y sur de Manitoba, noreste de Indiana, sur de Illinois, centro de Missouri, oeste de Texas y sur de Arkansas, hasta la Meseta Central de México. Gould (1965) reporta esta especie en América del Sur, donde probablemente fue introducida.

En México, de acuerdo con las citas de varios autores (Muller, 1947; Gentry, 1957; Hernández, Claverán y Martínez, 1961;), *Bouteloua gracilis* se localiza en la porción central

de Chihuahua y alrededores de las sierras y mesetas de Coahuila, de donde se extiende en forma de un cinturón continuo de amplitud variable hacia el sur, a través de Durango y Zacatecas hasta Aguascalientes y norte de Jalisco.

3.2. REQUERIMIENTOS FÍSICOS DE *Bouteloua gracilis*

3.2.1. Topografía y características del suelo

Hanson y Whitman (1937) establecen que *Bouteloua gracilis* es un especie dominante durante el desarrollo de suelos solonchalc y solonetz a suelo normal. Hernández (1987) señala que esta especie se encuentra bien desarrollada en suelos de migajón areno-limoso muy fino y en suelos arenosos profundos, en valles nivelados o en superficies con pendientes suaves. Las poblaciones poco desarrolladas se encuentran en suelos poco profundos y pedregosos.

En las llanuras y declives con clima templado semiárido, se presenta abarcando los bosques de encino-enebro, de encino, de encino-pino y de pino-enebro; ocupa los suelos profundos, principalmente con pH de 6.5 a 8, pero invade incluso las áreas con valores hasta de 9, con subsuelo impermeable (Hernández, 1987).

3.2.2. Temperatura y precipitación

Bouteloua gracilis es favorecida por temperaturas cálidas con óptimos para la fotosíntesis neta en los rangos de 25 a 40°C; por ejemplo, esta especie acumuló 2.7 veces más biomasa con temperaturas cálidas que con temperaturas frías (Kemp y Williams, 1980).

Asimismo, se ha establecido que *B. gracilis* se encuentra adaptada a una humedad de entre 1500 y 2000 mm anuales (Coupland, 1950); sin embargo, otros autores (Gentry, 1957; Calderón, 1960; Rzedowski, 1966; Rojas, 1965 y Moreno, 1965) indican variaciones en los valores de precipitación anual que van desde 311.1 mm (noreste de Sonora) a 800 mm (Chihuahua).

3.2.3. Fotoperiodo y variabilidad

Olmstead (1943) concluye que *Bouteloua gracilis* es indiferente a la duración del día pero con ligera tendencia al día largo. Evans *et al.* (1964) señalan que la reducción de la luz natural disminuye la proporción de plantas que florecen en el pasto "navajita". Weaver y Albertson (1956) mencionan que en latitudes medias, plantas de *B. gracilis* del sur son más

hojosas, más grandes, más vigorosas y adoptan un hábito amacollado grande; las del norte son menos hojosas, más cortas, los macollos más pequeños tendiendo a formar césped.

En cuanto a la variabilidad, Hernández *et al.* (1961), indican la existencia de ecotipos halófitos facultativos de esta especie. Se ha encontrado que *B. gracilis* posee un carácter poliploide $4n=28$, $5n=35$, $6n=42$ y $12n=84$; esta variación genotípica confiere a esta gramínea mayor adaptación a condiciones ecológicas diversas.

3.3. ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

Convencionalmente, en México se ha considerado que las zonas áridas son áreas geográficas que reciben una precipitación pluvial anual no mayor de 250 mm, y como semiáridas aquéllas que reciben una precipitación de entre 250 y 500 mm (López, 1989).

De acuerdo con Rzedowski (1968, 1983) y García (1973), las zonas áridas y semiáridas ocupan una extensión de entre el 50 y 60 por ciento del territorio mexicano. Desde la época colonial estas áreas han sido utilizadas para el pastoreo o ramoneo (Hernández, 1979), manteniendo una tradición pecuaria poco planificada que ha traído como consecuencia la sobreexplotación de los recursos forrajeros así como cambios en la vegetación que incluyen la disminución de las áreas de distribución y abundancia de las especies con mayor valor de uso. El pastoreo excesivo ha ocasionado también la modificación de las posibilidades de mantenimiento y crecimiento poblacional de estas especies, lo que promueve su reemplazo más o menos paulatino por otras de menor valor forrajero (Rivas, 1988).

En relación con lo anterior, los factores ambientales juegan un papel importante en las formas de vida que predominan en los ecosistemas de pastizal (Sala *et al.*, 1982). Así, el agua en zonas áridas y semiáridas es el factor limitativo de la productividad primaria y la reproducción de especies forrajeras.

Por otra parte, se ha contemplado que la introducción de especies económicamente importantes en estas zonas es un proceso rápido y generalmente no se toma en cuenta que para muchas especies (como las gramíneas), las condiciones ambientales extremas son un factor determinante en su establecimiento (Call y Roundy, 1991).

3.4. RELACIÓN SUELO-AGUA

El agua es uno de los elementos más importantes e imprescindibles en el desarrollo de una planta, no sólo como componente estructural del mismo organismo, sino como inductor de los procesos de germinación y crecimiento (Deming, 1979).

Las plantas absorben del suelo el agua necesaria para su desarrollo, proceso que se lleva a cabo mediante un vínculo que une a la planta con el sustrato: el sistema de raíces. De esta manera, el agua disponible que puede aprovechar se encuentra estrechamente relacionada con la reserva hídrica en el suelo.

El agua retenida por los suelos consiste de tres fracciones principales. Primero, cada partícula de suelo se encuentra rodeada por una película de agua constituida por solamente unas pocas moléculas de grueso. Esta película es retenida por fuerzas de atracción que reducen drásticamente el movimiento del agua, por lo tanto, la presión de difusión de las moléculas de agua es tan negativa que no se encuentra disponible para la planta. Esta fracción es llamada agua higroscópica (Greulach y Adams, 1990).

En los poros más pequeños del suelo, el agua es retenida por fuerzas de capilaridad. Estas fuerzas reducen sólo ligeramente la presión de difusión del agua y así el agua de capilaridad está rápidamente a disposición de las plantas. En los poros más grandes del suelo, las fuerzas de capilaridad no son lo suficientemente grandes para retener el agua en contra de la gravedad, por lo que el agua de gravedad se pierde fácilmente por evaporación (Greulach y Adams, 1990) o por drenaje.

El contenido de agua en el suelo se puede expresar en porcentaje sobre el peso del suelo seco. El porcentaje de contenido de agua de un suelo, cuando la planta que crece en él sufre marchitamiento permanente, es el punto de marchitez permanente del suelo. En este punto, las plantas han absorbido toda el agua de capilaridad disponible. El punto de marchitez permanente varía con el tipo de suelo, oscilando entre casi 20% agua en suelos arcillosos, hasta 3% en suelos arenosos (Millar, Turk y Foth, 1971).

El porcentaje de contenido de agua en el suelo, cuando éste retiene toda el agua de capilaridad posible pero no agua de gravedad, se conoce como capacidad de campo del suelo. En suelos con contenido de agua por encima de la capacidad de campo existe movimiento de capilaridad del agua a regiones adyacentes del suelo más seco, pero el movimiento de capilaridad cesa una vez que el contenido de agua queda reducido a la capacidad de campo. La capacidad de campo de los suelos arcillosos puede llegar hasta un 45% de contenido de agua, mientras que la de los arenosos puede ser de sólo 5% (Greulach y Adams, 1990).

Si tenemos en cuenta que la capacidad de campo representa el máximo contenido de agua capilar y por el contrario, el punto de marchitez permanente implica el agotamiento del agua disponible en el suelo; estos dos niveles pueden definir una transición llamada capacidad de almacenamiento de un suelo que estará dada por la diferencia entre los porcentajes de capacidad de campo y punto de marchitez permanente (Millar *et al.* 1971).

Existe gran discrepancia en cuanto al punto en el cual el agua del suelo empieza a limitar el crecimiento de las plantas. Veihmeyer y Hendrickson (1959) establecen que el agua del suelo se encuentra igualmente disponible desde la capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente, en cambio Richards y Wadleigh (1952) afirman que la disponibilidad decreciente de agua en el suelo afecta el crecimiento antes de que se produzca el punto de marchitez permanente. Actualmente se acepta que al reducirse el contenido hídrico del suelo el agua se vuelve cada vez menos disponible y no existe un punto determinado en el cual deje de ser utilizable por las plantas. Además la capacidad de las raíces para extraer agua varía ampliamente entre las especies.

3.5. ESTRES HÍDRICO

En relación a los efectos del estrés de humedad en el crecimiento y reproducción de especies herbáceas en zonas áridas, Mott y McComb (1972) establecen que el estrés hídrico reduce la producción de materia vegetativa seca de *Aristida contorta* (pasto perenne) debido a que una gran proporción de los recursos ha sido invertida en el crecimiento reproductivo.

Asimismo, el estrés hídrico se encuentra relacionado con la inhibición en la elongación del tallo produciendo marcados efectos en la turgencia relativa y en el crecimiento de los individuos, así como una reducción en el número de inflorescencias formadas.

Por otra parte, la morfología de las raíces es importante para el éxito en el establecimiento de plántulas y su supervivencia en terrenos áridos y semiáridos. Generalmente se asocia la habilidad de las plántulas para crecer en suelos con escasez hídrica, con su orden de ramificación, de manera que la gran densidad de subdivisiones, longitud de raíces y longitud de enlace entre las mismas, capacitan a la planta para crecer mejor en condiciones de estrés hídrico (Johnson y Aguirre, 1991). Estas características morfológicas pueden proporcionar alternativas en el mejoramiento de los procesos de establecimiento de plántulas en zonas con escasez de precipitaciones.

Uno de los efectos más visibles del estrés hídrico sobre las plantas es la alteración de su estado fenotípico, es decir, se manifiesta sobre características externas del individuo como por ejemplo en la reducción del área foliar hasta su completa eliminación, mayor proporción de tejido mecánico, estructura interna compacta, aumento de haces vasculares, aumento relativo del sistema radical, aumento de la frecuencia estomatal, entre otras (Orozco, 1989).

3.6. DEFINICIÓN DE ESTABLECIMIENTO

El proceso de establecimiento o instalación en los vegetales ha provocado discrepancias en cuanto a su definición. En efecto, según Fenner (1985), una planta completamente establecida es aquella capaz de producir unidades reproductivas (vegetativas o sexuales); asimismo, Whalley *et al.* (1966) explican que el desarrollo de una plántula ocurre en tres estados generales que incluyen: 1) estado heterotrófico, 2) estado de transición y 3) estado autotrófico. De ello se deduce que una plántula debe ser completamente autotrófica (no depender de las reservas de la semilla) para ser considerada como establecida.

Ortiz (1977) menciona que una planta es considerada como establecida cuando posee su primera hoja verdadera o un año después, a partir de la fecha de siembra cuando ha sobrevivido a los efectos de un periodo crítico. Evans (1976) define el establecimiento de una pradera como el periodo comprendido entre la siembra y el desarrollo temprano de la plántula. Comprende cuatro fases: siembra, germinación, emergencia y crecimiento postemergente.

Mckell (1972) menciona que el establecimiento de una nueva planta empieza con la activación del embrión y otras partes de la semilla, posteriormente se inicia un rápido crecimiento y finalmente aparece la etapa de madurez cuando la planta ya se ha establecido.

