

ECOFISIOLOGÍA, ADAPTACIÓN Y PRODUCCIÓN DE PASTURAS TROPICALES EN SUELOS INUNDABLES

ECOFISIOLOGÍA, ADAPTACIÓN Y PRODUCCIÓN DE PASTURAS TROPICALES EN SUELOS INUNDABLES

JORGE VÁZQUEZ GÓMEZ
FRANCISCO MELÉNDEZ NAVA

2022



Ecofisiología, adaptación y producción de pasturas tropicales en suelos inundables

Primera edición, 2022.

Dirección Editorial: Luis Adrián Maza Trujillo

Diseño Editorial: Hilda Herrera Hernández

Diseño de portada: José Rodolfo Mendoza Ovilla

ISBN: 978-607-561-135-8



D.R. 2020 Universidad Autónoma de Chiapas
Boulevard Belisario Domínguez km 1081, sin número, Terán,
C. P. 29050, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana
con número de registro de afiliación: 3932

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, así como su transmisión por cualquier medio, actual o futuro, sin el consentimiento expreso por escrito de los titulares de los derechos. La composición de interiores y el diseño de cubierta son propiedad de la Universidad Autónoma de Chiapas.

Impreso y hecho en México

Printed and made in Mexico

TABLA DE CONTENIDO

PRESENTACIÓN

PRÓLOGO

CAPÍTULO I

ORIGEN Y FORMACIÓN DEL SUELO

1.1. Origen del suelo.	23
1.2. Procesos en la formación de suelos.	23
1.2.1. Meteorización de las rocas	24
1.2.2. Los procesos formadores del suelo	27
1.3. Desarrollo del suelo	28
1.3.1. Tipos y formas de humus.	29
1.4. Otros procesos en la formación de suelos.	30
1.4.1. Meteorización física	30
1.4.2. Meteorización química.	31
1.4.3. Meteorización química de las rocas.	33
1.4.4. Efecto del cambio climático en los suelos de Latinoamérica y el Caribe (LAC)	34
Bibliografía	37

CAPÍTULO II

FÍSICA DE SUELOS

2.1. Perfil de suelo	41
2.1.1. Horizontes.	41
2.2. Textura	42
2.2.1. Textura y distribución granulométrica	43

2.2.2. Composición mineralógica de las partículas del suelo	43
2.2.3. Fracciones arena y limo	43
2.2.4. La fracción arcilla	44
2.3. Estructura física	48
2.3.1. Estructura del suelo	48
2.4. Régimen hídrico	51
2.4.1. Las necesidades de agua de los cultivos	51
2.4.2. El agua útil de un suelo	52
2.4.3. Crecimiento y transpiración	54
2.4.4. Crecimiento y uso del agua	54
2.4.5. Estructura del suelo	55
2.4.6. Agua del suelo	57
2.4.7. El agua en el suelo	58
2.5. Temperatura del suelo	59
2.6. Régimen térmico del suelo	59
2.6.1. Fuentes y transferencia de calor	59
2.7. La atmosfera del suelo	60
2.7.1. Aireación del suelo y actividad microbiana	61
2.7.2. Aireación del suelo y crecimiento de los cultivos	62
2.8. Profundidad.	63
2.9. Efecto de la pendiente en la producción de forrajes	66
Bibliografía	67

CAPÍTULO III

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

3.1. Mineralogía	71
3.2. El intercambio iónico. Reacciones de superficie: Absorción e intercambio iónico	72
3.2.1. Posición de los elementos químicos en el suelo	72
3.3. Capacidad de intercambio catiónico	73
3.3. 1. Cationes intercambiables	75
3.4. Reacción del suelo (ph), acidez y basicidad	76

3.5. Salinidad y sodicidad	79
Bibliografía	80

CAPÍTULO IV

MATERIA ORGÁNICA Y MICROBIOLOGÍA DEL SUELO

4.1. Materia orgánica	83
4.1.1 Humus	83
4.2. Microbiología de la rizosfera	84
4.3. Población microbiana	86
4.3.1. Bacterias	86
4.3.2. Actinomicetos	86
4.3.3. Hongos	86
4.4. Mineralización de la materia orgánica	88
4.4.1. Enzimas del suelo	89
4.5. Microorganismos benéficos: Fijadores de nitrógeno y micorrizas	90
4.5.1. Micorrizas	90
4.6. Mineralización del nitrógeno orgánico del Suelo	92
4.6.1. Nitrificación	92
4.6.2. Fijación simbiótica de nitrógeno por leguminosas	93
4.7. La vida en el suelo. Los organismos y sus interacciones	93
4.7.1. Acciones benéficas de los microorganismos en la rizosfera	104
4.8. Fertilidad de suelos	110
4.8.1. Importancia	110
4.8.2. Factores que la alteran	110
4.8.3. La dinámica de la materia orgánica en el suelo	112
4.9. La solución del suelo	119
4.9.1. Equilibrios líquido-gas en suelos	120
4.9.2. La fase gaseosa del suelo	121
4.9.3. Suelos inundados	123
4.10. Química de los suelos inundados	124

4.10.1. Concentración y difusión del oxígeno	125
4.10.2. Producción de gases	126
4.11. Los suelos inundados como fuente de emisión de metano, un gas de efecto invernadero	127
4.11.1. Proceso de producción de metano en suelos inundados (caso: el arroz)	128
4.11.2. Metano CH ₄	129
4.12. El cultivo del arroz y la emisión de gases de efecto invernadero	131
4.13. El suelo: Un recurso natural, diverso y complejo	132
Bibliografía	136

CAPÍTULO V
SUELOS DE MÉXICO

5.1. Los suelos tropicales	146
5.1.1. El suelo forma parte del medio ambiente	146
5.1.2. Conclusión	150
5.2. Suelos tropicales residuales	150
5.2.1. La meteorización tropical.	151
5.2.2. Los suelos gleysoles.	152
5.3. Origen de las inundaciones	154
5.3.1. Zona llanura de inundación	160
5.3.2. Descripción general	161
5.3.3. Los suelos gleysoles de Tabasco	162
5.3.4. Gleysoles mólicos (GLmo)	163
5.3.5. Gleysoles úmbricos (GLum)	164
5.3.6. Gleysoles éútricos (GLEu)	164
5.3.7. Gleysoles dístricos (GLdy)	165
5.3.8. Gleysoles húmicos (GLhu)	166
5.3.9. Gleysoles plinticos (GLpl).	166
5.3.10. Asociación de Gleysoles éútricos, Gleysoles mólicos e Histosoles sápricos (GLEu-GLmo-HSsa).	166

5.4. Praderas y sábanas inundadas	167
5.5. Pastos adaptados a suelos inundados	170
5.6. Pasan las inundaciones, quedan los nutrientes	172
5.7. Adaptación y evaluación de la tolerancia a la inundación en gramíneas forrajeras tropicales.	173
5.7.1. Las plantas evolucionan para adaptarse a las inundaciones	173
5.8. Los suelos en el cambio climático	177
5.8.1. Los suelos, la regulación del clima y los inundados	177
5.8.2. Pérdida de carbono orgánico del suelo	177
5.8.3. Emisiones de óxido nitroso del suelo	179
5.9. Formación de suelos trópicos	180
5.9.1. Efecto de las condiciones anaeróbicas	181
5.9.2. Suelos hidromórficos (Gley)	181
5.9.3. Suelos gley de agua subterránea.	182
5.9.4. Gleys de agua superficial (inundados)	183
5.9.5. Suelos tropicales lavados.	183
5.9.6. Formación	184
5.9.7. Procesos de formación de suelos tropicales	186
5.10. Aerénquima asociado a la adaptación a los suelos sobre saturados o inundados.	186
5.10.1. Respuesta bioquímica de las plantas a la inundación.	186
5.10.2. Aerénquima de las plantas acuáticas bajo exceso temporal de agua	188
Bibliografía	192

CAPÍTULO VI
LA PLANTA FORRAJERA

6.1. Anatomía y morfología de las gramíneas forrajeras	200
6.1.1. La raíz tiene varias funciones	201
6.1.2. Tipos de tallos	202
6.1.3. Hojas	203

6.1.4. Función de la vaina	204
6.1.5. Ubicación	204
6.1.6. Collar	205
6.1.7. Aurículas.	206
6.1.8. Lámina o limbo (hoja).	206
6.1.9. Flor.	207
6.2. Estructura, fitómeros y zonas o puntos de crecimiento en gramíneas forrajeras	207
6.3. Efectos del nitrógeno en algunos rasgos morfológicos de las pasturas	209
6.4. El efecto de la temperatura ambiental sobre rasgos morfológico de las gramíneas forrajeras	211
Bibliografía	212

CAPÍTULO VII
ECOFISIOLOGÍA DE LAS PASTURAS

7.1. Conceptos generales	219
7.2. Condiciones ambientales que definen la adaptación y productividad forrajera	220
7.2.1. Clima	223
7.3. Relación Clima-Pastura.	225
7.3.1. Radiación solar.	225
7.3.2. Efecto de la sequía e inundación sobre el crecimiento de las pasturas	229
7.4. Relación animal-pradera	235
7.4.1. Efecto del animal sobre la pradera	235
7.5. El rebrote	238
7.5.1. Factores responsables del rebrote	238
7.5.2. Términos técnicos relacionados con el rebrote.	239
7.5.3. Otros factores que determinan el rebrote	240
7.5.4. Efectos de la defoliación	241
Bibliografía	242

CAPÍTULO VIII

LA FOTOSÍNTESIS Y LAS VÍAS FOTOSINTÉTICAS

8.1. Vías fotosintéticas entre especies de plantas	250
8.2. Otros efectos de la fotosíntesis C ₄ : Significación para las plantas que la poseen	256
8.3. Diferencia en la calidad nutricional de las pasturas C ₃ y C ₄	257
8.3.1. Valoración nutricional, composición química, estructura y digestibilidad	258
8.3.2. Consumo de forraje pastos	261
8.4. Diferentes especies	264
8.4.1. Otras especies de pastos	272
Bibliografía	281

CAPÍTULO IX

LA GANADERÍA TROPICAL EN LATINOAMÉRICA

9.1. Características	289
9.2. Relación clima tropical-bovinos	294
9.3. Efectos del animal pastante sobre las praderas	297
Bibliografía	298

CAPÍTULO X

LAS ESPECIES FORRAJERAS Y SU ADAPTACIÓN A SUELOS INUNDADOS CON ÉNFASIS A UROCHLOA

10.1. Urochloa	303
10.2. Urochloa humidícola en la ganadería racional, características, producción de forrajeras tropicales en diferentes ambientes	305
10.3. Ventajas y desventajas de urochloa para la ganadería	307
Bibliografía	312

CAPÍTULO XI
PRODUCCIÓN DE LECHE Y CARNE CON
ESPECIES FORRAJERAS TROPICALES

Bibliografía 320

CAPÍTULO XII
LA PRODUCCIÓN DE FORRAJES EN LA TIERRAS
BAJAS DEL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO

12.1. Características de la especies forrajeras de áreas inundables. . . . 333
Bibliografía 424

PRESENTACIÓN

Hay señalamientos que para el año 2050 se requerirán alimentos para una población mundial calculada en al menos 9,700 millones de personas y se prevé que un gran porcentaje de esta demanda sea abastecida por los países en desarrollo de América Latina y África. Para el caso de México se estima que para ese año se alcance 150 millones de habitantes, actualmente rondando los 129 millones. Para responder a este desafío con éxito estos países deben realizar desde ahora varias acciones necesarias como las siguientes:

1. Mejorar la productividad agrícola sustentable haciendo más eficiente y sostenible el uso de los recursos naturales, especialmente agua y suelo.
2. Conservar los recursos naturales como la vegetación, tanto en su biodiversidad como en cobertura.
3. Preservar las condiciones atmosféricas en su condición normal actual y evitar el cambio climático anunciado, que altera los ecosistemas y, con ello, el riesgo de no producir los alimentos requeridos y los insumos agroindustriales que serán demandados en el futuro.
4. Generar tecnologías de corte agroecológico de mayor rendimiento que eleven la producción sin deteriorar el medio ambiente actual.

México, a consecuencia de su crecimiento poblacional, el mejoramiento del nivel de vida e ingreso económico en los estratos medios y superior, ha dado un mayor poder adquisitivo de sus alimentos tradicionales de

más calidad nutricional y aceptación como los diversos tipos de carnes, entre estas las de ganado vacuno. Algo semejante sucede con la leche bovina, otro producto de gran demanda por su calidad, precio y tradición en la dieta de los mexicanos.

Tales preferencias, junto a la creciente exportación de toretes para engorda hacia los Estados Unidos, ha obligado a nuestro país a incrementar el tamaño del hato nacional vacuno. Para elevar la producción de carne y leche bovina de zonas tropicales se recurrió, al igual que en todo el mundo, al incremento de la población vacuna a la par de la calidad genética que permita elevar su producción y productividad animal, en este caso, la ganadería llamada de doble propósito (carne y leche).

México, por su posición geográfica, orográfica, diversidad de climas y suelos, posee una amplia superficie con clima tropical, si bien, existe en sus partes elevadas en altitud y latitud zonas frías-templadas donde predomina la cría de ganado lechero a base de razas europeas especializadas. Para propósito de esta publicación se enfocará principalmente en el recurso edáfico, particularmente en los suelos que sufren inundaciones periódicas estacionales y que a la vez son aprovechados en la producción de alimentos de origen agrícola (arroz) o pecuario (carne y leche bovina, producidas a partir de pasturas). De igual manera, solo se abordarán las regiones tropicales donde la cría bovina para carne y leche, en especial la de carne, se da preferentemente bajo pastoreo en praderas tolerantes al clima cálido-húmedo, donde coexiste gran diversidad de tipos de razas y cruza bovinas, de especies forrajeras y sistemas de manejo y producción animal. Para el caso bovino para carne, en la región tropical, predomina ampliamente el sistema de pastoreo, donde ocupan con mayor importancia las especies de pastos que mejor se adapten a las condiciones de suelo y clima principalmente. Esto ha llevado a que los productores estén a la búsqueda constante de mejores especies forrajeras que les brinden mayor producción de forraje y calidad nutricional que alimente mejor al ganado y este

eleve su productividad en carne, leche y crías sin necesidad de utilizar alimentos concentrados industrializados, con excepción de las sales mineralizadas. A la par, estas exigencias de los productores también obligan a que la investigación agrícola genere nuevas variedades de pasturas, que sustituyan a las especies tradicionales y lo que ha llevado a la aparición de ecotipos forrajeros mejorados, que cumplen la demanda señalada.