Con base en lo anterior, aquí se considerará que una plántula puede ser estimada como establecida cuando tiene la capacidad de elaborar su propio alimento, siendo completamente independiente de las reservas de la semilla. Asimismo se puede definir la instalación de una planta cuando ha producido unidades reproductivas funcionales, es decir cuando la planta genera una continuidad genética que tiene potencialmente un impacto ecológico.

4. PROBLEMÁTICA

El constante crecimiento de la población mexicana ha traído como consecuencia una demanda creciente de fuentes de alimentación; en consecuencia, la búsqueda de áreas para la práctica de actividades agrícolas y ganaderas se ha incrementado. Recientemente se ha observado que esta demanda provoca la desaparición de zonas boscosas y de selvas para su transformación en terrenos de pastoreo con reducidos periodos de productividad y gran deterioro ambiental y ecológico.

Lo anterior implica la necesidad de buscar alternativas para la utilización de áreas subutilizadas, que cuentan con gran diversidad florística y amplias posibilidades de crecimiento sostenido. Un ejemplo de esta situación son las zonas áridas y semiáridas de México, las cuales poseen importantes recursos bióticos susceptibles de ser utilizadas de manera continua.

Hernández (1964) sugiere que el pastoreo en las áreas de matorral y pastizal es una alternativa viable en el desarrollo de zonas áridas y semiáridas, sin embargo, el manejo inadecuado de las prácticas ganaderas puede implicar la eliminación de especies con alto valor forrajero, a consecuencia de la alteración de las condiciones necesarias para su establecimiento y desarrollo, facilitando así el asentamiento de especies no aprovechables por el ganado (Archer, 1989; Westoby, 1980).

Por ello, es importante definir las condiciones ecológicas y fisiológicas que rigen el establecimiento de especies de alto valor forrajero, con el fin de estructurar prácticas de aprovechamiento de recursos ecológicos sostenibles. Asimismo, en un ambiente donde la disponibilidad de agua es la limitante principal en el desarrollo de las especies vegetales, es necesario conocer los regímenes hídricos que requiere un suelo particular para sustentar la germinación y desarrollo de pastos forrajeros como *B. gracilis* y la estación más adecuada para el establecimiento exitoso de este tipo de gramíneas en zonas áridas y semiáridas.

El presente estudio pretende esclarecer las interrogantes en cuanto a ¿cuál es el aporte hídrico mínimo suficiente para el establecimiento y desarrollo de *Bouteloua gracilis*?, ¿una reserva hídrica puede ser determinante en la sobrevivencia y desarrollo de *B. gracilis*? ¿el patrón de distribución de una misma cantidad de riego afecta el establecimiento de esta especie?, ¿de que manera influye el déficit hídrico en el fenotipo y la fenología de la especie en estudio?.

5. HIPÓTESIS

El establecimiento de plántulas es una fase crítica para la sobrevivencia vegetal, siendo la humedad de la capa superficial del suelo determinante en el éxito del establecimiento. El grado de humedad de la capa superficial depende, entre otros, de la presencia de una reserva hídrica en el suelo más que del aporte hídrico total por lluvia o riego. Por ello existirá un mayor porcentaje de establecimiento cuando el sustrato contenga una reserva hídrica inicial disponible para la planta, que cuando ese mismo aporte hídrico sea distribuido en el tiempo.

6. OBJETIVOS

6.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el aporte hídrico mínimo al suelo que asegure el establecimiento y desarrollo del pasto perenne *Bouteloua gracilis* mediante cuatro regímenes de riego.

6.2. OBJETIVO PARTICULAR

Mediante la aplicación de cuatro regímenes totales de riego (90, 180, 360 y 450 mm) y dos aportes iniciales (20 y 40 mm) durante 6 meses, establecer los requerimientos de aporte hídrico al suelo que aseguren la fase de establecimiento y el desarrollo de *Bouteloua gracilis* en condiciones de invernadero; evaluadas a través de su fenología, biomasa, transpiración y eficiencia en el uso del agua.

7. MATERIAL Y MÉTODOS

7.1. ÁREA DE TRABAJO

Los experimentos se llevaron a cabo en un invernadero de 2.5 x 4 m x 3 m de altura con ventilación constante y sin cortinas en el techo, ubicado en la zona oriente de la Cd. de México, del 15 de mayo de 1993 al 15 de octubre de 1993.

7.2. PREPARACIÓN DE SUSTRATO

Teniendo en cuenta que se utilizó suelo colectado de un agostadero, fue necesario homogeneizarlo. El suelo se colectó en el Municipio de Santiago de Anaya, en el estado de Hidalgo, se secó al aire para luego ser tamizado con malla de 8 mm y, posteriormente, se secó nuevamente.

Al suelo resultante de los tamizados se le aplicaron las siguientes pruebas de mejoramiento de textura (textura original arcillo-limoso):

1. 60% de suelo tamizado, mezclado con un 40% de arena.
2. 50% de suelo tamizado, mezclado con un 50% de arena.
3. 40% de suelo tamizado, mezclado con un 60% de arena.

Estas mezclas se evaluaron colocándolas en probetas de 1000 ml y adicionando 300 ml de agua. Se midió el avance del frente del perfil hídrico cada 60 minutos para establecer que textura permite una mejor penetración de la humedad. La mezcla utilizada fue de 60% de suelo y 40% de arena.

El análisis fisicoquímico del suelo obtenido con el mejoramiento de textura se reporta a continuación:

Arena	49.4%
Limo	27.33%
Arcilla	23.27%
Textura	Franco
Densidad aparente	1.1 g/cc
Densidad real	2.24 g/cc
Capacidad de campo	29.8%
*PMP	14.38%
pH	8.0 (1:1) acuoso
Materia orgánica	4.48%
CIC	25.32 meq/100

PMP: Punto de marchitez permanente

CIC: Capacidad de intercambio catiónico

* Tomado de Orozco (1994).

7.3. DISTRIBUCIÓN DE RIEGOS

Para determinar los rangos de aporte hídrico que sustenten la germinación y establecimiento de *Bouteloua gracilis*, se llevaron a cabo cuatro tratamientos hídricos de la siguiente manera:

Aporte hídrico total (mm)	Riego inicial (mm)	Número de repeticiones	Número de testigos	Cantidad de riego semanal (mm)
90	20	5	2	2.9
	40	5	2	2.1
180	20	5	2	6.6
	40	5	2	5.8
360	20	5	2	14.2
	40	5	2	13.3
450	20	5	2	17.9
	40	5	2	17.1
TOTAL		40	16	

Nota: El aporte total incluye la cantidad de riego inicial.

Los riegos se realizaron cada 7 días a partir del momento del trasplante, durante 180 días.

7.4. MATERIAL BIOLÓGICO

Se utilizaron semillas maduras de *Bouteloua gracilis* (H.B.K.) Lag. ex. Steud., adquiridas comercialmente en 1993. Todo el material que fue manejado en el experimento proviene de un solo lote adquirido.

5. PRUEBAS DE GERMINACIÓN

Las semillas de *Bouteloua gracilis* requieren de condiciones ambientales muy específicas para el éxito de su germinación, por ello se plantearon una serie de pruebas con distintos tratamientos para establecer las condiciones que proporcionararan el mayor porcentaje de semillas germinadas. Todas las semillas se separaron del fruto.

7.5.1. Escarificación mecánica: Las semillas fueron escurificadas friccionándolas entre dos lijas suaves. Se colocaron a germinar ocho lotes de 100 semillas escurificadas, cuatro de ellos fueron incubados a una temperatura constante de 30°C y los lotes restantes a temperatura ambiente bajo condiciones de invernadero.

7.5.2. Imbibición durante 24 horas: En este caso, las semillas se remojaron en agua durante 24 horas previas a su siembra. Se colocaron 8 lotes de 100 semillas previamente remojadas, cuatro de ellos fueron incubados a una temperatura de 30°C y los lotes restantes a temperatura ambiente.

7.5.3. Lotes testigo: Con el fin de establecer un parámetro de comparación, se colocaron a germinar ocho lotes de semillas sin ningún tratamiento previo, cuatro de ellos se incubaron a una temperatura de 30°C y los restantes a temperatura ambiente.

Estas pruebas se llevaron a cabo en el período de marzo a abril de 1993.

7.6. SIEMBRA

Las semillas se remojaron en agua 24 horas antes de la siembra (gráfica 1) y se prepararon lotes de suelo para esterilización (a 120°C durante 5 horas); con este sustrato se dispusieron semilleros a capacidad de campo, en cada uno de los cuales se colocaron 50 semillas de *Bouteloua gracilis* a una profundidad de 2 cm (Carren *et al.*, 1987), a temperatura ambiente y con 18 horas/día de fotoperiodo, en el invernadero.

Después de 15 días de haberse iniciado la germinación de las semillas, todas las plántulas de cada semillero transplantaron a las macetas. En este momento se registró el porcentaje de emergencia.

7.7. TRASPLANTE

Para el trasplante se prepararon 56 macetas plásticas de 7.5 litros de capacidad, sin drenaje (para limitar la pérdida de agua al proceso de evapotranspiración) y forradas con polietileno negro, a las cuales se les adicionaron 7 kg de suelo mezclado y esterilizado (a 200 °C durante 5 horas). 24 horas antes de realizar el trasplante, las macetas se irrigaron con la mitad del aporte hídrico inicial (ver distribución de riegos).

En 40 macetas (cinco repeticiones por tratamiento) se procedió al trasplante extrayendo el cajete de la plántula de los semilleros y trasladando todo el bloque de tierra

(eliminado previamente un peso igual de suelo de las macetas), en ese momento se adicionó la otra mitad del riego inicial.

Se dispusieron dos lotes testigo por tratamiento, en las cuales no se colocaron plántulas.

A los 20 días del trasplante se realizó un clareo para dejar sólo una plántula por maceta, evitando así un posible proceso de competencia.

7.8. REGISTRO DE DATOS

La respuesta a los tratamientos se estableció a través del registro semanal de los siguientes parámetros: peso seco de la maceta (antes del riego); altura, diámetro mayor y menor de la planta, y tiempo floración y fructificación. Durante los últimos 60 días del experimento se registró la temperatura diaria en el invernadero.

7.8.1. Germinación y emergencia

Los porcentajes de germinación acumulados en cada pretratamiento se registraron cada dos días a partir del momento de la siembra y hasta completar 30 días (gráfica 1).

Por otra parte, el porcentaje acumulado de emergencia en los semilleros se registró cada dos días hasta el día 15 cuando emergieron todas las plántulas, posteriormente se realizó el trasplante.

7.8.2. Fenología

Para establecer la influencia de los tratamientos hídricos en la fenología de cada una de las plantas, se determinaron los tiempos de la floración, anthesis y fructificación promedio para establecer un diagrama fenológico de cada tratamiento.

7.8.3. Evaporación y transpiración

La cantidad de agua perdida entre dos riegos es el agua eliminada por el proceso de evapotranspiración (es decir el agua perdida por transpiración de la planta y por la evaporación del agua del suelo). El cálculo de la evapotranspiración en cada tratamiento se realizó en forma cuantitativa mediante la diferencia entre los pesos seco y húmedo de las macetas en dos diferentes tiempos consecutivos. De esta manera se estableció que:

$$ETR = mh(x) - ms(x+1)$$

donde: ETR= Evapotranspiración real (mm)

mh = Peso de la maceta después del riego (g)

ms = Peso de la maceta antes del riego (g)

x = Tiempo (Número de observación) (días)

Una vez establecida la cantidad de agua evapotranspirada, se procedió a determinar la porción de agua perdida específicamente por transpiración. Para este cálculo se utilizaron los valores de evapotranspiración de cada tratamiento y la cantidad de agua perdida por los lotes testigo (los cuales al no tener planta, la pérdida de agua es únicamente por evaporación), de esta manera se tiene:

$$TR(t) = ETR(t) - PT(t)$$

donde: TR: Cantidad de agua transpirada por la planta (mm)

ETR: Cantidad de agua evapotranspirada (mm)

PT: Cantidad de agua perdida en los lotes testigo (mm)

t: Tratamiento

7.8.4. Volumen

El volumen de cada planta, definido como el espacio promedio ocupado por las aristas de las estructuras vegetales, y evaluado al final del experimento, se obtuvo indirectamente a través de la fórmula de volumen para un cono. Esto es,

$$V = (1/3) (d)(h)$$

donde: V= volumen de la planta (cm³)

d= diámetro promedio de la planta (cm)

h= altura de la planta (cm)

7.8.5. Biomasa y contenido de agua en las plantas

Para determinar la biomasa, a los 182 días de la siembra se extrajo la planta completa liberando cuidadosamente las raíces del suelo, y se realizó un corte en la base de cada individuo para separar la parte aérea de la parte subterránea, evitando pérdidas significativas. Se pesaron ambas partes inmediatamente después de ser extraídas (biomasa en peso húmedo). Posteriormente las partes aérea y subterránea de cada planta se colocaron en una estufa a 50 °C hasta obtener un peso constante (biomasa en peso seco).

El contenido de agua se determinó mediante la diferencia de pesos entre la biomasa húmeda y la biomasa seca.

7.8.6. Perfiles hídricos

Para cada tratamiento se tomaron muestras de suelo a diferentes profundidades. Cada muestra fue pesada inmediatamente después de ser tomada y posteriormente se colocaron en una estufa a 60°C durante 48 horas para obtener la masa del suelo seco. La diferencia entre estos dos pesos indica el contenido de humedad a lo largo del perfil.

7.8.7. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados estadísticamente en el paquete SAS PC versión 6.03, mediante la prueba de rangos estandarizados de Tukey (HSD).

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

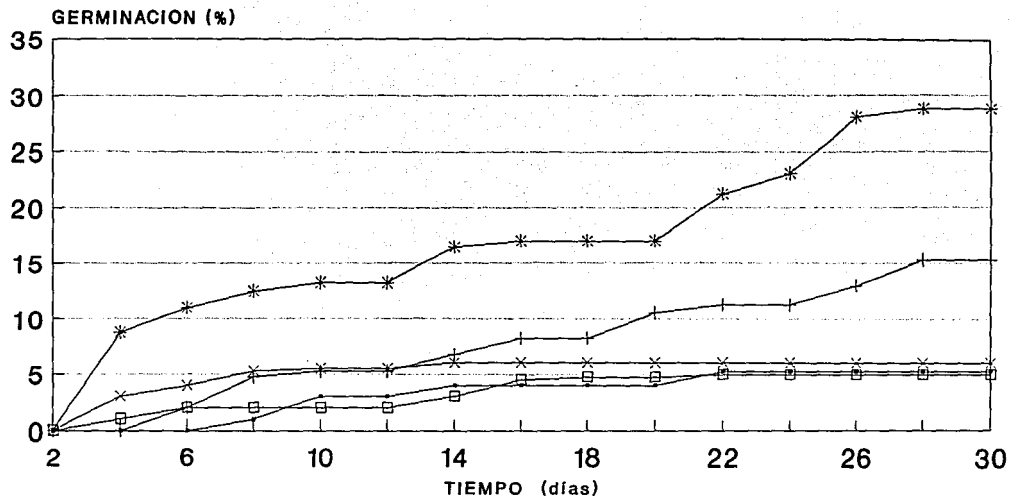
8.1. GERMINACIÓN

La gráfica 1 muestra los porcentajes de germinación obtenidos en cada ensayo; en ella se observa que las semillas sumergidas en agua durante 24 horas y posteriormente colocadas a una temperatura de 30 °C producen el mayor porcentaje de germinación (28%) durante un periodo de 26 días, Moreno (1984) menciona que la humedad es esencial para las semillas ya que la germinación se inicia con la imbibición de agua, el reblandecimiento de la cubierta y el hinchamiento de los coloides con lo cual los alimentos insolubles de la reserva alimenticia de la semilla son hidrolizados a compuestos sencillos aprovechables por el embrión de la semilla. Asimismo, todas las especies vegetales poseen un rango de temperatura específico que permite asegurar la iniciación de los procesos fisiológicos que se suceden en la germinación debido a que en las reacciones químicas el descenso de la temperatura reduce la actividad de las moléculas reaccionantes (Cronquist, 1989); para *Bouteloua gracilis*, Kemp y Williams (1980) mencionan que se encuentra adaptada a temperaturas cálidas con un rango de entre 25 y 40 grados centígrados como óptimos para la germinación.

Comparativamente, las semillas que fueron solamente sumergidas en agua producen la segunda mejor respuesta con un promedio de 16% de germinación en 28 días; este resultado confirma que las semillas requieren de humedad permanente, probablemente para disolver inhibidores. Asimismo, se ha reportado que el proceso de germinación no se encuentra determinado por la acción aislada de un factor físico, sino que requiere de la acción conjunta de la humedad, temperatura y oxígeno entre otros para inducir los procesos fisiológicos de la semilla (Miller, 1967).

Las semillas escarificadas producen los porcentajes más bajos de germinación (5 y 6%), debido a que al eliminar las cubiertas de la semilla por fricción, en algunos casos probablemente se dañó el embrión.

Con base en estos resultados y teniendo en cuenta que los experimentos posteriores se colocaron a temperatura ambiente, se eligió el pretratamiento de imbibición y germinación a temperatura ambiente para las semillas utilizadas.



PRETRATAMIENTOS

— TESTIGO

—+— IMBIBICION

—*— IMBIBICION a 30°C

—□— ESCARIFICACION

—x— ESCARIFICACION A 30°C

Gráfica 1: Porcentajes de germinación de *B. gracilis* en cada pretratamiento

8.2. EMERGENCIA

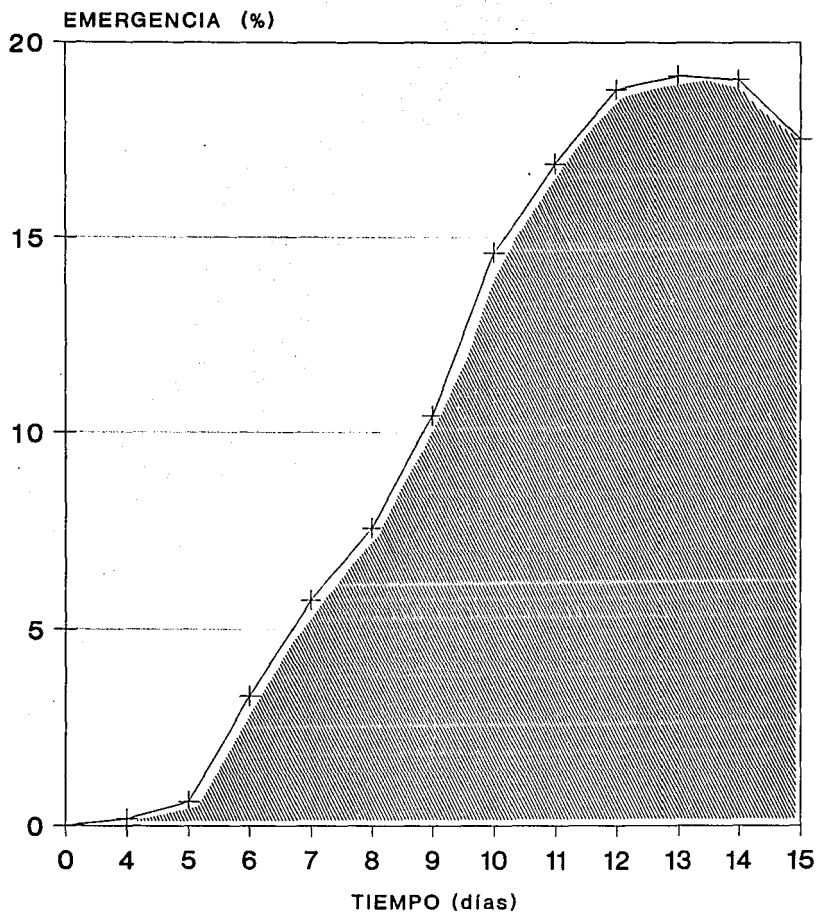
Una vez establecido el pretratamiento adecuado para las semillas, se colocaron semilleros a capacidad de campo con 50 semillas cada uno. A partir de este momento se inició el conteo de plántulas emergidas por día, para establecer los porcentajes de emergencia. La gráfica 2 muestra la curva de emergencia obtenida, alcanzando el porcentaje máximo (18%) alrededor del día 13 después del cual se inicia la senescencia y muerte de las plántulas más débiles debido a la falta de espacio dentro de los semilleros (posiblemente se dio un proceso de competencia entre las mismas plántulas).

Riegel (1982) establece que las semillas de *Bouteloua gracilis* emergen entre 3 días y dos semanas después de haber sido sembradas.

8.3.FENOLOGIA

Orozco (1989) menciona que los efectos del déficit hídrico se manifiestan principalmente en el estado fenotípico de los individuos sometidos a estas condiciones, es decir, sobre las características externas de los vegetales, debido a que la economía del agua hacia el interior de la planta provoca una estructura más compacta, disminuye el crecimiento vegetativo y retarda, en ocasiones, el inicio de la floración, aunque induce un mayor crecimiento de raíces con el fin de alcanzar regiones húmedas profundas y de compensar el déficit hídrico.

El crecimiento vegetativo y el desarrollo de estructuras reproductivas marcaron de manera definitiva las diferencias entre los tratamientos (gráfica 3). En el tratamiento más seco (90 mm) las plántulas con 40 mm de riego inicial no sobrevivieron hasta el final del experimento, en el caso del tratamiento con 20 mm iniciales las plántulas se debilitaron hasta morir al final del tratamiento debido a un proceso rápido de desecación del suelo que inhibió el desarrollo vegetativo hasta la muerte de la planta. Ries y Svejcar (1991) establecen que debe existir una reserva húmeda suficiente durante 2 a 8 semanas para que las plántulas de *B. gracilis* puedan establecerse. De esta manera, el agua evaporada entre cada riego no permitió el humedecimiento total de la capa superficial, ni la acumulación de una reserva suficiente de agua para la sobrevivencia de la planta, la cual aún no había desarrollado el vigor y las raíces adventicias necesarias para soportar la falta extrema de agua; aún las reservas hídricas (20 y 40 mm) proporcionadas con el riego inicial se perdieron rápidamente por el proceso de evaporación. Se observa que no existen diferencias significativas entre los riegos iniciales de este tratamiento. (en la gráfica 3, letras diferentes



Gráfica 2: Porcentaje acumulado de emergencia de *Bouteloua gracilis*

implican diferencias significativas con $p \leq 0.05$), respecto a la variable de respuesta: biomasa seca total.