Dentro de la diversidad de género, especies y sus cruzas conocidas y utilizadas continuamente aparecen nuevos híbridos (ecotipos) que cumplen mejor los requerimientos de los ganaderos. Dentro de los más destacados tenemos los géneros de la familia de las *Poaceas*, *Urochloa*, *Pennisetum*, *Cynodon* y *Megathyrsus*. En otro orden de ideas, México posee más de 1.7 millones de hectáreas inundadas llamadas marginales, cuyas características particulares exigen un uso y manejo diferente a la mayoría de los suelos bajo pradera común. Estos suelos marginales, para este caso, son los llamados suelos inundados o anegados parcialmente (de varias semanas a meses), cuyas características físico y químicas especiales exigen el uso de especies forrajeras adaptadas al exceso de agua, que puedan ser pastadas con bovinos (y búfalos), además de aprovechar estas áreas, frecuentemente improductivas, en obtener carne, leche y crías que genera un mayor ingreso económico a sus poseedores y contribuya al abasto nacional de estos productos bovinos de gran demanda alimentaria y agroindustrial.

Si bien existen variedades de pastura adaptadas a estos suelos inundados, sobresale el género *Urochloa* en sus diferentes ecotipos, que hay y están demostrando ser superiores a las otras en su adaptación y rendimiento de forraje de buena calidad nutricional, razones por lo cual son objeto del presente estudio. En cuanto al abasto, consumo, exportación e importación de carne y leche bovina, de acuerdo con FIRA (2019), señalan que en el 2018 México produjo 1.98 millones de toneladas de carne bovina en canal y para el 2019 llegó a 2.03 millones t^1 . Por su parte, el consumo nacional de carne vacuna fue de 1.87 millones t^1 , y

para el 2019 alcanzó a 1.9 millones t^{-1} . El consumo per cápita de carne de res bajó de 10.9 kg en 2018, a 8.8 kg anuales en 2019, a consecuencia de su mayor precio al consumidor. Desde el 2015 México posee superávit en su balanza comercial de carne de bovino al exportar 79 mil toneladas en 2018 con tendencias a crecer. En lo que toca a leche bovina, nuestro país produjo en el 2018 12,000 millones de litros y para 2019 llegaron a 12, 276 millones. La producción de leche nacional ha sido históricamente insuficiente para el consumo nacional y tenemos que recurrir a la importación. Así, en el 2018 consumimos 15,288 millones de litros e importamos 3.3 millones. A su vez, México exporta leche evaporada, condensada y yogurt, pero a la par importó leche en polvo por 362.8 miles t^{-1} .

Bibliografía

- Conapo (2018). *Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas 2016-2050*.
- FIRA (2019). *Panorama Agroalimentario Leche y Lácteos*. México.

PRÓLOGO

Escribir un libro no es lo mismo que publicar un artículo científico. Mientras un libro es la integración del conocimiento filtrado a través de los años y de los avances de la ciencia, un artículo científico es dar a conocer los logros más recientes de un área específica del conocimiento estudiado.

Así, mientras un libro se integra a lo largo del tiempo, un artículo suele difundir conocimientos parciales y temporales es común cambiar o hacer ajustes continuos, sea confirmando lo señalado o difundiendo nuevos logros descubiertos a veces diferente y hasta contradictorio a lo que antes se dio como un hecho. Un libro se forma a partir de los artículos que la investigación arroja y lo acepta como un hecho.

Por ello, esta publicación hemos partido de un razonamiento ampliamente aceptado por investigadores y autores, que hay conocimientos que se mantienen como válidos a través del tiempo, si bien con ciertos ajustes y por lo tanto es correcto señalarlos, tal es el caso de la Teoría de Darwin sobre la evolución de las especies (1859), el Triangulo de las texturas (1967) o la clasificación de los suelos de Boul, et. al 1981, entre otros. Y bajo este punto de vista hemos citado a autores y libros de años atrás.

También usamos el criterio aceptado “que para saber a dónde va, primero tienes que conocer de dónde vienes” y sería incorrecto no citar publicaciones válidas solo porque son añejas.

O bien para entender Fertilidad de suelos y su manejo primero tienes que saber que es el suelo, sus componentes y sus interacciones.

De igual manera para comprender y manejar correctamente la producción agrícola como un todo, primero tiene que ser agrónomo general y luego hacerse especialistas.

Por otro lado, debe recordarse que la investigación formal en regiones tropicales a nivel mundial y especial la nacional sobre la agricultura, ganadería y en particular las praderas incluyendo las selvas, se realizó mucho después que las regiones templadas y semidesérticas, por lo tanto, las publicaciones sobre trópico húmedo han sido escasas, incluso aún existen muchas áreas del conocimiento sin abordar a cabalidad, tal es el caso de suelos inundados, pastos y ganadería, agricultura tropical y los ecosistemas forestales y/o drenaje.

También debe recordarse que la investigación tropical en México se inició formalmente con la fundación del Colegio Superior de Agricultura Tropical (CSAT), allá por 1965, en H. Cárdenas, Tabasco, como apoyo al ambicioso programa de riego llamado “Plan Chontalpa”, en Tabasco, que abarcaba alrededor de 300 mil hectáreas de suelos inundados en épocas de lluvias para cultivar maíz, arroz, cacao y otros cultivos tropicales incluyendo la ganadería, sin embargo, ya estando en marcha la apertura de tierras para drenar, detectaron la falta de tecnología y de expertos agrícolas, pecuarios y agroecólogos, lo que llevó a crear el CSAT. Es por ello que la disponibilidad de información generada por la investigación sobre la agricultura, ganadería y pastos tropicales son escasos, como lo reconocen Bucio, Ramos y Meléndez (2018).

Recordemos que el Plan de riego de la Chontalpa consistía en drenar esas 300 mil hectáreas y fue diseñado por la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos del Gobierno Federal.

Se desmontaron las primeras 80 mil hectáreas y se abrieron la red de drenaje para eliminar el exceso de agua. Sin embargo, esto no sucedió y las tierras permanecieron anegadas, debido a que el elevado contenido y tipo de arcilla, no permitía se diera el flujo del agua interna hacia los drenes y los cultivos programados para establecer maíz y frijol no prosperaron y ello ocasionó la suspensión del ambicioso plan.

Este fracaso fue atribuido a que faltó el criterio de los ingenieros agrónomos que saben la agricultura tropical y el manejo del suelo quienes dominan el movimiento interno del agua en las tierras inundadas para propósitos agrícolas, lo que derivó que solo el arroz y los pastos fueran los únicos cultivos que prosperaron.

El otro fracaso fue la producción de leche usando vacas Holstein puras de alto rendimiento, pero no adaptados al elevado calor y humedad atmosférica tropical y junto al daño que provocan las garrapatas que abundan en los trópicos, también ocasionaron que este programa abortara.

Tal fracaso lechero se atribuyó a que en su diseño no participaron ni los Ing. Agr. Zootecnistas ni los MVZ, además en ese entonces prácticamente se desconocía el efecto del elevado calor y alta humedad ambiental sobre el ganado europeo.

Nota: La bibliografía de este apartado está en la sección final del libro titulada "PRINCIPALES OBRAS RECOMENDADAS PARA CONSULTAS".

En Reconocimiento y agradecimiento a quienes impulsaron la investigación y formación de recursos humanos en forrajes tropicales en México

Colegio Postgraduados

Efraím Hernández Xolocotzi †

ENA-Chapingo

Dr. Ramón Claverán Alonso

FIRA-INIA

Dr. Ángel Ramos Sánchez †

CSAT-INIA

Dr. Jorge Pérez Pérez †

CSAT-Colegio Postgraduados

Dr. Alfonso Hernández Garay †

CAPÍTULO I

ORIGEN Y FORMACIÓN DEL SUELO

ORIGEN Y FORMACIÓN DEL SUELO

1.1. Origen del suelo

El suelo puede describirse como un material natural complejo, derivado de la descomposición de rocas y materiales orgánicos. Los componentes principales son minerales, materia orgánica, agua y aire. Estos se encuentran en cantidades variables en el suelo. El desarrollo de los suelos a partir de los componentes de la roca madre es un proceso a muy largo plazo (miles o millones de años) donde actúan procesos físicos, químicos y biológicos.

Factores de formación del suelo:

1. Material madre.
2. Clima, temperatura y humedad.
3. Organismos vivos: animales y plantas (macro y microscópicos).
4. Topografía.
5. Tiempo-período durante el cual el material madre ha sido sujeto a la formación del suelo.

1.2. Procesos en la formación de suelos

Los suelos se forman a partir de la roca madre que sufre procesos de intemperización y la desintegración química y física de las rocas y minerales contenidos en la capa superficial de la litósfera.

Boul et al (1981) señalan que la intemperización de los materiales originales que precede a la formación de los suelos, en el caso de las rocas duras, mantiene una reacción, un proceso continuo durante el desarrollo de los suelos a lo largo de millones de años. La intemperización tiene lugar bajo el *solum* (suelo) y en el *solum* mismo. Por lo cual, se presentan

dos tipos de intemperización: la geoquímica y la edofoquímica. La intemperización geoquímica es la que tiene lugar más bajo *solum* (esto en el horizonte C), mientras que la intemperización edafoquímica es la desintegración y la modificación química de los minerales que se producen en el interior de la capa superficial del suelo (horizonte A y B), junto con todos los procesos biológicos y de otro tipo asociados a la formación de suelos.

En la intemperización geoquímica intervienen reacciones como la oxidación, la reducción y la combinación de ambas en ciclos alternativos, la hidratación, la disolución y la hidrólisis. Mientras que en la intemperización edafoquímica se suceden reacciones de tipo de óxido-reducción; cambio alternativo del aluminio y de otros minerales, de las estructuras arcillosas a los óxidos hidratados en los sitios de intercambio; salida de potasio de las micas; incorporación de aluminio a las capas intermedias de minerales arcillosos tipo 2:1, entre otros fenómenos que forman parte del proceso llamado intemperización. (Boul et al.,1981).

1.2.1. Meteorización de las rocas

Los suelos se desarrollan durante la alteración química o descomposición de las partículas minerales de las rocas o depósitos superficiales. Se considera una fase de transición en los lentos cambios de minerales inestables a estados químicos más estables con pérdida simultánea de materiales solubles. Sin embargo, esta descomposición por sí sola no es suficiente para diferenciar el material original como suelo en vez de ser simplemente como una roca descompuesta o meteorizada. Generalmente, solo se considera como suelo al material donde se establecen las plantas y sus residuos, junto con los de animales edáficos (macro y micro) asociados, que se añaden a la roca descompuesta, generando así un medio biológico que permite la proliferación de más plantas y microflora. Por lo tanto,

el factor distintivo del suelo es la presencia de la materia orgánica. A su vez, los residuos orgánicos son descompuestos continuamente y con relativa rapidez por los organismos del suelo. Muchas de las partículas minerales también se descomponen, pero a un ritmo mucho más lento.

El concepto suelo se diferencia muy bien de una roca, esta se define como el material mineral inorgánico que cubre la superficie terrestre y, por lo tanto, incluye comúnmente parte del suelo. La roca puede ser dura y sólida como el granito, tepetate (caliza) u otras rocas consolidadas, o puede ser suelta y sin consolidar como la grava, arena o arcilla, en cuyo caso se llama regolita. Puede considerarse que un suelo es la parte de la regolita que se diferencia de esta debido a la presencia de materia orgánica que estimula la actividad biológica.

Se reconocen dos amplios procesos de formación de suelos: 1. La acumulación de material suelto en la superficie; y 2. La organización de este material en capas diferenciadas u horizontes. El proceso de cambio en el material rocoso, denominado meteorización, es una combinación compleja continua de destrucción y síntesis. La roca y las partículas minerales pueden sufrir desintegración física sin cambio en su composición química. El proceso de disgregación de las partículas depende de la aplicación de algunos factores, tal como las fuerzas de expansión y contracción debido a los cambios de temperatura o humedad; por crecimiento de cristales como el hielo; por actividad vegetal y animal; por la presión interna que resquebraja las rocas entre las principales. En la mayoría de los ambientes, los cambios importantes en la roca y los minerales del suelo son la descomposición como consecuencia de los agentes atmosféricos e hidrológicos. Además, estos cambios de composición pueden estar acompañados de desintegración física.

Este grupo de procesos de meteorización se considera generalmente dentro de la denominación amplia de meteorización química en la

que el agua, los ácidos y sales que lleva en disolución se consideran los agentes más importantes. El material rocoso meteorizado, que no puede considerarse suelo, se denomina saprolita. La saprolita es el material que resulta de la transformación *in situ* de los minerales originales en arcillas y otros minerales secundarios, con poco o ningún cambio de volumen y también con la retención del material rocoso meteorizado de muchas de las estructuras de la roca original.

La meteorización puede darse en la superficie del suelo o en las profundidades, incluso a los 100 metros dentro del subsuelo (Thomas 1966). El efecto de los ácidos orgánicos generalmente es importante solo cerca de la superficie del suelo y, por lo tanto, en los procesos de formación del suelo. El destino de los productos de la descomposición depende, principalmente, del movimiento del agua sobre y a través del suelo. Cuanto mayor sea la cantidad de percolación y lavado (superficial o interno) mayor será la proporción de los productos de la meteorización que se arrastra de la zona donde se forman; y son redepositados en las capas inferiores del subsuelo, en la regolita o en las partes bajas (valles) del terreno o bien se van con el agua de lluvia a los ríos y mares.

Las plantas pueden disminuir o eliminar parte de este movimiento, en especial los escurrimientos en dos sentidos. Por un lado, las raíces absorben los nutrientes del subsuelo que lo llevan a las hojas y estos, al caer, lo depositan sobre la superficie. De igual manera, los animales minadores como lombrices, termitas, algunos roedores, también incrementan la redistribución de los nutrientes lixiviados al subsuelo, mezclando al suelo de diferentes capas. Por el otro, su sistema radicular al penetrar al subsuelo ancla al suelo, lo retiene y lo fija evitando su desplazamiento suave (arrastres) o intensos (derrumbes) además, al cubrir la superficie, las plantas retienen el agua y disminuyen su escurrimiento evitando la erosión.