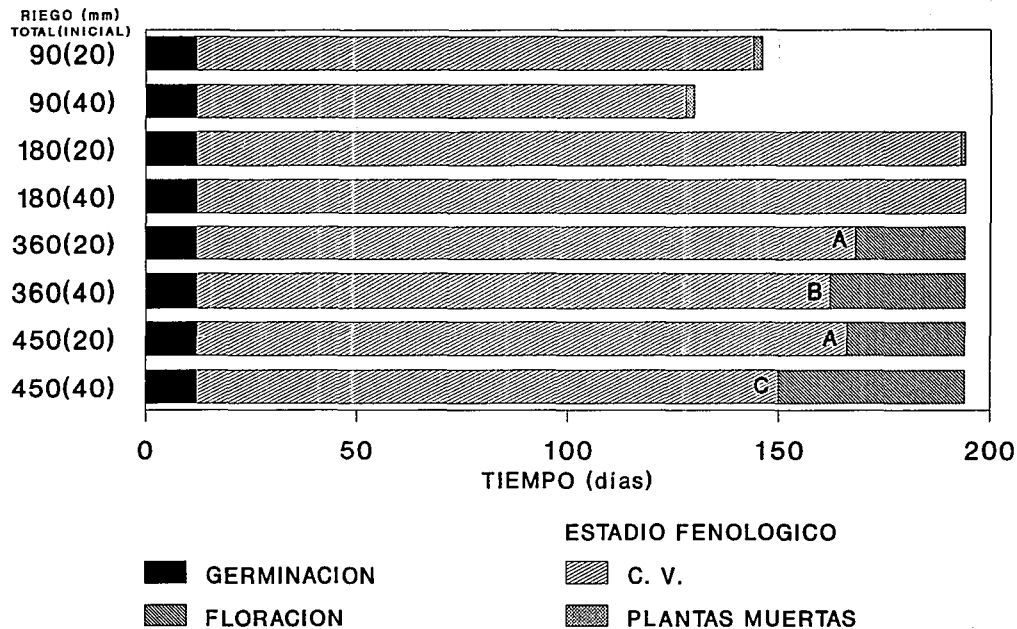
El tratamiento de 180 mm presentó marcadas diferencias entre los riegos iniciales según lo muestra el análisis estadístico. En efecto, con respecto a la fenología de *B. gracilis*, en el caso de aporte inicial de 20 mm, las plantas tuvieron un comportamiento semejante al tratamiento más seco (90 mm), es decir, no sobrevivieron hasta el final del experimento debido a que la tasa de evaporación fue mayor que el aporte hídrico suministrado. Sin embargo, en el caso del aporte inicial de 40 mm de este mismo tratamiento, las plántulas sobrevivieron utilizando la reserva hídrica aportada al inicio del tratamiento que fue suficiente para sostener el crecimiento vegetativo de las plantas (gráfica 8), aquí la mortalidad fue de 100 %. Hale y Orcutt (1987) mencionan que la falta de agua tiene un profundo efecto en el crecimiento y calidad de la planta. El primer efecto del déficit puede ser la pérdida de turgencia que afecta la velocidad de expansión de las células y limita su tamaño, el resultado es un decremento en: a) la tasa de crecimiento, b) la elongación del tallo y c) la expansión de las hojas (Hsiao, 1973). Lo anterior puede explicar el lento crecimiento de las plantas en el tratamiento de 180 con 40 mm iniciales.

Una reserva hídrica es importante cuando el aporte hídrico es irregular o escaso, ya que la planta puede disponer de ella habiendo desarrollado un sistema radical suficiente para poder alcanzarla (Deming, 1979); en este caso hubo una capa superficial seca del suelo casi permanente, sin embargo las plantas de *B. gracilis* utilizaron la reserva hídrica que les permitió desarrollar una estructura lo suficientemente fuerte para resistir la falta de agua entre cada riego.

En los regímenes hídricos de 360 y 460 mm las plantas se desarrollaron hasta alcanzar la etapa de floración (gráfica 3), se observaron diferencias significativas en el tiempo de inicio de la antesis entre estos dos tratamientos. Marani y Amirav (1971) encontraron que una reserva hídrica durante la floración previene el estrés hídrico y trae como consecuencia el aumento del crecimiento vegetativo y la aparición de una mayor cantidad de puntos de floración y fructificación.

Como se puede observar en el fenograma (gráfica 3), los tratamientos con reservas hídricas de 20 mm presentaron un retardo semejante en la antesis (aproximadamente 18 días), lo cual implica que en esta etapa del desarrollo la falta de agua se traduce en un retraso sensible del desarrollo (Kozłowski, 1983), por lo que una reserva hídrica profunda disponible permite una continuidad en el aporte hídrico para su desarrollo. El tratamiento de 450 mm con 40 mm de riego inicial es el primero en presentar la etapa de floración (alrededor del día 150), seguido por el tratamiento de 360 mm con

Gráfica 3: Fenograma de *Bouteloua gracilis* bajo 4 tratamientos hídricos.



Nota: Letras diferentes implican diferencias significativas en el tiempo de la antesis.
C.V.: Crecimiento vegetativo

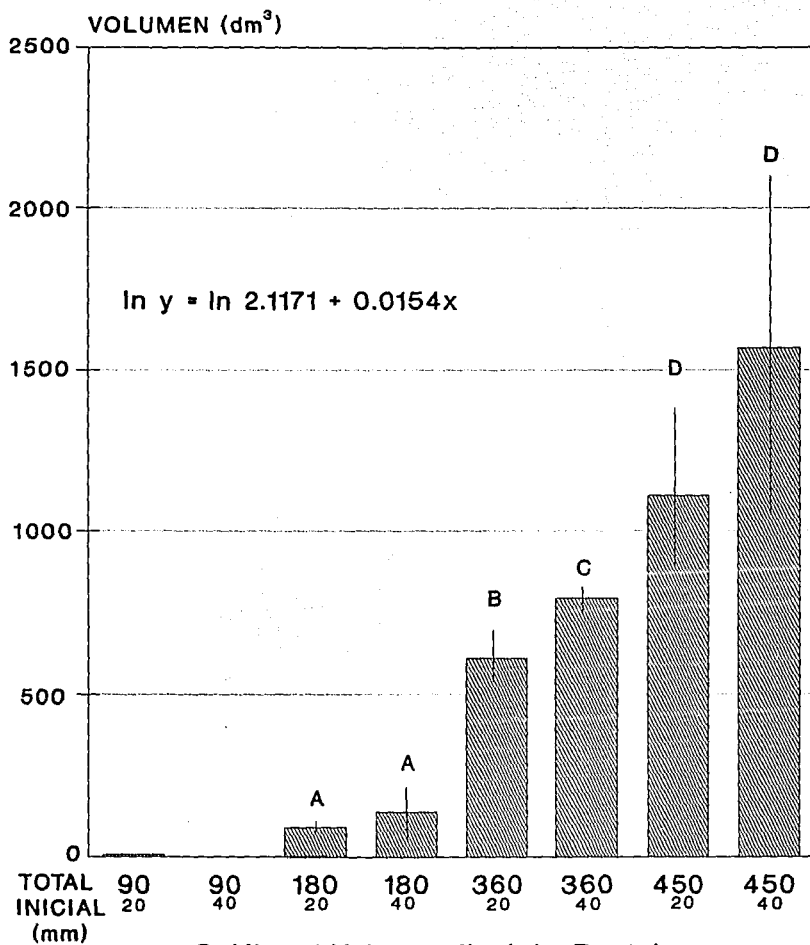
riego inicial de 40 mm que inició la floración aproximadamente en el día 160, es evidente que el mayor aporte hídrico total (450 mm) indujo un desarrollo más rápido que en el caso del aporte de 360 mm. Una comparación estadística muestra una diferencia significativa entre los tiempos de inicio de la floración en el tratamiento de 360 mm con 40 mm iniciales respecto al tratamiento de 450 mm con 40 mm iniciales. En ambos casos (360 y 450 mm) florece primero el tratamiento con aporte hídrico inicial de 40 mm.

Es necesario resaltar que esta falta de agua pudo retardar la aparición de estructuras reproductivas, como afirman Mott y colaboradores (1982) quienes encontraron que el inicio de la aparición de los primordios florales se retarda cuanto más bajo es el nivel de humedad. Por ello, no se descarta que en un período más largo pudiera establecerse la etapa de antesis y floración en las plantas que no la presentaron.

8.4. VOLUMEN

Al término del experimento se evaluó el volumen final de las plantas sobrevivientes. La gráfica 4 muestra las diferencias establecidas entre los tratamientos y se observa que en el tratamiento 90 mm totales (40 mm iniciales) no existió registro de volumen debido a que todas las plántulas murieron antes de finalizar el experimento (el aporte hídrico no fue suficiente para mantener el desarrollo vegetativo de las plantas sometidas a este régimen). En el tratamiento 90(20) sobrevivieron solo dos plantas con muy poco vigor (reflejado en el volumen de la planta) que al final murieron. La prueba estadística reporta que no existen diferencias significativas entre estos dos tratamientos. A este respecto, Kramer (1974) y Stuart (1991) afirman que los efectos más visibles del estrés hídrico son la reducción en el crecimiento de los individuos y en ocasiones la muerte de las plantas cuando la falta de aporte hídrico se prolonga por un período largo.

En el tratamiento con 180 mm de aporte hídrico total se observa que las plantas ocupan un volumen mayor que en el tratamiento anterior, sin embargo, el volumen alcanzado es reducido (88.7 cm³ para 20 mm iniciales y 136.2 cm³ para 40 mm iniciales) a consecuencia de que el aporte hídrico es apenas suficiente para la sobrevivencia de las plantas y no se promueve un crecimiento rápido de las mismas; a este respecto Riegel (1982) establece que, bajo condiciones de estrés hídrico, *Bouteloua gracilis* tiende a desarrollar tallos pequeños y láminas débiles, con crecimiento lento, por lo que el volumen ocupado por las aristas en el desarrollo de la biomasa aérea será menor que en los casos donde la humedad no es un factor limitante. Los riegos iniciales dentro de este tratamiento no presentan diferencias significativas.