1.2.2. Los procesos formadores del suelo

La meteorización, por sí sola, produce únicamente regolita. El desarrollo del suelo comienza cuando las plantas se establecen en los residuos meteorizados. Las plantas en desarrollo y los organismos que se alimentan de ella y de sus restos afectan la naturaleza de la meteorización de la roca y al destino de los productos del proceso de meteorización. Las plantas absorben sales minerales solubles del suelo al alcance de las raíces y las transfieren a sus hojas y otras partes aéreas, estos minerales vuelven al suelo con la muerte de las plantas, incluyendo sus raíces. A su vez, esta vegetación muerta y las raíces vivas o muertas, son una fuente de alimento para una amplia gama de organismos del suelo que, a su vez, ocasiona una nueva variedad de procesos edáficos. Así, las etapas iniciales de desarrollo del suelo consisten en la acumulación de materia orgánica superficial, seguida de la presencia de microorganismos y el crecimiento vegetal, casi en forma simultánea.

Adicionalmente, las plantas aportan nutrientes al suelo mediante el lavado de sales minerales solubles, principalmente de sus hojas, causado por las lluvias. De igual manera, las lluvias arrastran elementos minerales que están en suspensión en el aire, siendo este valor más cuantioso en zonas industriales y grandes ciudades donde la contaminación es elevada. Las plantas pueden coadyuvar directamente en los procesos de meteorización de los suelos, ya que la lluvia además de lavar sales de las hojas, lava también compuestos orgánicos solubles, algunos de los cuales son capaces de reducir el hierro-férrico formando complejos órgano-ferroso relativamente estables. A su vez, las raíces pueden acelerar la meteorización, al absorber nutrientes de la solución e inducir su liberación desde el suelo y como la absorción es un proceso continuo, la liberación también y los cambios se acentúan. Las bacterias y hongos de la rizosfera pueden acelerar la meteorización, al excretar ácidos

orgánicos capaces de quelatar cationes di y trivalentes, aumentando así su velocidad de disolución desde las fases minerales.

Los residuos vegetales que se acumulan sobre la superficie del suelo son descompuestos a diferentes intensidades según qué organismos del suelo están presentes y son activos, y esto a su vez depende del tipo de residuos, del régimen de temperatura y humedad y del pH del suelo. Así, si las condiciones del suelo favorecen la presencia de microorganismos y macroorganismos como las lombrices de tierra, gran parte de la descomposición tendrá lugar dentro del suelo, principalmente en el horizonte superior (10 a 20 cm), si bien las lombrices excavan hasta un metro o más de profundidad. Pero si las condiciones no son propicias para toda la fauna superior, entonces la mayor parte de la descomposición tendrá lugar en la superficie del suelo. La cantidad, distribución y profundidad de las raíces de las plantas y su longevidad afecta también el aporte de materia orgánica degradable en el suelo y con ello, a la distribución y actividad de su población microbiana. Cuando el abasto de oxígeno a los microorganismos es restringido, como sucede en suelo anegado o bajo inundación, y se crean condiciones reductoras severas, suele presentarse la reducción de hierro férrico a ferroso y el manganeso de valencias superiores a iones manganesos. Como las formas reducidas son más solubles, provocan mayor abundancia en la solución del suelo, facilitando su absorción por las plantas y su pérdida por lavado. Algo semejante sucede con la reducción del sulfato a sulfuro, que al reoxidarse a ácido sulfúrico, provocará una mayor acidez del suelo.

1.3. Desarrollo del suelo

Un suelo se distingue de una regolita meteorizada por la presencia de capas o bandas horizontales (llamadas horizontes) que se observan en el perfil vertical del suelo. Estos horizontes son consecuencia de la actividad biológica.

Estas etapas son visiblemente diferentes entre sí, si bien, se dan casos frecuentes que la diferenciación es gradual sin marcados contrastes entre ellos.

En general, los suelos bien drenados con poca perturbación humana poseen tres o cuatro horizontes claramente identificables: Una capa de restos orgánicos (materia orgánica) ubicado sobre la superficie del suelo, llamado horizonte cero (0). Un horizonte A, oscurecido por la presencia de materia orgánica lixiviada, que puede haber perdido cantidades apreciables de arcilla u oxhidróxidos de hierro y aluminio (sesquióxidos) y ser considerado un horizonte eluvial. Un horizonte B en el que los materiales del suelo han sufrido mayor transformación o que exhiben una acumulación iluvial de arcilla, sesquióxidos y otros materiales transferidos dentro del suelo. Un horizonte C que ha sido poco afectado por la actividad biológica y conserva todas o muchas de las características de la roca o material madre original de la cual se desarrolló el suelo. Como los suelos se desarrollan bajo una amplia variedad de condiciones, no hay una especificación universal de los horizontes que sirva para todos los suelos, por ello el número y características de estos varían entre suelos y aún dentro del mismo suelo en diversos perfiles, incluso en cortas distancias.

1.3.1. Tipos y formas de humus

Los compuestos orgánicos lavados por las lluvias desde las plantas, el tipo de residuo que cae sobre el suelo y los procesos que llevan a su descomposición, suelen tener un efecto profundo sobre el tipo de suelo que se forma. Estos procesos se observan con claridad en suelos no perturbados o aquellos que han estado sin cultivar durante largos períodos de tiempo, como bosques, matorrales y pastizales. Estos suelos tienen una distribución característica de residuos sin descomponer, en proceso de descomposición y de humus sobre y bajo su superficie.

1.4. Otros procesos en la formación de suelos

Al respecto, Ontiveros (2013) del Programa Euroclima señala lo siguiente: Una vez expuestos a los factores formadores del suelo, se analizarán los procesos pedológicos que determinarán sus características y propiedades específicas de un suelo en concreto a lo largo de su existencia. Ciertas acciones de tipo biológico, químico y físico transforman, transportan (translocan) o destruyen el material del suelo. Además, estos procesos pueden variar a lo largo del tiempo, como respuesta a variaciones climáticas o del uso del suelo.

Los procesos principales de formación del suelo además de la meteorización son las siguientes: acumulación, remoción, translocación y transformación. La meteorización consiste en la destrucción física de la estructura de la roca, lo que facilita después los cambios químicos en los minerales. La meteorización puede ser física, química o biológica (aunque esta, en realidad, es una manifestación de reacciones físicas y químicas), la meteorización se compone de dos tipos que se señalan a continuación.

1.4.1. Meteorización física

En la meteorización física las rocas se desintegran, aunque sin variar su composición química. Un ejemplo de este proceso (típico en ambientes desérticos) es la fragmentación debida a la repetición sucesiva del congelamiento y deshielo del agua presente en el suelo como consecuencia del cambio de temperatura entre el día y la noche (cuando el agua se congela su volumen aumenta en un 11 %, lo que provoca grandes presiones si se produce en espacios estrechos como las grietas de las rocas).

Estas transformaciones dan lugar a una capa de material suelto que yace sobre la roca sólida. A este material disgregado se le llama regolita y

puede tratarse de una fina capa u ocupar varias decenas de metros de profundidad (en algunos suelos, las capas de regolita pueden alcanzar los 150 m). Normalmente, se puede apreciar una clara frontera entre la regolita y la roca original. Esta estrecha zona se conoce como frente de meteorización, ya que es donde este proceso es más activo.

1.4.2. Meteorización química

La meteorización química es un proceso gradual y constante que se produce al reaccionar el agua o elementos ácidos con el material parental. Esto conduce a la formación de lo que se conoce como minerales secundarios (a partir de los compuestos originales presentes en la roca). Bajo condiciones de humedad y temperatura altas (como en los trópicos), la meteorización química es mucho más intensa.

El agua es el elemento clave en este proceso. Dado que el dióxido de carbono atmosférico se disuelve en el agua de lluvia, esta es ligeramente ácida (pH aproximado de 5,6 en ambientes no contaminados). Por ello, productos de evaporación y precipitaciones hacen que algunos minerales, por su solubilidad (como las evaporitas, como la sal y el yeso) o su inestabilidad inherente relativa a las condiciones de la superficie (como los silicatos primarios: feldespato, mica, augita, hornblenda y olivino), se disuelvan lentamente dando lugar a productos secundarios como minerales arcillosos (caolinita, illita, vermiculita y esmectita), hierro y óxidos de aluminio, carbonatos y nutrientes como calcio y potasio. En las rocas calizas, las cuales contienen carbonato cálcico, se produce uno de los procesos de meteorización por disolución más conocidos, la carbonatación. El carbonato de calcio reacciona con el ácido carbónico presente en la lluvia y forma bicarbonato cálcico que después se disuelve y se lava

con el movimiento del agua. Los procesos en los que el agua actúa como disolvente pueden ser más fuertes que otros gases, tales como el dióxido de azufre y el óxido de nitrógeno, que están presentes en la atmósfera.

Estos óxidos al reaccionar con el agua producen ácidos más fuertes (pH de 4,5 o incluso 3,0). A nivel microscópico, las moléculas de agua pueden disociarse en hidrógeno, con carga positiva (H^+) e hidroxilo, con carga negativa (OH^-). El ión de hidrógeno es capaz de penetrar la red cristalina de los silicatos y carbonatos. Su carga positiva altera el balance de la carga del mineral en cuestión haciendo que se liberen cationes al suelo. El proceso queda ilustrado en la siguiente ecuación: mineral + agua = ácido + base + residuos. Ejemplo: feldespato + agua = ácido de silicio, hidróxido de potasio e illita. Este proceso se conoce como hidrólisis. En el ejemplo de arriba, la hidrólisis aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y otras propiedades relacionadas con su fertilidad. Otros procesos químicos que contribuyen a la meteorización son los que implica la pérdida (oxidación) y ganancia (reducción) simultánea de electrones.

El material que recibe los electrones se convierte en el agente reductor, porque disminuye el número de electrones del otro material. Estos intercambios se denominan reacciones redox. Al oxidarse los materiales, la desestabilización de la carga hace que la estructura del material se degrade. Este proceso está causado por las actividades de los organismos vivos y tiene componentes tanto físicos como químicos. Un ejemplo de meteorización biológica física es la fragmentación de la roca por efecto del crecimiento de las raíces en pequeñas grietas o la alteración de la superficie por animales (como las termitas). La meteorización biológica química puede estar causada por actividad bacteriana o ácidos orgánicos fuertes procedentes de raíces u otro tipo de materia orgánica. Recientemente, se ha demostrado

que la tasa de meteorización en superficies cubiertas por líquenes es de 3 a 4 veces mayor que la que se produce sobre un suelo desnudo.

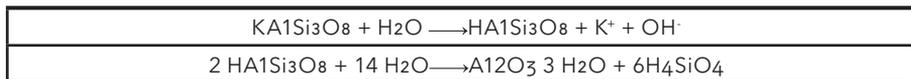
1.4.3. Meteorización química de las rocas

El efecto del agua sobre la meteorización de las rocas se da en dos sentidos diferentes: la hidrólisis y la oxidación. Por un lado, la descomposición ocasionada por el agua; y por el otro, el destino de los productos de descomposición. Donde el agua percola libremente a través del suelo, los productos solubles meteorizados son sacados de la capa meteorizada y entran en las aguas subterráneas y se depositan en el subsuelo o llegan hasta los ríos.

La temperatura del suelo afecta de gran manera la velocidad con que se dan estos procesos de meteorización; cuanto más caliente esté la roca en contacto con el agua, más rápida es su descomposición y cuanto mayor es la precipitación pluvial y con buen drenaje, más rápidamente son arrastrados los productos descompuestos. La velocidad de descomposición de un fragmento de roca o partícula mineral depende, generalmente, de su superficie o volumen, por cuanto más pequeñas sean, mayor será la velocidad con que se descomponen. Esta velocidad también es afectada por la temperatura, contenido de humedad, pH de la solución y de la composición química y de la estructura cristalina del mineral.

La hidrólisis es considerada el proceso más importante de los muchos que se dan en la meteorización de los silicatos y aluminosilicatos, implica reacciones con el agua. Los cationes de un mineral son reemplazados por iones H^+ provenientes de la disociación del agua y tales cationes a su vez se combinan con el anión OH^- , también producido por la descomposición del agua. Los productos de la hidrólisis pueden ser lavados, permanecer en solución o convertirse en parte de la red

cristalina de nuevos silicatos secundarios. Esto se ilustra con la hidrólisis de la microclina, un feldespato potásico:



Los productos de esta reacción son hidróxido de aluminio y ácido silícico. Este ácido silícico es soluble y puede ser eliminado en el agua de drenaje o recombinarse con otros materiales para formar silicatos secundarios como los minerales arcillosos. El potasio que se libera puede ser absorbido por las plantas, lavado fuera del sistema suelo o recombinado con otros minerales.

Junto con la acción del agua en la meteorización se presenta la oxidación. La oxidación es el incremento de cargas positivas, esto es de particular importancia en ciertos minerales como la biotita que contiene Fe^{2+} . La oxidación del Fe^{2+} a Fe^{3+} , da como resultado una red cristalina menos estable, la cual es mucho más susceptible a la meteorización mecánica y a la química adicional.

La meteorización no cesa una vez que se han transformado los minerales secundarios, porque estos son solo estables entre ciertos límites de concentración de sílice soluble, cationes alcalinos y alcalinotérreos e iones hidrógenos (H^+). Si estos solutos son lavados con el tiempo, en ambientes fuertemente meteorizantes, los minerales secundarios iniciales se meteorizan a estados químicos aún más estables.

1.4.4. Efecto del cambio climático en los suelos de Latinoamérica y el Caribe (LAC)

En el contexto del programa Euroclima se elaboró en forma de estudio temático la “Guía metodológica para facilitar la evaluación y reducción

de los efectos del cambio climático sobre los procesos de degradación de los suelos en América Latina”. Según este estudio, existen diversos métodos para la estimación de la degradación de suelos, que encarar el problema desde puntos de vista diferentes y con información de diversas fuentes. No obstante, la metodología más idónea para estudios regionales de este tipo contempla el uso de información obtenida por satélite complementada con estudios locales o subregionales.

En el caso de América Latina, esta información disponible corresponde a los datos generados por instituciones internacionales o a bases de datos mundiales. Algunos de los países más desarrollados, como Brasil y México, cuentan con mayor información que otros, sin embargo, se hace notoria la falta de información disponible a una escala adecuada.

De acuerdo con este estudio, existen graves problemas de degradación de suelos en todos los países, ya sea en mayor o menor grado de extensión, afectando a zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas en forma de desertificación (un 35 % del territorio, 6,9 millones de km²). En las regiones húmedas el motor principal de la degradación del suelo es la deforestación; la pérdida de bosques afecta a un 6,5 % del territorio (1,3 millones km²). La extensión de suelo vulnerable a la erosión hídrica supone la mitad del territorio, el 49 % (9.8 millones de km²), mientras que los suelos afectados por salinidad o acidez (degradación química) suponen al menos el 56 % del territorio (11,2 millones de km²). El análisis de distintos escenarios muestra que las condiciones climáticas en el futuro proyectado según uno de los escenarios que se contemplan (concretamente el conocido como A2, “Los escenarios del IPCC”) variarán de más secas en algunas zonas a más húmedas en otras. Aunque la mayor parte no sufrirá cambios considerables, muchas regiones pasarán de su condición actual a una condición más seca. La

superficie total de cambio hacia un régimen más árido según dicho modelo será de 21 % (4,1 millones de km²), mientras que el paso de zonas secas a una situación más húmeda será solo de 2 % (298.000 km²). El análisis de la información disponible para conocer el uso de suelo en esta situación no muestra cambios significativos. Es probable que la inclusión de información adicional a la escala considerada se haga necesaria para la obtención de resultados más coherentes con la realidad.

Las estimaciones sobre la vulnerabilidad a la degradación de suelos en la región indican que el grado más alto se presentará en al menos 1,6 millones de km² (8 %), mientras que los grados “alto” y “medio” se darán en extensiones de 6 y 2,6 millones de km² respectivamente (13 % y 30 %). Estas superficies incrementan un 26,3% (5,3 millones de km²) al considerarse un cambio climático bajo el escenario de emisiones A2, con un efecto acentuado en las zonas áridas y semiáridas.

Bibliografía

- Boul, S.W., F. D. Hole y R. J. McCracken (1981). *Génesis y clasificación de suelos*. Versión en español. Editorial Trillas, México. <http://www.epa.gov/gh-gemissions/sources-green-House-gas-emissions#Agricultura>. www.socredcow.info
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2000). Observed Climate Change Impacts Database Version 1.0. Palisades, NY: Socio-economic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University.
- Ontiveros, R. (2013). *Cambio climático y degradación de los suelos en América Latina: escenarios, políticas y respuestas*. Programa EUROCLIMA, Dirección General Desarrollo y Cooperación-EuropeAid, Comisión Europea, p. 176.

CAPÍTULO II
FÍSICA DE SUELOS

FÍSICA DE SUELOS

2.1. Perfil de suelo

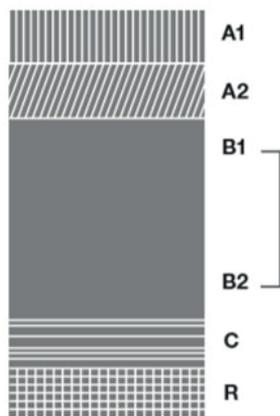
Perfil: Sección vertical del suelo, de uno a dos metros de profundidad, que presenta capas o estratos denominados horizontes y estos se clasifican en A, B y C. Los perfiles del suelo y sus horizontes se caracterizan y diferencian por su color, textura, estructura y naturaleza química.

2.1.1. Horizontes

- a. Capa más susceptible a las influencias climáticas y biológicas. Posee la mayor parte del material orgánico, lo que le otorga un color más oscuro. Se caracteriza por la pérdida de materiales solubles y coloidales, que son movilizados hacia los horizontes inferiores por el agua de infiltración; proceso llamado eluviación.
- b. Es una capa que acumula los materiales (arcillas, hierro, aluminio, carbonatos, sulfato de calcio y otras sales) lixiviados y transportados desde el suelo superficial; esta acumulación se llama iluviación.
- c. Es el menos afectado por los procesos físicos, químicos y biológicos. Su composición similar a la del material que le dio origen. El material formado por intemperización de la roca madre se llama “sedentario”, mientras que aquel, que ha sido movido por las fuerzas naturales, se llama “transportado”. Este último se clasifica por el tipo de fuerzas que actuó en su transporte y deposición. Cuando el agente transportador es el agua se llaman “aluviales” (depositado por corrientes), “marino” (depositado en el mar), o “lacustre” (depositado por los lagos). Los materiales depositados por el viento se llaman “eólicos” y los transportados

por los glaciares, “glacial”. Como podemos ver, el perfil del suelo es de gran importancia para el crecimiento de las plantas. La profundidad, la estructura, la textura y la naturaleza química determinan en gran parte el valor como medio para el crecimiento de las plantas.

Figura 1. Horizontes del suelo



A1 Horizonte superficial

A2 Horizonte subsuperficial

B1-B2 Subsuelo

C Horizonte profundo poco alterado, donde las raíces suelen no penetrar

R Roca madre

Fuente: Agronomy Handbook, A&L Agricultural Laboratories S/F

2.2. Textura

Los procesos de mineralización que se dan en el interior y exterior del suelo producen trama mineral. Los componentes de la estructura mineral incluyen granos de minerales heredados del material parenteral (roca madre) y arcillas derivadas de los minerales primarios como productos de la

meteorización. La proporción de minerales primarios y su tamaño, como la proporción de arcilla y su mineralogía, juegan un gran papel en la determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo.

2.2.1. Textura y distribución granulométrica

Las primeras clasificaciones de suelos se basaban en función de su facilidad de cultivo y manejo. Los suelos arenosos son fáciles (ligeros) de labrar, drenan bien y nunca se adhieren (pegan) a los implementos. Los suelos ricos en arcilla son difíciles de trabajar cuando secos los implementos no penetran, cuando húmedos se pegan, no se preparan bien por su alta adherencia y plasticidad y su drenaje es lento. El efecto combinado de estas propiedades que afecta la facilidad de labranza, se le llama en términos comunes textura, y se les clasifica como suelos; ligeros (arenosos), medios (arcillo-arenosos) y pesados (arcillosos), actualmente se incluye también al limo.

Se le llama textura a la proporción de arena, arcilla y limo que componen al suelo. Sin embargo, las propiedades mecánicas y físicas del suelo dependen también de otras características, como la presencia de materia orgánica.

2.2.2. Composición mineralógica de las partículas del suelo

Los constituyentes inorgánicos de la arena, el limo y la arcilla son normalmente cristalinos, es decir, las partículas tienen una organización de átomos repetitiva, ordenada regularmente y gobernada por propiedades de coordinación reticular.

2.2.3. Fracciones arena y limo

Estas partículas pueden dividirse en dos grupos principales: partículas minerales cristalinas derivadas de la roca primaria y fragmentos de roca; y agregados microcristalinos compuestos, por ejemplo, de carbonatos

cálcicos, hidróxidos (férricos, aluminio o sílice) formados a partir de productos meteorizados o de residuos animales y vegetales. También pueden estar presentes cristales formados en el suelo como calcita y, posiblemente, cuarzo o minerales productos de la meteorización, entre las principales. El conocimiento del contenido mineral del suelo es muy importante por razones físicas y químicas.

Las partículas grandes son determinantes estructuralmente y su presencia afecta a la permeabilidad, pero presentan un área superficial pequeña, por lo que su valor como superficie de adsorción química, generalmente no es significativo, ya sea tanto las micas como los feldspatos tienen un papel vital en la fijación y liberación lenta de K^+ .

2.2.4. La fracción arcilla

La arcilla se diferencia mineralógicamente de la fracción limo porque se compone de minerales formados como productos de la meteorización y que no se encuentran en rocas sin meteorizar. Las arcillas, usualmente, son partículas menores a $2\ \mu\text{m}$, si bien, pueden ser mayores. Son mucho más resistentes a la meteorización en el suelo que otros minerales de la roca, triturados a un tamaño comparable y engloban las partículas que tienen las propiedades físicas y químicas características de las arcillas. Las fracciones arcillosas más gruesas, particularmente las mayores de $0.5\ \mu\text{m}$ de diámetro, pueden contener cuarzo y a veces micas, en tanto por las pequeñas fracciones menores de $0.1\ \mu\text{m}$ son casi enteramente minerales arcillosos u otros como óxidos hidratados férricos, de aluminio, titanio y manganeso.

Los minerales arcillosos son aluminosilicatos (aluminio, silicio y oxígeno), la mayoría de los cuales tienen la forma de láminas planas. Sus dimensiones en términos de longitud y anchura son muy grandes comparados con su grosor semejantes a una hoja de papel. El oxígeno es el elemento estructural dominante. El ión O^{2-} es relativamente grande

(0.14 nm de radio) por lo que los óxidos, empaquetados más o menos estrechamente con cationes muchos más pequeños llenan los espacios entre las esferas de O^{2-} para equilibrar la carga eléctrica. El ión Si^{4+} es muy pequeño (0.026nm de radio) debido a su alta carga positiva y suele ocupar el espacio entre cuatro oxígenos dispuestos como un tetraedro (piramidalmente). Esto da una gran estabilidad a la unidad estructural SiO_4 que es dominante en los silicatos que forman las rocas. El tetraedro de sílice es capaz de polimerizarse unidimensionalmente (para formar cadenas: inosilicatos), bidimensionalmente (para formar láminas: filosilicatos y tridimensionalmente para formar cristales como el cuarzo: tectosilicatos). En lo que se refiere a los minerales arcillosos son de mayor interés la polimerización bidimensional para formar la llamada “lamina tetraédrica”.

Cada sílice tiene también un Oxígeno (O) ligado a él en uno de sus extremos, lo que le permite ligarse a otros elementos estructurales. Los enlaces Si-O-Si son denominados siloxanos y una superficie que presenta esta disposición se conoce como superficie siloxana. El ión aluminio Al^{3+} no forma tetraedros. Este ión es de tamaño doble (0.053 nm) al sílice (Si^{4+}) y no puede encajar dentro del espacio (agujero) tetraédrico entre iones O^{2-} dispuestos de esta manera. El Mg^{2+} tiene un radio de 0.072 nm. Así, el O del Si (Si-O) se convierte en el O del Al-OH produciendo el enlace Si-O-Al. Otro aspecto importante para la comprensión general de la arcilla laminar del suelo es el concepto de sustitución isomorfa o isomórfica. La mayoría de los minerales del suelo se forman como parte de una secuencia de meteorización por acción de las soluciones acuosas ácidas de minerales primarios.

Es probable que la solución acuosa contenga varios iones metálicos según la geoquímica del suelo, y no solo los iones (como Si, Al y Mg) de las estructuras ideales descritas. Durante el proceso de formación de una

arcilla, iones de diferente valencia (generalmente menor) se sustituyen en las posiciones metálicas de la trama de oxígeno y esto ocurre porque el ión sustituyente es de tamaño similar al espacio (hueco) disponible y no porque sea la valencia correcta. Es la geometría de la estructura, y no su carga eléctrica final (que no necesariamente tiene que ser por eso) el factor de control. De ahí que el Al^{3+} puede sustituir al Si^{4+} en la capa tetraédrica. El Al^{3+} de la capa octaédrica puede ser sustituido principalmente por el Mg^{2+} , Fe^{2+} , y Fe^{3+} . Esta sustitución es la llamada isomorfa, porque se sustituyen por forma (tamaño) y no por cargas eléctricas (valencias). A eso se debe porque el Ca^{2+} (un catión grande, con radio de 0.10 nm) no se encuentra como ión sustituyente.

El proceso de sustitución isomorfa da a las arcillas una carga eléctrica global, casi siempre negativa y permanente en el sentido de que es función de la composición del cristal. La sustitución isomorfa en las arcillas 2:2 (micas) tienen más alta densidad superficial de carga, el grupo de la vermiculita es intermedio y el grupo de la smectita (montmorillonita) tienen la menor carga superficial. La sustitución isomorfa parece escasa en las cloritas y de muy poca importancia en las caolinitas.

Cuadro 1. Escalas para la clasificación de las partículas minerales del suelo

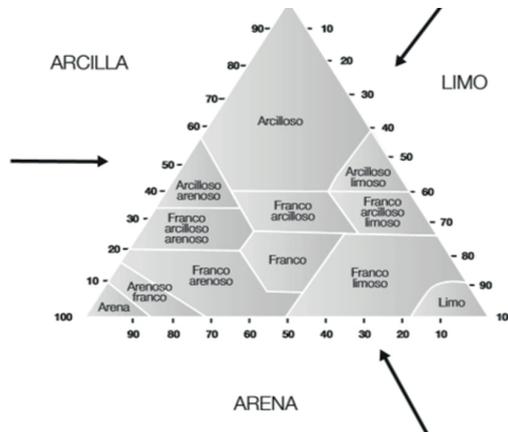
Escala de Attemberg		Escala de U.S.D.A	
Grava	20 a 2 mm	Arena muy gruesa	2 - 1 mm
Arena fina	2 a 0.2 mm	Area gruesa	1 - 0.5 mm
Arena gruesa	0.2 a 0.02 mm	Arena mediana	0.5 - 0.25 mm
Limo	0.02 a 0.002 mm	Arena fina	0.25 - 0.1 mm
Arcilla	Menor a 0.002 mm	Arena muy fina	0.1 - 0.05 mm
		Limo	0.05 - 0.002 mm
		Arcilla	Menor a 0.002 mm

Fuente: Agronomy Handbook, A&L Agricultural Laboratories S/F. *Quedan excluidas piedras y gravas de más de 2 mm. La clase textural se determina con base en las proporciones relativas de las partículas que se encuentran en el suelo, usando la clasificación textural del USDA para materiales inferiores a 2 mm de diámetro.

Los suelos están compuestos por partículas que constituyen la fracción mineral del suelo, de tamaño y forma variada. Con base en el tamaño, las partículas han sido divididas en tres categorías: arena, limo y arcilla. Hay dos escalas para clasificar estas partículas.

Una descripción textural de los suelos es de gran importancia, porque está muy relacionada con las propiedades de los mismos. Así se observa que las reacciones físicas y químicas están asociadas con la superficie de las partículas (mayor área superficial al disminuir el tamaño de las partículas y viceversa). La capacidad de intercambio se relaciona con tamaño y tipo de arcillas. La capacidad de retención está determinada por la distribución del tamaño de las partículas, los suelos con partículas finas retienen más agua que los suelos de textura gruesa. Desde la perspectiva del crecimiento de las plantas, los suelos de textura media son los ideales. No se puede generalizar a todos los suelos, ya que la textura es uno de muchos factores que influyen en el crecimiento y en la producción de los cultivos.