Gráfica 4: Volumen final de *Bouteloua gracilis* bajo 4 tratamientos hídrico

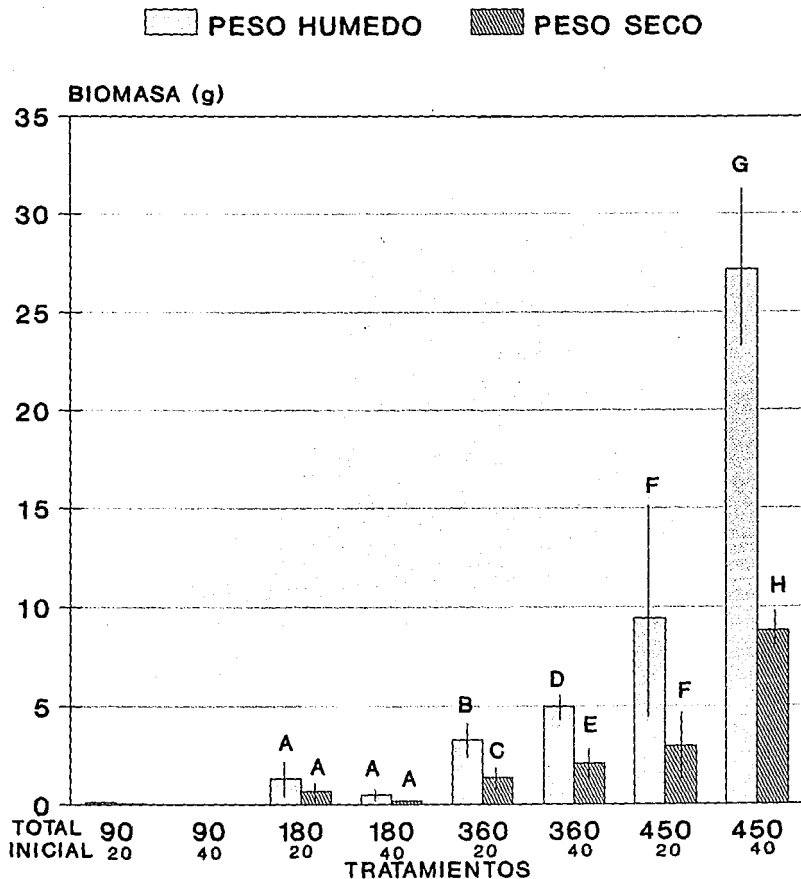
El tratamiento de 360 mm fue el único que presentó diferencias significativas entre los riegos iniciales (en la gráfica 4, letras diferentes implican diferencias significativas con $p \leq 0.05$), obteniéndose un volumen mayor en el caso de 40 mm, con respecto al caso de 20 mm iniciales. Este resultado implica que la reserva hídrica es utilizada por la planta cuando las capas superficiales pierden agua por evaporación. En el tratamiento más húmedo (450 mm) se obtienen los valores más altos en cuanto a volumen debido a que, cuando el balance hídrico interno es favorable y la expansión celular no es limitada por un déficit hídrico (cuando no existe estrés hídrico y bajo condiciones de invernadero) se incrementa la altura, el área foliar y el peso fresco de la planta (Kozlowski, 1983). En este caso no se encontraron diferencias significativas entre los riegos iniciales, aunque este tratamiento presenta diferencias significativas en volumen y biomasa con respecto a los otros tratamientos (ver gráfica 4).

Existe una relación entre el aporte hídrico y el volumen ocupado por la planta que se ajusta a un modelo potencial ($r=0.9374$) (gráfica 4), de tal manera que en los tratamientos más secos (90 y 180 mm), el volumen aumenta poco cuando se incrementa el aporte hídrico; sin embargo, en los tratamientos más húmedos (360 y 450 mm) el incremento del volumen es mayor cuando el riego aumenta.

8.5. BIOMASA

En la gráfica 5 se muestran los resultados obtenidos en la determinación de la biomasa en peso húmedo y en peso seco. Podemos observar que la biomasa húmeda manifiesta diferencias más marcadas entre los tratamientos porque existe mayor acumulación de agua en los tejidos, donde la disponibilidad hídrica es mayor (Hale y Orcutt, 1987). En el caso de los aportes hídricos menores la cantidad de biomasa producida no sobrepasa los 5 gramos debido a que a menor disponibilidad de agua existe menor producción de materia orgánica (Mott *et al.*, 1972).

En el caso de la producción de materia seca las diferencias fueron menores debido a que una vez eliminada el agua acumulada en los tejidos, los valores expresan la cantidad de biomasa real y en ellos se observa que se mantiene un comportamiento que expresa que a mayor disponibilidad hídrica existe un mayor desarrollo estructural de los individuos en general (Greulach y Adams, 1990). El análisis estadístico reporta diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos: 450(40) y 360(20), tanto en peso seco como en peso húmedo.



Gráfica 5: Biomasa total de *Bouteloua gracilis* bajo 4 tratamientos hídricos

8.6. CONTENIDO DE AGUA EN LAS PLANTAS

Greulach y Adams (1990) mencionan que a mayor disponibilidad hídrica los tejidos vegetales tienden a ser más turgentes y de esta manera, la disminución de agua disponible ocasiona la sequía edáfica que afecta el crecimiento y origina una disminución en la superficie total de la planta (Larqué-Saavedra, 1989). Por ello, el contenido de agua en los tejidos se verá afectado por la disponibilidad hídrica en el suelo y, consecuentemente, por el estado fisiológico de la misma planta. La gráfica 6 muestra el contenido de agua existente en las plantas de cada tratamiento, es evidente que ante un régimen hídrico menor la planta crecerá menos y por lo tanto absorbe y retiene menos agua, esto da como resultado las diferencias entre el régimen más húmedo (450 mm) y los tratamientos restantes.

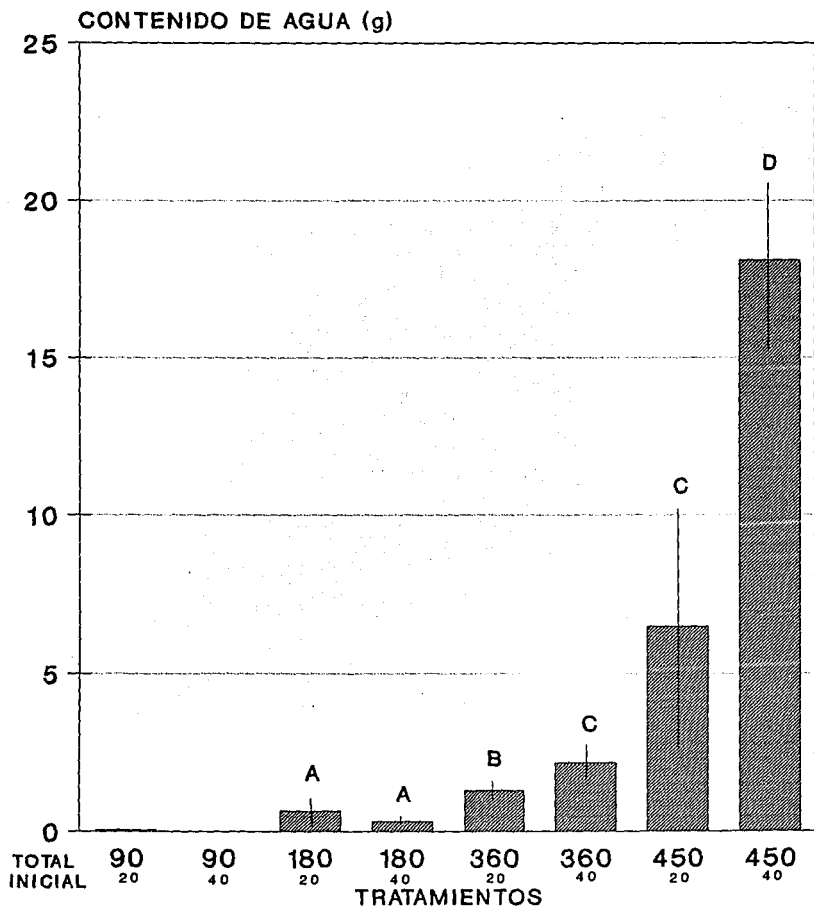
La escasa cantidad de agua obtenida en el tratamiento 180(40) es un reflejo de que las plantas que recibieron este aporte hídrico crecieron lentamente y produjeron poca biomasa. Es probable también que al ser transplantadas, las plántulas de este tratamiento tuvieran menos vigor, lo cuál se reflejó en su crecimiento y desarrollo posterior.

8.7. EVAPOTRANSPIRACIÓN Y TRANSPIRACIÓN

Sólo una fracción muy pequeña del agua absorbida del suelo es retenida en la planta de manera permanente, el resto se pierde principalmente por transpiración y por evaporación (fenómeno físico que resulta del escape de más moléculas de agua al aire de las que son devueltas del aire a la superficie evaporada) a la atmósfera (Greulach y Adams, 1990). La evaporación y la pérdida de agua por una planta viviente es llamada transpiración (Cronquist, 1986).

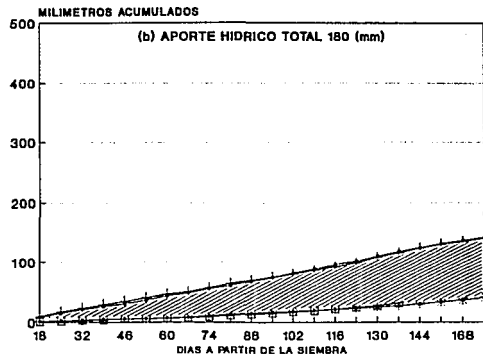
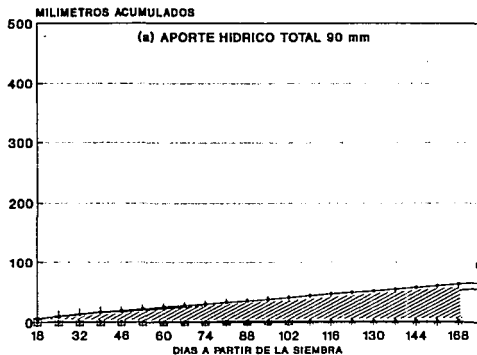
Las gráficas 7 a-d muestran la evapotranspiración y transpiración acumulada en cada tratamiento hídrico. En el tratamiento de 90 mm (gráfica 7-a), las plantas tuvieron un desarrollo y crecimiento insignificante desde su transplante (murieron antes de finalizar el experimento), por lo que los valores de transpiración son menores de 5 mm, representando una área casi imperceptible en la gráfica. El agua evapotranspirada corresponde casi totalmente al fenómeno de evaporación, y se puede observar que casi toda el agua aportada se perdió por este proceso impidiendo que se acumulara alguna reserva hídrica en el suelo; a este respecto Johnson y Aguirre (1991) mencionan que aunque el paso de agua de la planta al aire no es visible, los resultados de una pérdida excesiva de agua son notables. El marchitamiento de las plantas por la sequía se debe a que la planta pierde más agua de la que absorbe.

Gráfica 6: Contenido total de agua en plantas de *Bouteloua gracilis*



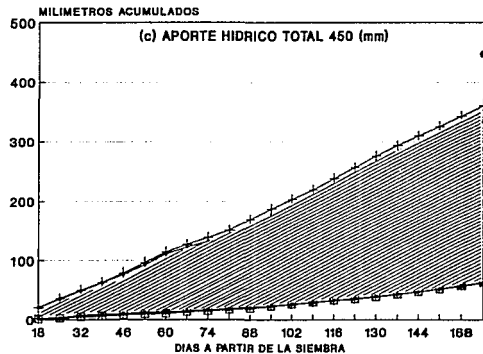
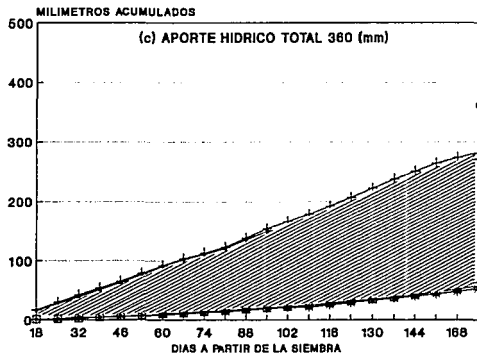
Nota: Letras diferentes implican diferencias significativas

Gráfica 7 (a-d): Evapotranspiración y transpiración acumuladas por tratamiento



▨ EVAPORACION

Evapotranspiración (20 mm iniciales)
 Evapotranspiración (40 mm iniciales)
 Transpiración (20 mm iniciales)
 Transpiración (40 mm iniciales)
 ● Aporte total



En los tratamientos restantes (gráficas 7 b-d), conforme se aumenta el aporte hídrico total la evapotranspiración tiende a presentar variaciones más visibles respecto a la transpiración. Lo anterior implica que cuando existe disponibilidad hídrica superior a la que la planta puede aprovechar, las pérdidas por evaporación son mayores porque el suelo ha llegado a su capacidad de campo y ya no retiene más agua.