Figura 2. Triángulo de USDA (clases texturales)



Fuente: Agronomy Handbook, A&L Agricultural Laboratories S/F

2.3. Estructura física

2.3.1. Estructura del suelo

La estructura es una propiedad típicamente edáfica que, de presentarse, permite diferenciar un suelo de un material geológico. La vida en el suelo, el crecimiento vegetal vía raíces, solo es posible debido a que las partículas no forman una masa solidificada continua, sino que al unirse crean espacios, huecos, muchos de los cuales se unen entre sí formando canales que se comunican. Estas se clasifican en poros, canales, cámaras, fisuras y otros huecos macro y microscópicos.

Estos espacios comunicados permiten la transferencia de fluidos (aire y agua) tanto en forma natural (gas o líquida) y como vapor. Además, en estos huecos pueden desarrollar su actividad los microorganismos y a través de ellos se facilita el crecimiento de las raíces. Los poros del suelo al comunicarse entre sí permiten junto con el movimiento del agua, el traslado de nutrientes y otros solutos que son absorbidos o liberados por las raíces. La sola presencia de huecos individuales no comunicados entre sí contribuye muy poco a las funciones señaladas. Sus beneficios solo se dan al formar canales interconectados dentro de la masa de suelo. Estos canales pueden variar de forma horizontal, vertical (capilaridad) o en todas direcciones sin orden definido.

A su vez, estas partículas al unirse entre sí forman granos o conjunto de partículas de mayor tamaño que tienen un carácter persistente. En general, la unión de varios granos da origen al agregado, si bien un grano puede ser un agregado bajo cierto tipo de suelos. Un conjunto de agregados conforma la estructura del suelo. En consecuencia, la estructura es el ordenamiento de los granos individuales integrados en los agregados que conjuntamente con el espacio de huecos formados

imprimen al suelo ciertas propiedades y características particulares que afectan varios aspectos importantes para el crecimiento de las plantas. Las unidades estructurales o agregados, se distinguen por hallarse separadas entre sí por huecos y por granos unidos con cierta consistencia (fuerza que los une) más o menos definida.

El estudio de la estructura del suelo incluye (Porta et al., 1999):

- Superficie de debilidad: grado de desarrollo de la estructura.
- Forma de agregados: tipo de estructura.
- Tamaño: clase de estructura.
- Dureza y friabilidad de los agregados.
- Persistencia: estabilidad de los agregados.
- Factores que ocasionan la unión de agregados.
- Espacios y huecos: abundancia, distribución y conexiones.

Se han encontrado que suelos con igual textura pueden presentar propiedades físicas muy distintas, según la forma como se hallan agregadas las partículas individuales. Un suelo bien estructurado es aquel que al secarse se desmenuza fácilmente de forma espontánea, si está relativamente seco puede labrarse con facilidad y cuando está húmedo no se adhiere a los implementos de labranza. Un agregado bien formado se mantiene estable en el agua, indicando la unión de sus partículas individuales, se mantiene aún cuando está totalmente húmedo. Esta propiedad tiene mucha trascendencia, aun totalmente húmedo, porque permite que el agua fluya entre ellos y se mueva de un lugar a otro. Los agregados, si bien son estructuras frágiles, suelen ser estables a largo plazo, cuya durabilidad se ve afectada por el establecimiento de un cultivo, la labranza continua, el paso de maquinaria, el piso de arado, el riego permanente, el pisoteo del ganado, entre otros factores. Cuando

esto sucede, la sostenibilidad del agrosistema se verá comprometida por la degradación de su estructura y, con ello, una merma en la fertilidad física del suelo y su productividad.

Cuadro 2. Efecto de la estructura sobre el suelo

Propiedad afectada	Efectos benéficos
Características de la superficie del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Una buena estructura evita el sellado del suelo y la formación de costras al secarse la superficie. Facilita la emergencia de las plántulas, la infiltración (del agua, oxígeno y la del CO₂ del suelo).
Filtración del agua	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la infiltración por: • Disminuirse la escorrentía y el riesgo de erosión. • Aumenta la reserva de agua del suelo, al humedecer el perfil.
Espacios porosos	<ul style="list-style-type: none"> • Un horizonte bien estructurado: • Permite una buena circulación del aire, agua y nutrientes. • Permite una conductividad hidráulica elevada. • Favorece el desarrollo de microorganismos aeróbicos. • Favorece la actividad de la fauna del suelo que a su vez mejora la estructura. • Permite la penetración radicular para explorar mayor volumen del suelo, beneficiando el crecimiento de la planta.
Compactación	<ul style="list-style-type: none"> • La estructura favorece una baja compactación interna del horizonte. Esto a su vez: • Favorece el laboreo. • Hace disminuir la densidad aparente • Favorece el crecimiento radicular
Erodabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Un suelo bien estructurado es más resistente a la erosión, que aquellos con mala estructura, donde las partículas sueltas de arena, lino, arcilla y la materia orgánica, fácilmente son arrastrados por las lluvias normales.

Fuente: Porta et al., (1999)

2.4. Régimen hídrico

2.4.1. Las necesidades de agua de los cultivos

El agua es esencial para la supervivencia y el crecimiento de las plantas. El agua fluye en una corriente continua desde las raíces, tallos, ramas y hojas y de aquí al aire atmosférico. El agua se usa de varias formas. En la fotosíntesis se usa para formar carbohidratos (azúcares y otros compuestos), interviene como disolvente para reacciones bioquímicas y la translocación de constituyente celulares. Ayuda en el soporte y porte erecto de las plantas mediante la turgencia, es por este fenómeno en que se da el crecimiento celular (elongación). Es el medio acuoso donde se realiza la división celular y las reacciones enzimáticas y la germinación. Funciona como un regulador de la temperatura de las plantas, pero solo alrededor del 1 % del agua absorbida por las plantas se utiliza para estas reacciones metabólicas. La mayoría es vaporizada (evaporada) en el aire circundante, principalmente vía estomas y transpiración. Las plantas utilizan grandes cantidades de agua durante su crecimiento. Por ejemplo, una planta de maíz en Kansas, EUA, puede utilizar hasta 200 litros de agua durante su vida, lo que representa unas 100 veces su propio peso en fresco (Larcher, 1975).

La transpiración se da durante el día luminoso, casi siempre asociado a la evaporación, mientras que en noches calurosas tropicales, la transpiración es menos alta y la evaporación cesa o se da en valores mínimos. En el suelo solo se da la evaporación. Por ello, suele hablarse de evapotranspiración refiriéndose al proceso global de transferencia de agua a la atmósfera desde el suelo y las plantas. Con suficiencia de agua,

el ritmo de difusión del vapor de agua hacia la atmósfera está controlado por dos factores dominantes: 1. La intensidad de la radiación solar sobre el suelo y planta; 2. La temperatura, sequedad y velocidad del viento. Como respuesta a esta demanda atmosférica, se da el movimiento del agua desde el suelo que a través de la planta pasa a la atmósfera. En la mayoría de los cultivos, la pérdida de agua es principalmente por las hojas donde el 90 % del total de agua evaporada es vía estómas foliares (Larcher, 1975) y solo una pequeña parte a través de la cutícula. Ya que los montos varían según el tipo de cutícula, su grosor, edad, presencia de lesiones, grietas o daños, entre otros factores.

2.4.2. El agua útil de un suelo

El agua útil del suelo se relaciona con la respuesta de la planta e indica la máxima cantidad de agua que es extraída por las plantas del perfil del suelo. También significa como la cantidad de agua que retiene un suelo entre la capacidad de campo y su punto de marchitez permanente. Un concepto válido para suelos francos y humosos, pero no aplica en arcillosos. Se entiende por capacidad de campo como la cantidad de agua retenida en el suelo después que el exceso se ha drenado. El valor matricial va de 5 a 10 KPa para la mayoría de los suelos. Cada suelo suele tener un valor diferente de KPa (Salter y Williams, 1965).

El límite inferior del agua útil es el punto de marchitez permanente, definido como el contenido de humedad del suelo que ocasiona marchitamiento de las plantas (hojas) del cual no se recuperaron al colocarlos en una atmósfera saturada sin añadir agua al suelo. El valor matricial medio es de 1.5 MPa (15 bar). Tanto la estructura como la textura del suelo influyen en la cantidad de agua útil. La estructura influye más sobre la capacidad de campo que sobre el punto de marchitez permanente

(Salter y Williams, 1965). Otro término utilizado es el de “agua extraíble” definida como “la diferencia entre el mayor contenido volumétrico de agua en el campo (después de drenado) y el menor contenido de agua medido cuando las plantas están muy secas y las hojas están muertas o en letargo”. El agua extraíble tiene la ventaja de ser una medida basada en campo y tiene en cuenta la distribución de las raíces en el perfil del suelo, pero específico para cada tipo de suelo y estación.

Los suelos con mayor contenido de agua útil son los orgánicos y limosos. Sobresalen los francos en sus diversas combinaciones.

Cuadro 3. Agua útil en diferentes texturas de suelos

<i>Clase textural</i>	<i>Cantidad media del agua útil (mm/100mm)</i>	<i>Clase textural</i>	<i>Cantidad media de agua útil (mm/100mm)</i>
Franco lino arenosa fina	22.8	Arcillo linoso	18.3
Franco linosa	22.5	Franco arenoso media	17.8
Franco lino arenosa media	20.5	Franco arcillosa	17.7
Franco arenosa fina	20.2	Franco arcillo arenosa	17.1
Franco arcillo linosa	19.9	Arenoso franco medio	17.1
Arenoso franco fino	18.7	Arcilloso	16.3
		Arenoso medio	13.6

Citado por Gregory (1973)

Las adiciones de estiércol y materia orgánica aumentan la capacidad de agua útil en la capa arada superficial, pero poco efecto presentaron a mayor profundidad un área de riego de suelos uniformes con agua útil de 100 a mm m⁻¹ de profundidad, en la que crecen cultivos con una profundidad

media de enraizamiento de 80 cm, agotará toda el agua en 20 días si la transpiración es de 4 a mm d⁻¹. Como es de comprender, la profundidad de la raíz del cultivo influye en la cantidad de agua disponible. A mayor profundidad mayor agua disponible entrará a la planta y viceversa. También influye la densidad de siembra. A mayor población de plantas menos agua tendrá disponible cada planta. (Gregory, 1973).

2.4.3. Crecimiento y transpiración

Ha sido plenamente demostrado que diferentes cultivos usan distintas cantidades de agua para producir la misma cantidad de materia seca. Esto tiene gran importancia en zonas donde escasea el agua, porque el cultivo que usa menos, será el mejor adaptado a tales áreas. Esta diferencia se atribuye principalmente a factores fisiológicos de la planta tales como: la vía fotosintética (C₄ y C₃) donde las C₄ producen más materia seca por unidad de agua transpirada. También influye la eficiencia en la transpiración, la intensidad de la fotosíntesis y de la temperatura del aire, principalmente. Así, al sembrar sorgo y soya, el sorgo produjo casi tres veces más materia seca y rendimiento de grano que la soya por unidad de agua usada (Trare, 1973).

2.4.4. Crecimiento y uso del agua

Todo cultivo al crecer pierde agua por transpiración a través de sus hojas y por evaporación desde el suelo. La obtención de la máxima eficiencia en el uso de agua considerando a esta como las unidades de materia seca por unidad de agua usada, depende de la transpiración y la eficiencia fotosintética. A manera de ejemplo. En temperatura del aire y de la hoja de 25°C, humedad relativa del aire del 50% (un déficit de saturación de 12 mg l⁻¹) y buena afinidad fotosintética por el CO₂, la eficiencia en el uso del agua podría ser 30 mg CO₂ por grano de agua. En la práctica esta eficiencia es usualmente menor, excepto para especies CAM (Wild, 1992).

La pérdida de agua por evaporación es una vía importante de fuga del agua y puede representar alrededor del 60 % de la pérdida total del agua en terrenos cultivados y según la especie establecida. La fertilización eleva el desarrollo de las plantas y el rendimiento, pero usando la misma cantidad de follaje, ya que el fertilizante acelera la producción de follaje y cubre al suelo reduciendo la pérdida por evaporación, además suele mejorar la eficiencia global del uso del agua. Un factor importante en el crecimiento de las plantas y su uso del agua es el crecimiento radicular en relación con el crecimiento de los tallos. En plantas perennes, el sistema radicular puede ser muy extenso antes de que comience la sequía. Dagg (1969) demostró que el pasto Buffel (*Cenchrus ciliaris*) podía resistir unos 320 mm de agua en los tres metros superiores del perfil del suelo sin que su intensidad de transpiración resultase afectada en forma apreciable. Al llegar a un déficit de 450 mm, el agua era tomada desde los 6 metros de profundidad, pero el ritmo de transpiración había caído por debajo de su valor potencial.

Hay claramente dos vías paralelas del movimiento vertical del agua hacia la atmósfera, ya sea a través del suelo, o bien, a través de los conductos xilemáticos de raíces, tallos y hojas vía aperturas estomáticas, y de aquí a la atmósfera. El agua almacenada en el parénquima en plantas leñosas puede ser un importante depósito de agua que normalmente se consume en el día y se repone por la noche (Lansberg et al., 1976, Waring R. H. et al., 1979). El tamaño del depósito varía con el tamaño de la planta, así los árboles almacenan más que los arbustos y las herbáceas.

2.4.5. Estructura del suelo

Con excepción de la arena, las partículas no existen en forma individual, sino que se organizan en agregados o grupos de partículas. La forma en la que estas se agrupan se llama “Estructura del suelo”.

Existen cuatro tipos de estructuras:

- Prismática o Columnar: Se encuentra, por lo general, en los subsuelos, y en suelos con alto contenido de sodio, siendo común en regiones áridas y semiáridas.
- Bloque angular o subangular: Se caracterizan por tener las mismas medidas en las tres dimensiones, se encuentran en los subsuelos, en general, de regiones húmedas.
- Laminar: Las partículas se organizan en un plano horizontal. Se encuentra en cualquier parte del perfil.
- Granular: Incluye a todos los agregados redondeados, se encuentra en general en suelos con alto contenido de materia orgánica.

Los agregados se forman por la acción de las fuerzas físicas, como secado, congelamiento, descongelamiento, labores de labranza; o por productos de la descomposición de la materia orgánica unidos por sustancias que actúan como pegamentos, lo que les confiere mayor estabilidad y resistencia a las fuerzas destructivas del agua y de la labranza. La estructura del suelo tiene gran influencia en el crecimiento de las plantas, porque de ella depende la aireación, la movilidad y retención hídrica y la resistencia al crecimiento radicular. Para una buena infiltración del agua e intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera es necesario tener una porosidad adecuada, que es la fracción del volumen no ocupada por las partículas del suelo. Se determina por medio de la densidad aparente, que es la masa del suelo por unidad de su volumen y se expresa en general en g/cc. La materia orgánica disminuye la densidad aparente debido a la baja densidad de sus partículas y a la producción de partículas estables, la compactación y la labranza producen valores de densidad aparente altos. Valores de densidad aparente varían de: 1.0 a 1.3 g cc⁻¹.

Suelos arcillosos; 1.1 a 1.4 g cc⁻¹. Suelos franco arcillosos y limosos; 1.2 a 1.6 g cc⁻¹. Suelos franco arenosos y arenosos.

2.4.6. Agua del suelo

La textura y la estructura del suelo determinan la cantidad de agua y de aire que un suelo es capaz de retener. No toda el agua del suelo es útil para las plantas. La cantidad de agua disponible depende de la profundidad radicular y de la capacidad de retención de agua del suelo. En suelos arcillosos los poros o espacios entre partículas son de menor diámetro que en suelos arenosos. Debido a esto es que los suelos arcillosos tienen mayor capacidad de retener agua que los suelos arenosos. Ejemplo: un suelo arcilloso es capaz de retener 17 mm en 10 cm²; y uno arenoso, retiene 6 mm de agua en 10 cm².

El agua del suelo puede clasificarse en:

1. **Agua Higroscópica:** Es el agua adsorbida de una atmósfera de vapor de agua, como resultado de las fuerzas de atracción en la superficie de las partículas del suelo, no es disponible para las plantas.
2. **Agua capilar:** Es el agua retenida en los espacios capilares como una delgada película alrededor de las partículas del suelo. Forma la solución del suelo y contiene los productos solubles de éste. Es el agua más importante para las plantas.
3. **Agua gravitacional:** Es el agua no retenida por el suelo. Drena por influencia de la gravedad y puede remover cationes y otros nutrientes solubles no adsorbidos por las partículas del suelo.

La cantidad de agua que un suelo contiene después de que las plantas se han marchitado en forma permanente se denomina PMP o Punto de

Marchitez Permanente. El suelo contiene agua, pero esta se encuentra tan fuertemente retenida de manera que las plantas no pueden usarla. La cantidad de agua que permanece en el suelo una vez que el flujo gravitacional ha cesado, se llama nivel de Capacidad de Campo (C.C), y es el agua útil para los cultivos.

2.4.7. El agua en el suelo

El agua es indispensable para el ciclo de un cultivo a la vida de las plantas que ahí viven. Sus funciones más destacadas son:

- Disuelve los elementos minerales que serán útiles al cultivo como nutrientes.
- En el desarrollo de la fotosíntesis se une al dióxido de carbono del aire para formar sustancias orgánicas.
- Funciona como acarreador de los nutrientes minerales desde raíz hasta la parte aérea de la planta.
- Asiste a los tejidos conformando la resistencia en situaciones críticas.
- Regula la temperatura del suelo y las plantas.

Las partículas sólidas del suelo, formadas por minerales y por materia orgánica, dejan entre sí unos espacios vacíos o poros llenos de aire y de agua. Es deseable que los poros ocupen aproximadamente la mitad del volumen total del suelo y que el contenido máximo de agua sea el doble del volumen ocupado por el aire. Con respecto a la cantidad de agua en un suelo que varía de una forma constante, se distinguen varias fases de humedad: suelo saturado, capacidad de campo, punto de marchitamiento y coeficiente higroscópico ya comentado.

2.5. Temperatura del suelo

Además de actuar en los fenómenos de formación del suelo, la temperatura tiene varias funciones como actuar en la descomposición de los residuos orgánicos, liberando nutrientes y en la fijación de nitrógeno atmosférico.

2.6. Régimen térmico del suelo

2.6.1. Fuentes y transferencia de calor

El suelo se calienta casi por entero, directamente de la radiación solar y lo pierde en la mayoría de los casos por la irradiación que lo retorna a la atmósfera. La transparencia o turbidez de la atmósfera afecta en mucho la intensidad y calidad de la radiación solar (de onda larga) que llega al suelo, y lo que este irradia al cielo (de onda corta) y tal variación, obviamente afecta la temperatura del suelo. También influyen el color y la cobertura del suelo. Las gotitas de agua de las nubes absorben y difunden la energía radiante del sol (onda corta y larga), pero pequeñas cantidades de nubosidad pueden reducir la recepción de energía solar por el suelo (tanto porque disminuyen la intensidad que llega al suelo, como porque producen sombra), pero al mismo tiempo reducen, las pérdidas de calor del suelo al absorber y rechazar la energía irradiada regresándoselas como onda larga. La radiación solar recibida por un suelo se disipa de las siguientes maneras:

- Parte es remitida al cielo como radiación de onda larga.
- Parte es usada para evaporar el agua edáfica y se disipa como calor latente.
- Parte puede elevar la temperatura de la superficie del suelo y disiparse como calor sensible en el aire en contacto con él.
- Parte será difundido al interior de la masa del suelo.

Cuando la superficie edáfica está húmeda la mayoría de la radiación neta absorbida se usa para evaporar el agua, pero según se seca el suelo, una cantidad creciente se disipa como calor sensible al aire o como flujo de calor al interior del suelo. Así, en un suelo húmedo disipa alrededor del 70 % de la radiación neta que absorbe como calor latente, solo el 10 % entra en el suelo y lo calienta. La causa de que el suelo más seco absorba menos calor es en parte porque su albedo es mayor y refleja más radiación incidente y en parte porque la temperatura de su superficie es mayor y por tanto pierde más calor por radiación.

2.7. La atmosfera del suelo

Los espacios (poros) del suelo que no están saturados de agua (solución del suelo) están llenos de aire constituyendo así la atmósfera edáfica. Su composición difiere del aire externo ya que suele escasear el oxígeno y contener altos niveles de CO_2 . Esto se debe a que las raíces y organismos del suelo al respirar consumen el oxígeno y producen CO_2 , por lo tanto, se hace necesario renovar el aire del suelo mediante la entrada de aire con oxígeno y la salida de aire con CO_2 . Esto adquiere importancia porque las raíces y microorganismos aeróbicos solo crecen y funcionan si hay oxígeno en contacto íntimo con ellos y a la vez se elimina el CO_2 que les causa toxicidad. Por lo tanto, se hace indispensable que el suelo tenga características apropiadas que permita el intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera externa.

La velocidad de intercambio entre el aire del suelo y de la atmósfera depende de la abundancia y tamaño de los poros (textura y estructura), de la profundidad de las raíces, del contenido de humedad del suelo y de su temperatura principalmente. Incluso la presencia de costras superficiales limita la velocidad de intercambio gaseoso.

2.7.1. Aireación del suelo y actividad microbiana

La mayoría de los microorganismos aeróbicos poseen un sistema enzimático (basado en la citocromo-oxidasa) muy eficiente para absorber oxígeno libre a bajas concentraciones en que suele encontrarse el oxígeno en el suelo. Sin embargo, hay otros microorganismos aeróbicos incapaces de desarrollarse en altas concentraciones de oxígeno debido a que su sistema enzimático no es eficiente. Así, un suelo es totalmente aeróbico mientras mantenga una concentración de oxígeno en la solución por arriba del 1 % de la presión del oxígeno en la atmósfera libre. A este nivel, la población microbiana realiza un metabolismo totalmente aeróbico, pero si baja la concentración, entonces el metabolismo se transforma en anaerobio.

En cuanto el efecto de la concentración de CO_2 sobre la actividad microbiológica se encontró que una concentración de 0.25 % de CO_2 reducía marcadamente el consumo de oxígeno y una concentración de 0.8 % lo suprimía. Wild (1992) observó también que cuando la textura era más fina, mayor era la concentración de CO_2 necesaria para reducir el consumo de oxígeno del suelo. Esto indica que la sensibilidad de los microorganismos del suelo al CO_2 aumenta cuando mejor aireado esté el suelo en condiciones de humedad normal.

La mala aireación afecta el crecimiento y funcionalidad radicular debido por los productos de reducción producidas por las bacterias cuando usan metabolismo anaerobio, a pesar que las raíces tienen eficientes sistemas de citocromo-oxidasa. Puede requerir que exista mayor concentración de oxígeno inmediatamente fuera de la epidermis de la raíz que en el exterior de la pared bacteriana pues el oxígeno en la raíz tiene que difundirse a través del protoplasma vivo de varias células o en los espacios de aire que rodean a varias células, para que toda la raíz esté bien aireada.

2.7.2. Aireación del suelo y crecimiento de los cultivos

Los suelos con drenaje insuficiente y mala aireación son comunes, se calcula que un 12 % de los suelos del mundo sufren exceso de agua. (Dudal, 1976) Viendo la gran variedad de suelos y climas en que se da la anaerobiosis, es de esperar una gran diversidad de adaptación a tales condiciones. Las raíces de las plantas necesitan oxígeno para su respiración y es el contenido en el aire del suelo la principal fuente. El flujo de oxígeno al suelo, como respuesta a la respiración de las raíces y microorganismos es unos 7 a 35 g/m²/día durante el verano en climas templados y más o menos la décima parte en el invierno. La cantidad de oxígeno disuelto en agua del suelo normalmente no es mayor a 3 g/m³ de suelo. En suelos inundados, el crecimiento y desarrollo de las raíces puede ser afectado antes que se de el agotamiento total de oxígeno en los tejidos (anoxia). Los efectos principales son: mayor contenido de etileno y disminución de la concentración interna de oxígeno (hipoxia). Las especies que producen etileno lentamente como el arroz, producen un mayor alargamiento de sus raíces, mientras que las que producen etileno rápidamente, inhiben el alargamiento (Konning y Jackson, 1979) como en la mostaza blanca. La falta de oxígeno en el suelo da como resultado una serie de reducciones químicas y bioquímicas que contribuye a daño adicional a las raíces, a la par pueden acumularse, en concentraciones perjudiciales para el metabolismo radicular, sustancias tóxicas como NO²⁻, Mn²⁺, Fe²⁺, y S- junto con metabolitos microbianos también perjudiciales.

La respiración anaeróbica de las raíces puede formar productos (etanol, acetaldehído) que son dañinos en altas concentraciones. Se cree que más que el etanol, es la producción insuficiente ATP para el crecimiento y mantenimiento, la causa de la muerte celular. (Sagolio, 1980).

En muchas especies herbáceas de zonas húmedas, las raíces desarrollan cavidades llenas de gas (aerénquima) incrementando así el área transversal para la difusión gaseosa. La formación del aerenquima parece contribuir a la supervivencia de muchas especies y su formación incluso en condiciones aeróbicas, está controlada genéticamente como sucede con arroz y pastos tropicales que crecen bajo inundación. La formación de raíces adventicias aéreas producidas en la base del tallo contrarresta la muerte de raíces por saturación y su estructura permite el paso de iones al xiléma y, por lo tanto, su translocación al tallo (Drew y Lynch, 1980).

2.8. Profundidad

La profundidad del suelo puede ser definida como el espesor del material edáfico favorable para la penetración de las raíces (cuadro 4). Suelos profundos, con buen drenaje, de textura y estructura deseables son adecuados para la producción de los cultivos, ya que las plantas necesitan una cierta profundidad para su buen desarrollo que permitan a su sistema radicular disponer de agua, nutrientes y aire (O_2).

Cuadro 4. Contenido de aire de diversos suelos, medidas a capacidad de campo (cc)

Suelo	Profundidad (cm)	Contenido aire (%)
Arcilloso rico en calcio	0 - 20	11.9
	20 - 47	3.5
	47 - 65	0.0
	65 - 80	1.9
Arcilloso humoso	0 - 20	18.9
	20- 35	9.4
	35 - 47	10.3
	47 - 57	10.8
	57 - 80	11.8
Hidromórfico arenoso	0 - 15	7.8
	15- 33	7.4
	33 - 46	1.9
	46 - 54	9.1
	54 - 70	10.0
Hidromórfico (pseudogley)	0 - 16	5.9
	16 - 28	0.5
	28 - 47	0.9

Fuente: Feverstack (1969), citado por Primavesi (1980).

Cuadro 5. Relación entre profundidad útil del suelo y productividad

Profundidad cm	Productividad relativa %	
30	35	
60	60	
90	75	
120	85	
150	95	
180	100	

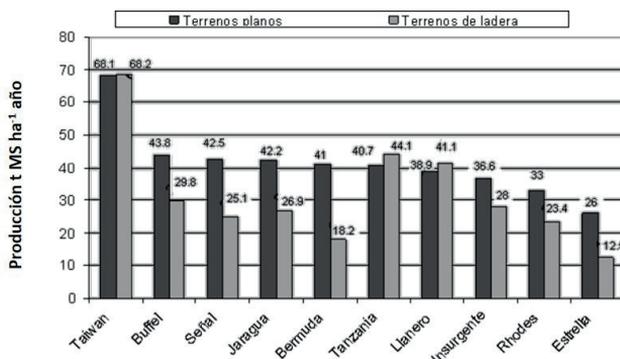
Fuente: Ortiz y Ortiz (1990)

La profundidad de las raíces puede ser limitada por barreras físicas (capas endurecidas como el tepetate) y químicas (estratos con alto contenido de sales o con pH extremo) y por niveles freáticos elevados. Otro factor de física de suelos es lo relacionado con la dureza del suelo. Al respecto, Arima y Tanaka (1988), citados por Primavesi (1980), encontraron que la elongación de las raíces seminales del maíz y otros cereales de verano se redujo en un 20 % de longitud normal en suelo cuya dureza fue de 3 kg cm^{-2} y en más del 30 % a 5 kg cm^{-2} . La raíz seminal principal del maíz no pudo penetrar en el suelo a 5 kg cm^{-2} de dureza. La elongación de la plúmula fue también afectada.