Asimismo, en los tratamientos de 360 y 450 mm totales las plantas alcanzaron el estadio de floración manifestando plantas vigorosas y de mayor volumen, esto concuerda con lo mencionado por González (1981) en cuanto a que la transpiración es de gran importancia para el movimiento del agua a las hojas, para la captura de CO₂ y para el crecimiento celular.

El análisis estadístico muestra que no existen diferencias estadísticas entre los riegos iniciales de cada tratamiento respecto a la transpiración y evapotranspiración, sin embargo, entre los tratamientos las disimilitudes son más marcadas, principalmente en la evapotranspiración (ETR) que, como se mencionó, se encuentra determinada principalmente por el proceso de evaporación.

Muñoz *et al.* (1983) encontraron que cuando las condiciones son óptimas, las plantas transpiran más rápidamente si el contenido de humedad disponible en el suelo es alto. Al disminuir el porcentaje de agua en el suelo, el agua es sujeta con gran fuerza por éste, y si el suelo se acerca al estado de sequedad, es necesaria una fuerza de más de 10,000 atmósferas para extraer agua. Es por esto que las plantas del tratamiento mas seco (90 mm) tienen menos agua disponible y su transpiración es menor comparadas con los tratamientos mas húmedos (360 y 450 mm).

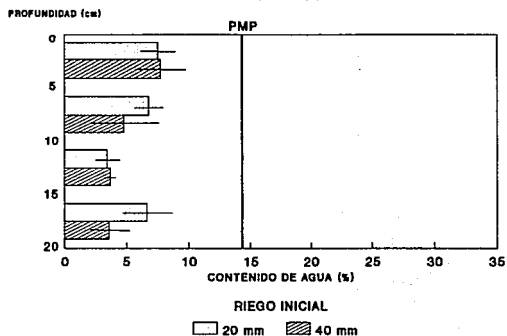
Durante los últimos 60 días del experimento (septiembre a octubre) se registró una temperatura media máxima de 35°C (± 5) y una temperatura media mínima de 15°C (± 3).

8.8. PERFILES HÍDRICOS

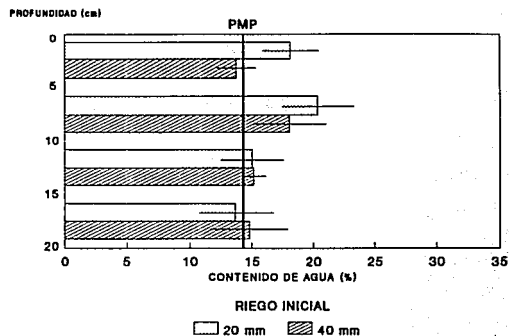
Los perfiles hídricos nos permiten observar el contenido de agua existente en diferentes fracciones del suelo, con lo que, es posible identificar si existen reservas hídricas y a que nivel se encuentran (Kramer, 1974).

La gráfica 8 muestra los perfiles hídricos obtenidos en cada tratamiento, en ella se graficaron conjuntamente los dos riegos iniciales de cada aporte hídrico total para observar las diferencias en el contenido de agua en cada capa y de esta manera determinar la existencia de una reserva hídrica en cada caso. El tratamiento de 90 mm no mostró diferencias estadísticas en el contenido de agua de cada una de las fracciones, sin embargo, se debe resaltar que el porcentaje hídrico existente

APORTE TOTAL 90 mm

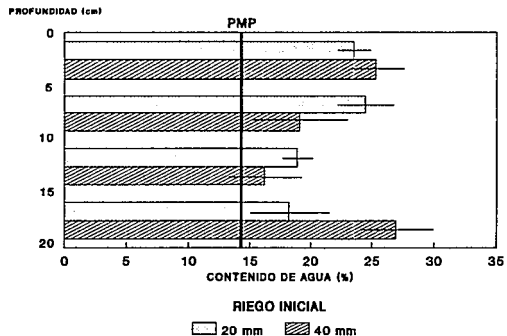


APORTE TOTAL 180 mm

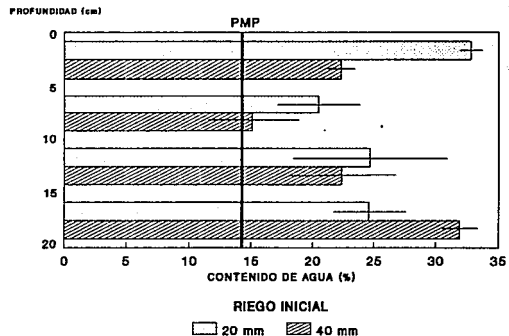


PMP: Punto de marchitez permanente

APORTE TOTAL 360 mm



APORTE TOTAL 450 mm



Grafica 8: Perfiles hídricos finales en cada tratamiento

se encuentra muy por debajo del punto de marchitez permanente por lo que el agua existente, denominada agua higroscópica (Greulach y Adams, 1990), no se encuentra disponible para la planta. Esto explica la muerte temprana de las plantas en este tratamiento, y su escaso crecimiento y desarrollo posterior al trasplante.

En el caso del tratamiento con 180 mm totales las fracciones presentan un contenido de agua ligeramente mayor al porcentaje de marchitez permanente (gráfica 8); esta escasa cantidad de agua disponible permitió la sobrevivencia de las plantas, aunque se indujo estrés hídrico a nivel de biomasa aérea. Se observa que entre los 5 y 10 cm de profundidad se encuentra la capa más húmeda del perfil, donde se estableció la mayor concentración de raíces. Por otra parte, no existe una reserva hídrica significativa en ninguno de los aportes iniciales de este tratamiento, por lo que es posible afirmar que la planta utilizó la humedad de las capas superficiales para su desarrollo y crecimiento.

El aporte hídrico de 360 mm sí presentó diferencias significativas entre sus riegos iniciales, con 20 mm se observa una capa superficial más húmeda debido a que los aportes en cada riego fueron mayores que en 40 mm (gráfica 8), sin embargo, en la fracción mas profunda no existe un contenido mayor de agua como para ser considerada una reserva hídrica, lo anterior se reflejó en el desarrollo de las plantas, las cuales se retrasaron en presentar la antesis. Por el contrario, en el caso de los 40 mm, en la capa profunda (15 a 20 cm) sí existe una reserva hídrica considerablemente diferente a las capas intermedias, lo que propició que no existiera estrés hídrico en las plantas de este tratamiento y se alcanzaran la etapa de floración (antesis) antes que en el tratamiento con 20 mm iniciales. La humedad existente en la capa superficial es consecuencia del riego aplicado dos días antes de tomar la muestra.

Finalmente, el tratamiento con 450 mm totales y 40 mm iniciales presenta una reserva hídrica profunda que se diferencia perfectamente de las capas restantes, las plantas de este tratamiento fueron las primeras en presentar la etapa reproductiva (antesis), además de desarrollar un sistema radical mayor (evaluado como biomasa producida) en la porción de 15 a 20 cm del perfil. En cuanto al aporte inicial de 20 mm, no se distingue una reserva hídrica, teniendo en cuenta que la capa superficial presenta mayor contenido de agua por el reciente riego aplicado (dos días antes de tomar la muestra).

8.9. EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA (WUE)

En la teoría económica, la tasa de interés sobre el capital es un índice de eficiencia, el cual aplicado al crecimiento de las plantas conduce a la tasa de crecimiento relativo. El aumento de peso seco de un genotipo será más grande a mayor tasa de crecimiento y esta

variación conducirá a una acumulación de materia seca (Larqué-Saavedra, 1989). En este sentido, la eficiencia en el uso del agua (WUE) se encuentra definida por el cociente entre la materia seca producida (en gramos) y la cantidad de agua evapotranspirada (en kilogramos) (Viets, 1962).

El cuadro 1 muestra los valores obtenidos de eficiencia en el uso del agua, se observa que ante una mayor disponibilidad de agua el cociente (WUE) tiende a incrementarse a consecuencia de un mayor desarrollo de las plantas (y específicamente de la producción de materia seca). En el caso del tratamiento 180 con 20 mm iniciales de aporte hídrico se obtiene un valor mayor de WUE (4.74) posiblemente debido a que ante un aporte de agua que apenas sobrepasa el punto de marchitez permanente, la planta tiende a utilizar mejor el recurso hídrico disponible en la generación de mas biomasa seca por kg de agua evapotranspirada.

Cuadro 1: Eficiencia en el uso del agua en cada tratamiento.

Tratamiento Total-Inicial (mm)	Biomasa en peso seco (g)	ETR (Kg)	WUE g/Kg	Desviación estándar (WUE)
90-20	0.05	0.06525	0.7663	0.130
90-40	*	*	*	*
180-20	0.18	0.13930	1.2922	2.712
180-40	0.67	0.14135	4.7400	0.561
360-20	1.36	0.27185	5.0028	1.854
360-40	2.09	0.28148	7.4108	2.376
450-20	2.97	0.33465	8.8899	2.001
450-40	8.80	0.36015	24.4343	5.672

* Las plantas de este tratamiento murieron antes de finalizar el experimento

ETR: Evapotranspiración real; WUE: Eficiencia en el uso del agua; s: Desviación estándar en cuanto a la WUE

El tratamiento de 90 (20) presenta un valor de WUE (0.7663) que se aproxima al valor medio obtenido por Tadmor *et al.*(1974) para un pastizal anual que es de 0.89 g MS/kg de agua ETR, por otra parte, Slatyer (1964) menciona que en zonas áridas el valor de WUE raramente es superior a 0.5; los datos anteriores expresan que aunque el aporte hídrico en este tratamiento fue muy limitado, la planta fue eficiente en la utilización de la poca agua disponible durante los periodos de riego. En condiciones naturales la WUE es mucho menor que en invernadero, ya que la evaporación es más alta en campo.

Biológicamente entre las plantas cultivadas existen diferencias metabólicas, fisiológicas, anatómicas y morfológicas que les permiten mayor o menor eficiencia en la utilización del agua. Así por ejemplo se conoce que plantas con metabolismo C₄ de fijación de bióxido de carbono son más eficientes en la utilización del agua, que aquellas con metabolismo C₃ (Hale y Orcutt, 1987). *Bouteloua gracilis* pertenece a las plantas clasificadas como C₄, lo que propicia una baja velocidad de foto respiración; por otra parte sus estomas son más eficientes al cerrarse durante las horas de mayor temperatura (durante el día) para evitar la pérdida excesiva de agua por transpiración (Riegel, 1982).

8.10. ESTABLECIMIENTO Y DESARROLLO DE *Bouteloua gracilis*.

Evans (1976) menciona que el establecimiento comprende el periodo entre la siembra y el desarrollo temprano de la plántula, integrando las fases de siembra, germinación, emergencia y crecimiento postemergente. En este sentido, los resultados obtenidos anteriormente indican que las plántulas de *Bouteloua gracilis* sometidas a los tratamientos de 180 (40), 360 y 450 pueden considerarse como establecidas, tomando en cuenta que alcanzaron un desarrollo vegetativo aceptable ecológicamente, (registrado como volumen y biomasa) y sobrevivieron hasta el final del experimento (Cuadro 2).