2.9. Efecto de la pendiente en la producción de forrajes

La pendiente se refiere al grado de inclinación que tiene un terreno. Por ello, se clasifican en suelos planos (sin pendiente); inclinados con cierto desnivel y de ladera ubicadas en las faldas de las montañas. La importancia agrícola de la pendiente se relaciona con el grosor de la capa del suelo. Así en un suelo plano suele tener un mayor grosor y mayor fertilidad. Mientras un suelo inclinado (ladera) es común que sea delgado, ocasionado por la erosión pluvial y a la par suele presentar menor fertilidad por el arrastre del propio suelo y de los nutrientes que contiene.

Figura 3. Producción de forraje (t MS ha⁻¹ año⁻¹) de diversos pastos en suelos planos de los valles y en laderas de montaña en la frailesca Chiapas (Moreno y Vázquez 1998). Esta figura ilustra las distintas respuestas que presentan los pastos, creciendo en un mismo clima y diferente pendiente del suelo. Esta diferencia suele ser mayor cuando varía tanto el clima (lluvias principalmente) como el suelo (fertilidad).



Fuente: Moreno y Vázquez (1998)

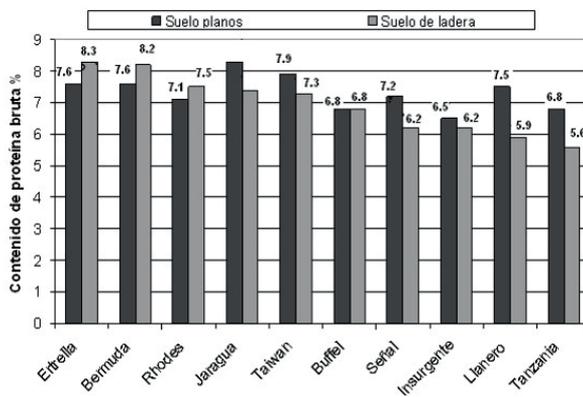
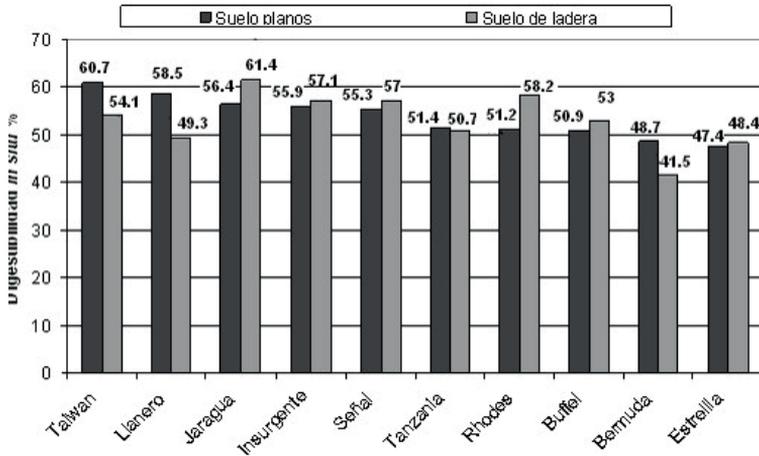


Figura 4. Contenido de proteína cruda en diversos pastos, creciendo en suelo planos y de ladera en la Frailesca, Chiapas.



Fuente: Moreno y Vázquez (1998)

Bibliografía

- AGRONOMY HANDBOOK. A&L Agricultural Laboratories. U.S.A.
Manual de Consulta Agropecuario. Editorial Hemisferio Sur. Argentina.
- Dagg, M. /1969). Hydrological implications of grass root studies at a site in East Africa. *J. Hydrology*. (9), pp. 438-444.
- Dudal, R. (1976). Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soil. M. J. Wright, (Ed). Spec. Pub. Cornell. Univ. Agric. Exp. Sta, p. 3.
- Drew, M. and J. M. Lynch (1980). *Ann. Rev. Phytopath*, pp. 157-350.
- Edafología y manejo de suelos I y II (1994). Facultad de Ciencias Agrarias U.C.A.
- Gregory, P. J. (1973). El agua y el crecimiento de los cultivos. Wild A. (orig), Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, pp. 355-394.

- INTA (1974). Carta de Suelos de la República Argentina. Talleres del Instituto Salesiano, Argentina. Revisado, corregido y ampliado por Ing. Agr. Marcelo Palese para Nidera S.A.
- Konning, H. and Jackson, M. (1979). Z. Pflanzenphysiol, pp. 92-385.
- Larcher, W. (1975). Physiological Plant Ecology. Springer-Verlag.
- Landsberg JJ, Blanchard TW, Warrit B (1976). Estudios sobre el movimiento del agua a través de los manzanos. J Exp Bot (27), pp. 579-596
- Moreno G.J. y A. Vázquez, O. (1998). Producción, contenido de ormigón cruda y digestibilidad de diferentes pastos crecientes en suelos planos y de ladera en la Frailesca, Chiapas. Tesis para Ingeniero Agrónomo Zootecnista. UACH. Chapingo.
- Manual de fertilidad medioambiente suelos y nutrientes S/F*, Agronomy Handbook, A&L Agricultural Laboratories, U.S.A., Nidera S.A.
- Primavesi A. (1980). *Manejo ecológico del suelo*. Ed. Ateneo, Buenos Aires, pp. 95-122.
- Porta et al., (1999). *La acidéz y la basicidad del suelo afectan diversas propiedades, su comportamiento y crecimiento de las plantas*.
- Salter, P. J. and J. B. Williams (1965). J. Soil. Sci., pp. 34-310.
- Sagolio, P. H. et al., (1980). Plant Physiol, pp. 66-1053.
- Trare, I. D. et al. (1973). Agron J., pp. 65-207.
- Vernet, Emilio P.A. (1998). *Manual de Consulta Agropecuario*. Editorial Hemisferio Sur. Argentina.
- Wild, A. (1992). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Waring, R. H. et al. (1979). Plant Cell Environ, pp. 2-309.

CAPÍTULO III
PROPIEDADES Y
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

3.1. Mineralogía

Cuadro 6. Elementos esenciales

Plantas	Animales	Contenido normal del suelo	
		Medio	Extremos
Elementos mayores			
Carbono	Carbono	2,0%	0,7 - 50%
Hidrógeno	Hidrógeno		
Oxígeno	Oxígeno		
Nitrógeno	Nitrógeno	0,2%	< 0,002 - > 2.5%
Fósforo	Fósforo	0,04%	0,002 - 0.6%
Potasio	Potasio	1,8%	0,005 - 7.9%
Azufre	Azufre	433	3 - 8.200
Calcio	Calcio	2,0%	0,01 - 32
Magnesio	Magnesio	0,83%	0,005 - 16%
*	Sodio	1,1%	< 0,005 - 10%
m	Cloro	485	18 - 806
Micronutrientes			
Boro	*	38	0,9 - 1.000
Cloro	M	485	18 - 806
*	Cobalto	12	0,3 - 200
*	Cromo	84	0,9 - 1.500
Cobre	Cobre	26	2,5 - 60
*	Flúor	270	6 - 7.070
*	Yodo	7	< 0,09 - 80
Hierro	Hierro	3.2%	0.001 - 21%
Manganeso	Manganeso	761	< 1 - 18.300
Molibdeno	Molibdeno	1.9%	0,07 - 5

*	Níquel	34	0,1 - 1.523
*	Silicio (1)	60%	50 - 70%
*	Selenio	0.41%	0,03 - 2
*	Estaño	5.8%	0,1 - 40
*	Vanadio	108	3 - 1.000
Cinc	Cinc	60	1,5 - 2.000

Nota: M= Macronutriente; m= micronutriente, * = no está aprobada su esencialidad; (1) expresado como SiO₂. Las unidades son mg Kg⁻¹, excepto donde se indica % para definición de la esencialidad de los elementos en las plantas.

Fuente: Adaptado de Ure y Berrow (1982))

3.2. El intercambio iónico. Reacciones de superficie: Absorción e intercambio iónico

3.2.1. Posición de los elementos químicos en el suelo

Los elementos químicos constituyentes del suelo pueden ocupar distintas posiciones:

En la fase sólida

- Inmovilizados en una estructura mineral cristalina, en aluminio-silicá todos amorfos y en compuestos orgánicos.
- Los elementos en la red cristalina se hallan en ella desde que se formó el mineral y hasta que los procesos de meteorización vayan liberándolos. Este proceso suele ser lento y prolongado.

En la inter fase solido-líquido.

- Localizados en la superficie de determinadas partículas y en su área de influencia. Aquí tienen lugar reacciones de superficie con uniones de distintos tipos entre el elemento y la superficie.

En la fase líquida

- El agua del suelo suele contener elementos nutrientes en solución, así como partículas sólidas en suspensión: material coloidal soluble o poseudosoluble. Los iones disueltos precipitan al secarse del suelo y al añadir agua vuelven a disolverse. La reacción con un líquido se le llama solvatación y en el caso de un ión con agua se la llama hidratación. Como resultado de la hidratación, una serie de moléculas de agua quedan rodeando (envolviendo) a cada ión.

3.3. Capacidad de intercambio catiónico

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida de la capacidad de un suelo o material de un suelo de retener cationes intercambiables. Se define como la cantidad de cargas negativas por unidad de suelo que puede ser neutralizado por cationes (ion con carga positiva) en el proceso de intercambio.

Los cationes de mayor importancia en relación al crecimiento de las plantas, son calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+), sodio (Na^+), hidrógeno (H^+) y el amonio (NH_4^+). Los primeros cuatro son nutrientes más demandados por las plantas y actúan en el crecimiento de ellas. En suelos ácidos los sitios de intercambio son ocupados, en gran parte, por hidrógeno y aluminio en varias formas. Las clases, cantidad y combinación de materiales arcillosos, la cantidad de materia orgánica y su estado de descomposición contribuyen a la CIC. Los cationes no son retenidos con la misma energía. Los sitios de intercambio de la materia orgánica retienen a los cationes en forma débil, en cambio las arcillas tienden a retener cationes divalentes como Ca^{2+} y Mg^{2+} con más energía que el K^+ . Estas características pueden afectar la disponibilidad de nutrientes.

Si la CIC está neutralizada con Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ se dice que está saturada de bases. Si la mayor parte de los cationes básicos han sido removidos, el suelo está bajo en saturación de bases y alto en saturación ácida. La CIC generalmente se expresa en miliequivalentes de hidrógeno por 100 gramos de suelo (100g meq^{-1}). Por definición, se considera que un equivalente es el peso de un elemento que desplaza un peso atómico de hidrógeno. En el laboratorio, la CIC se mide como la suma en partes por millón (ppm) de los cationes desplazados, estos valores son llevados a “meq/100g” de suelo.

La existencia de superficies cargadas negativamente implica que haya iones de signo positivo relacionados con tales superficies, para que se cumpla el principio de la electroneutralidad del sistema. Los cationes solvatados, al ser adsorbidos en la superficie, forman complejos de superficie que resultan menos estables porque son enlaces débiles y esto les da la característica de ser intercambiables.

Cuando la superficie de la partícula de suelo tiene carga positiva, entonces se produce el intercambio con aniones (CIA), si la carga es negativa entonces se da el intercambio de cationes (CIC). Cabe señalar que el intercambio catiónico se representa con mayor frecuencia que el intercambio aniónico. Los suelos desarrollados a partir de materiales volcánicos (andosoles) o los suelos ácidos de zona tropicales y, en general, aquellos que tienen cargas variables pueden presentar capacidad de adsorber aniones (CIA). Esta es mayor en suelos con cantidades importantes de óxidos de aluminio, de hierro y de constituyentes tales como la alófona (Porfitt, 1978). Los suelos con arcillas caoliníticas en condiciones

de acidez pueden presentar carga eléctrica positiva desarrollada en los bordes de las partículas de arcilla.

Al aumentar la CIA, disminuye la CIC, como se observa al comparar suelos jóvenes y suelos muy meteorizados. La baja adsorción de aniones puede afectar a la nutrición de las plantas al no estar a disposición de estos iones esenciales como fosfato, sulfatos, nitratos y otros. Esto se aprecia en andosoles donde el problema es la deficiencia de fósforo. Aquí la retención de fosfato por compuestos orgánicos suelen ser complejos precipitados o de difícil solubilización.

3.3.1. Cationes intercambiables

Los cationes intercambiables proceden de la meteorización del material originario del suelo, de la mineralización de la MO y aportes externos superficiales (fertilización y abonos) y del subsuelo. En la naturaleza, raramente se puede encontrar un complejo de intercambio con una especie iónica única (es decir un solo ión nutriente). En general, los cationes intercambiables más frecuentes son menos de 10 y la presencia y predominio de uno u otros dependerá de las condiciones del medio y de las interacciones en la interfase. Los cationes intercambiables de la fase sólida suelen hallarse en una proporción considerablemente mayor que los cationes en solución. Éstos solo representan un 1% o menos, excepto en los suelos salinos. El régimen de humedad que percola los elementos nutrientes básicos produce una acidificación progresiva por la pérdida de bases hidrosolubles (lavado nutrimental).

3.4. Reacción del suelo (pH), acidez y basicidad

La acidez, la basicidad, las propiedades del suelo y el crecimiento de las plantas. La reacción de un horizonte del suelo se refiere al grado de acidez o basicidad del horizonte, usualmente expresada en un valor de pH. La expresión reacción del suelo se halla extendida frente al del pH del suelo, debido a que se quiere indicar que se trata de un sistema que es la suma de diversos procesos químicos que interaccionan (Blaque, 1974, citado por Porfitt, 1978). Esto desde un punto de vista químico no resulta totalmente correcto, por ser poco precisa tal expresión, ya que las reacciones del suelo pueden ser de naturaleza muy diversa, a demás del pH.

La concentración de H^+ y OH^- varían inversamente:

- En sistemas naturales, el intervalo de pH más comúnmente encontrados se extiende de: 3.0 (suelo de sustratos ácidos) hasta 12.0 (suelos alcalinos).
- La acidez y basicidad de un horizonte vienen determinados por los cationes adsorbidos sobre los minerales de arcilla y la MO.