Fenner (1985) describe una planta instalada cuando ésta ha producido unidades reproductivas (vegetativas o sexuales). Los tratamientos citados en el párrafo anterior también se ajustan a esta definición ya que, en el caso de los regímenes más húmedos (350 y 460 en ambos aportes iniciales) sí se registró la etapa de floración (ver fenograma). En el caso de 180 mm totales y 40 mm de riego inicial no se registró antesis, aunque sí se observó la aparición de eje floral, lo cual presupone que en un período más largo las plantas de este tratamiento llegarían a reproducirse.

La influencia de los regímenes iniciales fue determinante para establecer los límites de aporte hídrico para la sobrevivencia y desarrollo de *B. gracilis*, de esta manera, los perfiles hídricos y la eficiencia en el uso del agua (WUE) reportan que bajo las condiciones mencionadas, el umbral mínimo de riego es de 180 mm totales con una reserva hídrica inicial de 40 mm, disponible para la planta cuando exista una sequía prolongada.

Se menciona que cuando una serie de plantas genéticamente idénticas crece en regiones diferentes, las características de cada individuo se desarrollan de acuerdo con el medio en que crecen, es decir se presentan ecotipos. El grado de plasticidad fenotípica, y por lo tanto las variaciones, fluctúan desde cambios importantes hasta modificaciones ligeras en la morfología (Lovett *et al*, 1988). La diferencia registrada en la fenología de las plantas de cada tratamiento puede ser un producto de las plasticidad fenotípica en *Bouteloua*

gracilis, ya que al existir una disminución gradual en el aporte hídrico la planta responde de varias formas como: 1) retraso en el tiempo de la antesis, 2) menor producción de biomasa, 3) mayor producción de raíces, 4) mayor eficiencia en el uso del agua por unidad de biomasa seca y 5) menor porcentaje de sobrevivencia.

En el cuadro 2 se registran los valores del cociente biomasa de raíces/biomasa aérea obtenidos en cada tratamiento, estas cifras indican que cuando hay escasez de agua, las plantas desarrollan mayor cantidad de biomasa radical en relación a la biomasa aérea producida, debido a que las raíces crecen para alcanzar capas húmedas en el suelo y aumentar la superficie de contacto (Orozco, 1989).

La gráfica 9 muestra la relación existente entre la biomasa en peso seco y la evapotranspiración, la cual se ajusta al modelo lineal (obteniendo una correlación de $r=0.8835$) indicando que estas dos variables son interdependientes; es decir que, cuando la biomasa aumenta, la cantidad de agua perdida por evapotranspiración se incrementa proporcionalmente debido a que la planta tiene mayor volumen.

CUADRO 2: Síntesis de las evaluaciones biológicas obtenidas en cada tratamiento.

Aporte Total (mm)	Aporte Inicial (mm)	Biomasa en peso seco (g)	Cociente Br/Ba (peso seco)	Contenido de agua (g)	Volumen (cm ³)	TRN (mm)	WUE (g/Kg)	Antesis (días)**	Supervivencia (%)	T. C. mg/ind./día
90 90	20 40	0.05 *	0.25 *	0.06 *	6.49 *	2.41 *	0.7663 *	- *	20 0	0.278 0.0
180 180	20 40	0.18 0.67	0.763 1.432	0.31 0.65	88.70 136.16	39.80 47.04	1.2922 4.7400	- -	40 100	1.000 3.722
360 360	20 40	1.36 2.09	0.679 0.737	1.31 2.20	611.45 793.70	53.18 57.76	5.0028 7.4108	170.8 173.2	100 100	7.555 11.589
450 450	20 40	2.97 8.80	0.384 0.725	6.47 18.09	1110.42 1568.87	63.27 63.82	8.8899 24.4343	172.5 149.2	100 80	16.528 48.889

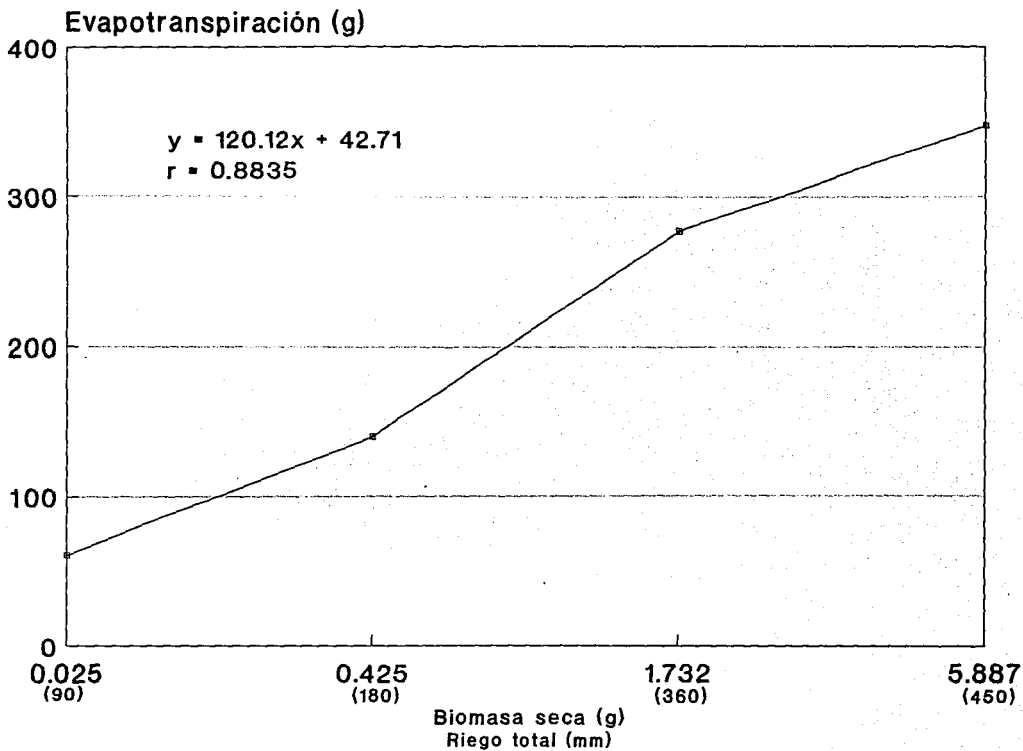
*: Las plantas de este tratamiento murieron antes de finalizar el experimento

** : Los días a la antesis se contaron a partir del momento de la siembra

- : No se alcanzó la etapa de antesis

Br: Biomasa de raíces; **Ba:** Biomasa aérea; **TRN:** Transpiración acumulada; **WUE:** Eficiencia en el uso del agua; **T.C.:** Tasa de crecimiento.

Gráfica 9: Relación biomasa seca- evapotranspiración



9. CONCLUSIONES

El pretratamiento germinativo más adecuado para las semillas de *Bouteloua gracilis* es la imbibición durante 24 horas y la incubación a 30°C.

La escasez de agua influye de manera determinante en el desarrollo fenológico de *B. gracilis*, inhibiendo el desarrollo vegetativo y retrasando la antesis.

El volumen y la biomasa varían de manera directamente proporcional a la cantidad de riego, ya que a mayor aporte hídrico existe una mayor producción de materia orgánica y los límites ocupados por las aristas se extienden en igual proporción a la disponibilidad de agua.

Cuando existe mayor cantidad de agua disponible los tejidos acumulan más humedad, por lo que las plantas del tratamiento más húmedo (450 mm totales y 40 mm iniciales) registraron el mayor contenido total de agua en las plantas.

Se establece que cuando el contenido hídrico del suelo es mayor al volumen de agua utilizada por la planta, las pérdidas por el proceso de evaporación son mayores, por lo que en el tratamiento más húmedo (450 mm totales) existe mayor área de evaporación con respecto al más seco (90 mm total). Los aportes iniciales en cada tratamiento no afectan de manera significativa los procesos de evaporación y evapotranspiración.

Bouteloua gracilis presenta una alta eficiencia en el uso del agua (WUE) ante una mayor disponibilidad de agua en el suelo y la planta tiende a aumentar esta eficiencia al producir mayor cantidad de biomasa seca por kilogramo de agua a portado en los rangos experimentales aplicados.

La reserva hídrica, constituida por el riego inicial en cada tratamiento, influye directamente en el establecimiento y desarrollo fenológico de *Bouteloua gracilis*, encontrándose que el tratamiento con 180 mm totales y 40 mm iniciales es el límite mínimo de aporte hídrico para esta especie bajo condiciones de invernadero.

Lo anterior apoya la hipótesis propuesta, por lo que existirá un mayor porcentaje de establecimiento cuando el sustrato contenga una reserva hídrica inicial disponible para la planta, que cuando ese mismo aporte hídrico sea distribuido en el tiempo.

10. RECOMENDACIONES

El presente trabajo esta dirigido a complementar los estudios que se han producido sobre la biología de *Bouteloua gracilis*, así como establecer algunos requerimientos ecológicos (como los requerimientos hídricos), que permitan desarrollar proyectos sobre la utilización de esta especie en la revegetación de zonas áridas.

Con el objetivo de ampliar la información generada, se propone que este experimento se repita, extendiéndolo a un periodo de 12 meses para obtener la etapa de fructificación (maduración de semilla), y de esta manera observar si los regímenes hídricos influyen de alguna manera en la calidad de las semillas. Por otra parte, es posible generar un planteamiento experimental similar para su aplicación en campo, centrandó la problemática en la creación de reservas hídricas en el suelo bajo condiciones naturales.

Asimismo, es posible aplicar este diseño experimental a otras especies de gramíneas, para evaluar su respuesta ante un déficit hídrico.

11. LITERATURA CITADA

- ARCHER, S. (1989). Have southern Texas sabanas been converted to woodland in recent history?. *The American Naturalist*. 134(4):545-561.
- BEETLE, A.A. (1987). *Las gramíneas de México. Tomo II. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos de México. México. 163 pp.*
- CALDERÓN DE R.G. (1960). Notas sobre la flora y la vegetación del estado de San Luis Potosí VII. Vegetación en el Valle de San Luis Potosí. *Ac. Cient. Potos.* 4(1): 5-112.
- CALL, C.A. AND B.A. Roundy. (1991). Perspectives and process in revegetation of arid and semiarid rangelands. *Journal of Range Management*. 44(6):543-549.
- CARREN, C.J.; A.M. WILSON AND R.I. CUANY. (1987). Caryopsis weight and planting depth of blue grama. II. Emergence in marginal soil moisture. *Journal of Range Management*. 40 (3):212-216.
- CASTILLO O., A.;M. A. GARDUÑO; J.L. TOVAR Y J.L. OROPEZA. (1988) El recurso hídrico en el manejo integral de una cuenca semiárida en el estado de Hidalgo. *Agrociencia* 73:125-136.
- CONTRERAS J., J. (1979). Efectos de la fertilización con nitrógeno y fósforo en un pastizal mediano de navajita (*B. gracilis*), en su segundo año, en el municipio de Villa Coronado, Chih. Tesis de licenciatura. I.T.E.S.M. Monterrey, N.L. 150 pp.
- COUPLAND, R.T. (1950). Ecology of mixed prairie in Canada. *Ecol. Monogr.* 20:271-315.
- CRONQUIST, A. (1989). *Botánica básica. Compañía Editorial Continental. México. 655 pp.*
- CUEVAS, R.A. (1975). *Apuntes de agrostología. I.T.E.S.M. Monterrey, N.L. 58 pp.*
- DAINTHITH, J. (1983). *Diccionario de biología. Editorial Norma. Bogotá, Colombia.342 pp.*

- DEMING, H.G. (1979). El Agua. Un recurso insustituible. Ediciones Nuevomar, S.A., México. 343 pp.
- DYE, A.J. (1972). Carbon dioxide exchange of blue grama sward in the field. En: Herbage Abstracts 1974 vol. 44 (5).
- EVANS, L.T.; I.F. WARLAW AND C.N. WILLIAMS (1964). Environmental control of growth. En: Grasses and grasslands. Bernard, C. (ed.). London MacMillan, p.107.
- EVANS, T.R. (1976). The establishment and management of tropical pastures of beef production. En: Memoria del seminario internacional de ganadería tropical. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Banco de México, S.A. FIRA. Acapulco Gro. pp. 51-86.
- FENNER, M. (1985) Seed ecology. Chapman and Hall. London.
- GARCIA, E. (1973) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía. U.N.A.M México, D.F.
- GENTRY, H.S. (1957). Los pastizales de Durango. Estudio ecológico, fisográfico y florístico. Ed. del Inst. Mex. Rec. Nat. Renov. México, D.F. 361 pp.
- GONZALEZ, A.C. (1981). Tasas avapotranspirativas y efecto de variar los niveles de humedad del suelo en el rendimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 145 pp.
- GOULD, F.W. (1965). Chromosome numbers in some mexican grasses. Bol. Soc. Bot. Mex. 29:49-62.
- GREULACH, V.A. y J.E. ADAMS (1990). Las Plantas. Introducción a la botánica moderna. Limusa, México. 679 pp.
- HALE, M.G AND D.M. ORCUTT. (1987). The physiology of plants under stress. John Wiley & Sons. U.S.A. 206 pp.

- HANSON, H.C. AND W. WHITMAN (1937). Plant succession on solonetz soils in western north Dakota. *Ecol.* 18:516-522.
- HERNANDEZ X., E. (1959-1960). Zonas agrostológicas de Chihuahua. *Agricultura Técnica en México.* 3:6-7, 42-43.
- HERNANDEZ X, E.; R. CLAVERAN A. Y F. MARTINEZ M. (1961-1962). Estudios cuantitativos de los pastizales de Chihuahua y Zacatecas. *Sobretiro de Agricultura Técnica en México.* 12:21-24.
- HERNANDEZ X., E. (1964). Los pastizales de las zonas áridas y semiáridas del centro y noreste de México. *Xolocotzia* tomo II. UACH, México. 426 pp.
- HERNANDEZ X., E. (1979). Los pastos. En: "Ciclo de Conferencias para conmemorar el XXV aniversario del Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables (IMRNR)". México, D.F. pp. 93-124.
- HERNANDEZ X., E. (1987). Zacates indígenas. *Xolocotzia* Tomo II. UACH, México. 356 pp.
- HILL, M.S. (1980). Semilleros de gramíneas templadas: factores de formación en: *Producción moderna de semillas.* Hebblethwaite, P.D. Hemisferio Sur. Tomo I 173-188 pp.
- HITCHCOCK, A.S. (1959). *Manual of the grasses of the united states.* U.S.D.A. Miscellaneous Publication No. 200 1051 pp.
- HSIAO, T.C. (1973). Plant responses to water stress. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 24:519-570.
- HYDER, D.N., EVERSON, y R.E. BEMENT (1971). Seedling morphology and seedling failures with Blue Grama. *J. Range Manage.* 24:287-292.
- JOHNSON, D.A. y L. AGUIRRE (1991). Effect of water on morphological development in seedlings of three range grasses: Root branching patterns. *Journal of Range Management.* 44(4):355-360.

- KEMP, P.R. AND G.J. WILLIAMS (1980). A physiological basis for niche separation between *Agropyron smithii* (C₃) and *Bouteloua gracilis* (C₄) en: *Ecology* 61(4): 846-858 .
- KOZLOWSKI, T.T. (1983). Water deficits and plant growth. Volume VII. Academic Press. New York. 251 pp.
- KRAMER, P.J. (1974). Relaciones hídricas de suelos y plantas. Centro regional de ayuda técnica. México. 538 pp.
- LANGER, R.H. Y E. ARNOLD. (1970). Como crecen las gramíneas. Estudios en biología No. 34. Instituto de Biología. 59 pp.
- LARQUE-SAAVEDRA, A (1989). El agua en las plantas cultivadas. Centro de Botánica. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México 117 pp.
- LOVETT, J.D. AND L.D. LOVETT (1988). Plant reproductive ecology. Patterns and strategies. Oxford University Press. N.Y. 344 pp.
- MANUALES PARA EDUCACION AGROPECUARIA (1990). Pastizales Naturales. Area: Producción Vegetal. Trillas. México. 52 pp.
- MARANI, A. AND A. AMIRAV. (1971). Effects of soil moisture stress on two varieties of upland cotton in Israel. III. The bet Shean Valley. *Exp. Agric.* 7:289-301.
- McKELL, C.M. (1972). Seedling vigor and seedling establishment. En: V.C. Youngner V.B. y C.M. Mckell (eds.). *The biology and utilization of grasses*. Academic. New York pp 74-89.
- MILLAR, C.E.; L.H. TURK y H.P. FOTH (1971). Fundamentos de la ciencia del suelo. C.E.C.S.A., México. 231 pp.
- MILLER, E.V. (1967). Fisiología vegetal. Union Tipográfica Editorial Hispano Americana, México. 344 pp.

- MORENO, M., E. (1965). Análisis agrostológico de la zona ganadera de Cananea. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Méx. 112 pp.
- MORENO, E. (1984). Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de Biología. U.N.A.M. México. 383 pp.
- MOTT, J.J. AND A.J. McCOMB (1972). Effects of moisture stress on the growth and reproduction of three annual species from an arid region of western Australia. *Journal of Ecology* ---:825-834.
- MULLER, C.H. (1947). Vegetation and climatic of Coahuila. *Madroño*. 9:33-57.
- MUÑOZ O.A.; K.R. STEVENSON; J. ORTIZ C.; G.W. THURTELL Y A. CARBALLO. (1983). Transpiración, fotosíntesis, eficiencia en el uso del agua y potencial hídrico en maíces resistentes a sequía y heladas. *Agrociencia*. 51:115-153.
- OROZCO, A. M. (1989) Estimaciones de la resistencia a la sequía. En: "El agua en las plantas cultivadas". A. Larque-Saavedra (ed.). Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo-Montecillo. México. pp. 15-17.
- OROZCO A., M.S. (1994). Efecto de la profundidad de siembra y la fertilización en el establecimiento de tres zacates forrajeros. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 106 pp.
- ORTIZ L., C.E. (1977). Efecto del fósforo en praderas permanentes durante el primer año de cultivo. Tesis profesional UACH. Chapingo, México. 120 pp.
- PEARSON, C.J. AND R.L. ISON. (1987). *Agronomy of grassland systems*. Cambridge University Press. Gran Bretaña. 169 pp.
- PEÑA R., A. Y A.M. OROZCO (1988). Respuestas de tres especies cultivadas a condiciones deficientes de humedad edáfica. *Agrociencia*. 73:231-243.
- POHL, R.W. (1978). *How know the grasses*. Third edition. The pictured key nature series Wm. C. Brown Company Publishers. Dubuque, Iowa.

- PRIETO, I. Y S. ROJAS (1991). Producción de semilla de zacate navajita (*Bouteloua gracilis* H.B.K. Lag.) en un pastizal nativo libre de pastoreo. Tesis de licenciatura. U.A.CH. Chapingo, México. 62 pp.
- REED, J.L. AND D.D. DWYER (1971). Blue grama response to nitrogen and clipping under two soil moisture levels. *Jour. Range Manage.* 24(1):47-51.
- RICHARDS, L.A. AND C.H. WADLEIGH. (1952) Soil water and plant growth. In: "Soil physical Conditions and Plant Growth" B. T. Shaw (ed.). Academic Press. New York. pp 73-251.
- RIEGEL, A. (1982). Life history and habits of blue grama. *Transactions of the Kansas Academy of Science.* 44:76-85.
- RIES, R.E. AND T.J. SVEJCAR (1991). The grass seedling: When is it establishment?. *Journal of Range Management.* 44:574-576.
- RIVAS M., I.V. (1988). Cambios en el vecindario de *Bouteloua gracilis* por la exclusión del pastoreo en "El gran Tunal". San Luis Potosí. Tesis Profesional. Universidad Autonoma de Chapingo. Estado de México.
- RODRIGUEZ, F.G. Y S.A. GAVANDE. (1976). Evaluación de las características hidrológicas y climáticas con fines de producción de algunos cultivos de zonas áridas. UAAAN. Saltillo, Coah., México. Monografía Técnica Científica 2:562-623.
- ROJAS, M., P. (1965). Generalidades sobre la vegetación del estado de Nuevo León. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. U.N.A.M. 105 pp.
- RZEDOWSKI, J. (1966). La vegetación de Nueva Galicia. *Contributions from the Univ. Mich. Herb.* 9(1): 1-123.
- RZEDOWSKI, J. (1968). Las principales zonas áridas de México y su vegetación. *Bios* 1:4-24.
- RZEDOWSKI, J. (1983). Vegetación de México. *Limusa.* México. 433 pp.

- SALA, O.E.; W. K. Lauenroth, P.P. Reid. (1982). Water relations: A new dimension for niche separation between *Bouteloua gracilis* and *Agropyron smithii* in North American semiarid grasslands. *Journal of Applied Ecology*. 19:647-657.
- SLATYER, R.O. AND J.A. MABBUTT. (1964). Hidrology of arid and semi-arid regions. En: *Handbook of applied hydrology*. Van Te Chow (ed.). McGraw-Hill. Book Cie New-York, London. pp 24-26.
- SANCHEZ, O.S. (1980). La flora del Valle de México. Herrero, S.A. México. 516 pp.
- TADMOR, N.H.; G. ORSHAN AND E. RAWITZ (1962). Habitat analysis in the Negev desert of Israel. *The Bulletin of the research council of Israel*. XI(3):148-173.
- STUART, CHAPIN III F. (1991). Integrated responses of plants to stress. *Bioscience*. 41:29-36.
- VEIHMEYER, F.J. y A. H. HENDRICKSON. (1959). Soil moisture in relation to plant growth. *Annual Review Plant Physiology*. 1:285-304.
- VIETS F.G. (1962). Fertilisers and efficient use of water. *Advances agron*. 14:223-265.
- WEAVER, J.E. AND F.W. ALBERTSON (1956). resurvey of grasses, forbs and underground plant. *Ecol. Monogr*. 13(1): 63.117.
- WEAVER, J.E. AND F.E. CLEMENTS (1929). *Plant ecology*. New York McGraw-Hill p. 404-405.
- WESTOBY, M. (1980). Elements of vegetation dynamics in arid rangelands. *Israel Journal of Botany*. 28:169-194.
- WHALLEY, R.D.B.; C.M. McKELL AND L.R. GREEN (1966). Seedling vigor and the non-photosynthesis stage of seedling growth in grasses. *Crop. Sci*. 6:147-150.
- WILSON, A.M. y D.D. BRISKE (1979). Seminal and Adventitious root growth of Blue Grama seedlings on the Central Great Plains. *J. Range Manage*. 32: 209-213.

YOUNGBERG, H. M. AND R.J. BAKER (1985). Grass and legume seed production en:
Forages the science of grassland agriculture. Headth, M.E.; Baines, R.F. and
Metcalf, D.S. 4a edition. Iowa State University Press. 72-88 pp.