Los efectos perjudiciales de acidez no se manifiestan hasta valores inferiores de pH de 5.5 por la toxicidad de aluminio y la poca disponibilidad de los elementos nutrientes

Cuadro 7. Principales efectos esperados en el pH del suelo

pH.	Calificación.	Efectos probables en el intervalo.
< 4.5.	Extremadamente ácido.	Condiciones desfavorables para el cultivo.
4.5 - 5.0.	Muy fuertemente ácido.	Posible toxicidad por Al^{3+} y Exceso: Co, Cu, Fe, Mn y Zn. Suelos con carbonatos de calcio. El cemento (hormigón) ordinarios atacado. Escasa actividad bacteriana.
5.1 - 5.5.	Fuertemente ácido.	
5.5 - 6.0.	Medianamente ácido.	Intervalo a partir del cual implica a ser favorable para la mayoría de los cultivos. Máxima disponibilidad de nutrientes. Mínimos efectos tóxicos. Por debajo del pH = 7.0 el carbonato de calcio no es estable en el suelo.
6.1 - 6.5.	Ligeramente ácido.	
6.6 - 7.3.	Neutro.	
7.4 - 7.8	Medianamente básico.	Suelo generalmente con $CaCO_3$. Disminuye la disponibilidad de P y B. Deficiencia creciente de Co, Cu, Fe, Mn, Zn. Suelos calizos, clorosis férrica por HCO_3^-
7.9 - 8.4	Básico.	
8.5 - 9.0.	Ligeramente alcalino.	Suelos con carbonatos, el alto pH puede afectar la disponibilidad de $MgCO_3$ si no hay sodio intercambiable. Mayores problemas de clorosis férrica.
9.1 - 10	Alcalino.	Presencia de carbonato sodico. Elevado porcentaje de sodio intercambiable (ESP > 15%). Toxicidad por Na y B. La movilidad del P es en forma de Na_3PO_4 Escasa actividad microbiana. Micronutrientes poco disponibles, excepto Mo.
> 10	Fuertemente alcalino.	

Fuente: Porta et al. (1999). La acidéz y la basicidad del suelo afectan diversas propiedades, su comportamiento y crecimiento de las plantas.

Cuadro 8. Efecto del pH sobre el suelo

<p>Propiedades físicas afectadas.</p> <p>Dispersión-floculación de los coloides: iluviación.</p> <p>Estructura.</p> <p>Porosidad y aeración.</p> <p>Conductividad eléctrica.</p> <p>Régimen hídrico y térmico.</p> <p>Propiedades químicas afectadas.</p> <p>Meteorización química.</p> <p>Movilidad de elementos tóxicos: Al, Mn y metales pesados.</p> <p>Biodisponibilidad y disponibilidad de nutrientes: Ca, Mg, Mo, P.</p> <p>Descomposición de la materia orgánica.</p> <p>Adsorción de iones: fosfato, sulfato, cloruros.</p> <p>Proceso de hidromorfismo.</p> <p>Neoformación de minerales de arcilla.</p> <p>Propiedades biológicas afectadas.</p> <p>Relaciones-bacterias hongos.</p> <p>Población y actividad bacteriana.</p> <p>Nodulación y fijación de N en leguminosas.</p> <p>Humificación.</p> <p>Hongos micorrízicos.</p> <p>Movilidad y absorción de nutrientes.</p>
--

Fuente: Porta et al. (1999)

Generalmente, no es posible el cultivo a pH inferiores a 4.5 y superiores a 10.0, al menos que se seleccione especies específicas o se tenga que corregir el pH. Cada planta representa su mayor vigor y productividad dentro de un cierto intervalo de valores de pH, fuera de este rango, los cultivos tienen menor desarrollo y rendimiento. Se entiende por

ácido toda sustancia química capaz de ceder protones (H^+), mientras una base es aquella que es capaz de aceptar protones. Así, un ácido es tanto mayor fuerte cuanto mayor es su capacidad de ceder protones. Paralelamente, una base es tanto más fuerte cuando mayor es su capacidad de aceptar protones.

3.5. Salinidad y sodicidad

Los suelos en los que se produce una acumulación de sales más solubles que el yeso, suficientes para afectar el crecimiento de la mayoría de los cultivos y de otras plantas no adaptadas, se les llaman suelos salinos. Aquellos suelos que contienen suficiente sodio intercambiable para que afecte adversamente la producción de los cultivos y la estructura de la mayoría de los suelos, se les denomina suelos sódicos que corresponden con los Solonetz de la FAO (1998). Los suelos que contienen más sales solubles de yeso y sodio intercambiable se conocen como suelos salinos-sódicos.

El origen de la salinidad se da fundamentalmente en zonas áridas y semiáridas donde la precipitación es escasa y la alta evaporación provoca que al llover se humedezcan el perfil del suelo que disuelve las sales que contiene para luego por la alta insolación el agua tienda a subir por capilaridad hacia la superficie donde se evapora dejando las sales en la superficie del suelo. Como este proceso se repite constantemente a lo largo de muchos años, provoca la acumulación excesiva de sales.

El efecto de la salinidad sobre las plantas no halófitas se aprecia en el cuadro siguiente:

Cuadro 9. Efecto de la salinidad sobre las plantas

* Un retardo o impedimento en la nacencia.
* Una menor área foliar y tamaño de la planta, el crecimiento es más lento y no llega a ser completo.
* Menor producción de materia seca.
* Quemaduras en los bordes de las hojas necrosadas.
* Hojas de un color verde más oscuro que en plantas normales.
* Disminución de los rendimientos de los cultivos.
* Muerte de la planta antes de completar su desarrollo, si las condiciones se mantienen extremas.

Fuente: Bernstein (1970), citado por Porta et al. (1999). Esta alta concentración del carbonato sódico provoca la dispersión de la materia orgánica y da al suelo un color negro.

Bibliografía

- Porfitt, R. L. (1978). Anion adsorption by soils and soil materials. *Adv. Agronomy* (30), pp.1-50.
- Porta et al. (1999). *La acidéz y la basicidad del suelo afectan diversas propiedades, su comportamiento y crecimiento de las plantas.*
- Ure, A. M. and Berrow, M. L. (1982). *Environmental Chemistry*, 2. Specialist Periodical Reports (ed. H. J. M. Bowen), R. Soc. Chem., Londres.

CAPÍTULO IV
MATERIA ORGÁNICA
Y MICROBIOLOGÍA DEL SUELO

MATERIA ORGÁNICA Y MICROBIOLOGÍA DEL SUELO

4.1. Materia orgánica

Los horizontes superficiales de los suelos de cultivo suelen contener entre 1 y 3 % de materia orgánica. Pero este valor se eleva en suelos de pradera y forestales, en especial si tienen mal drenaje. La materia orgánica (MO) está compuesta de tejidos muertos vegetales y animales poco alterados y de productos temporales procedentes de su descomposición que forman un material pardo oscuro o negro, donde no se distinguen los residuos originales al que se le llama humus. La MO en general se compone de 95 % de restos vegetales y 5 % de origen animal, particularmente micro y macroorganismos del suelo (Jenkinson y Ladd, 1981). El contenido de MO suele disminuir rápidamente con la profundidad.

Si bien, la MO edáfica se conforma mayoritariamente de carbono, hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Fósforo y Azufre, y en mínimas proporciones por los otros elementos minerales traza. También existen en los suelos azúcares libres, aminoácidos, ácidos grasos, lípidos. Los carbohidratos representan entre 10 al 20 % del carbono orgánico, los cuales se ubican como productos microbianos sintetizados *in situ*. También existen aminoácidos libres y en polímeros con valores del 30 al 45 % del nitrógeno, en los perfiles superficiales. Los aminoácidos representan entre un 5 y 10 % adicional (Allison 1973, Cheshire 1979).

4.1.1 Humus

Si bien los suelos suelen contener un bajo porcentaje de humus, este tiene efectos muy importantes sobre la fertilidad del suelo, a través de

la capacidad e intercambio iónico, contribuyendo cuando menos con el 50 % o más del intercambio catiónico (CIC). En general, la capacidad de intercambio del humus en suelos bien drenados y cercanos a la neutralidad varía entre 300-500 meq/100g de carbono orgánico. Este valor disminuye en suelos ácidos alrededor de 50-120 meq/100g., el descenso puede deberse a que, motivado por la acidez, mucho del carbono orgánico no está totalmente humificado y ello ocasiona menor capacidad de intercambio del humus. Se acepta que la CIC aumenta conforme el pH se eleva, por eso los suelos ácidos mejoran su fertilidad conforme su pH se acerca hacia la neutralidad. De los grupos funcionales presentes en el humus, los grupos ácido carboxílico, son de los más importantes debido a su contribución a la CIC. Los grupos R-COOH en la mayoría de los pH de los suelos, se presentan disociados como R-COO⁻ + H⁺.

4.2. Microbiología de la rizosfera

Los microbios del suelo por su tamaño microscópico suelen pasar desapercibidos por los productores, pero este pequeño tamaño se ve compensado por su presencia en poblaciones muy elevadas (son densidades normales 10 millones a 1,000 millones de bacterias por gramo de suelo 10^7 a 10^9 respectivamente), tal densidad de microbios produce actividades microbiológicas fundamentales que afectan la fertilidad del suelo y con ello el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Sin la actividad vital de los microbios, la tierra no tendría fertilidad porque no habría transformaciones de la materia orgánica y esta se acumularía como material muerto sin gran beneficio a las plantas que allí crecieran. Los microbios del suelo se componen de bacterias, actinomicetos, hongos, algas (microflora), de los protozoos y nemátodos (microfauna)

y de los colémbolos ácaro, hormigas, escarabajos (mesofauna). Estas microfaunas realizan degradaciones y reciclan los nutrientes como carbono, nitrógeno, fósforo y otros minerales, producen sustancias y exudados que crean condiciones favorables para que vivan los propios microbios y las raíces de las plantas, necesarias para su desarrollo y rendimiento.

Las plantas pueden crecer en medios totalmente estériles bajo condiciones especiales siempre que repongan los nutrientes absorbidos por las raíces (hidroponía, por ejemplo). Pero en condiciones normales, ésta reposición la dan los microorganismos al liberar los nutrientes inorgánicos a partir de las reservas orgánicas del suelo, de la materia orgánica y de su propio cuerpo cuando mueren, a una velocidad suficiente para satisfacer el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Incluso los fertilizantes químicos tienen que sufrir transformaciones para ser absorbidos por las raíces. Así, la actividad biológica de los suelos, resultado de estas funciones, propician a las plantas superiores un medio ambiente adecuado para su desarrollo, incluyendo de los propios microbios.

Los organismos necesitan alimentos para obtener energía para sus funciones fisiológicas (catabolismo) y para formar sus tejidos (anabolismo). Según la fuente utilizada para obtener energía y carbono, los microorganismos se dividen en cuatro categorías:

1. Químico heterótrofos: aquellos que necesitan nutrientes orgánicos pre elaborados como la glucosa.
2. Fotoheterótrofos: que utilizan sustratos orgánicos, pero pueden obtener alguna energía a partir de la luz solar.
3. Foto autótrofos (fotosintéticos): que obtienen toda su energía de la luz.
4. Químico autótrofos: que obtienen su energía de la oxidación de compuestos inorgánicos.

4.3. Población microbiana

Los suelos poseen una amplia variedad de formas biológicas, con tamaños y formas muy diferentes como virus, bacterias, hongos, algas y fauna pequeña (protozoos), hasta meso fauna como lombrices, escarabajos y hormigas.

4.3.1. Bacterias

Las bacterias son los microorganismos más numerosos del suelo (unos 200 millones de células por gramo de suelo) y presentan la mayor diversidad en su fisiología. Todas las bacterias son capaces de vivir saprofiticamente jugando un papel importante en los procesos generales de descomposición de la materia orgánica. Hay bacterias autótrofas que oxidan el amonio y los nitritos como *Nitrosomonas* sp., y *Nitrobacter*, otras oxidan el azufre (*Thiobacillus* sp), otras son fijadoras del N como las Cianobacterias.

4.3.2. Actinomicetos

Son bacterias filamentosas y pueden excretar vitaminas, sustancias del crecimiento y antibióticas. La gran mayoría de actomicetos son saprofiticos, otros causan enfermedades a las plantas y otras pueden fijar N atmosférico en simbiosis con plantas no leguminosas. Los actinomicetos son aeróbicos y no viven en suelos encharcados, predominan más en suelos calientes que en frío y toleran poco la acidez.

4.3.3. Hongos

Los hongos son el segundo grupo de microorganismos del suelo más grandes del suelo y la dominancia dependerá de las condiciones del suelo especialmente pH y humedad. Los hongos edáficos producen abundantes micelios (hifas) que se extienden dentro o sobre el suelo bajo

la hojarasca llamadas rizomorfos, formados por masas de filamentos individuales (hifas) enmarañados. Los hongos del suelo también se reproducen por esporas. Estas hifas suelen tener de 5 a 20 μm de diámetro en promedio, pero las hay más finas (2 μm) o más gruesas (30 μm). Un tamaño semejante tiene las esporas, aunque algunas alcanzan los 100 μm de diámetro. Un grupo importante de hongos son las micorrizas.

Todos los hongos del suelo son heterótrofos. Incluyen especies que no tienen N, que necesitan este nutriente, ya sea de forma mineral o de compuestos orgánicos nitrogenados. Otras especies tienen diferentes exigencias en cuanto a sustratos carbonados, variando de las que necesitan hidratos de carbono, alcoholes y ácidos orgánicos sencillos hasta aquellos capaces de degradar los compuestos polimerizados como la celulosa, lignina y la fibra en general. Otros son parásitos obligados de los vegetales superiores o aquellos que viven en simbiosis como las micorrizas. Se acepta que las bacterias y hongos son los componentes más importantes de la micro flora edáfica, pero se ignora cual es la contribución que ambos grupos ejercen sobre la biomasa y a la actividad biológica de los suelos. Según su alimento principal, los hongos del suelo se dividen en: Los hongos metabolizadores de azúcares que digieren a los componentes vegetales sencillos y relativamente fáciles de degradar hasta descomponerlos en celulosa y lignina. Estos hongos degradadores de azúcares son típicamente ficomicetos.

Otros hongos descomponen la celulosa como los basidiomicetos, ascomicetos, deuteromicetos en su mayor parte. Estos hongos son intermediarios entre los que degradan los azúcares y la lignina. Los hongos que atacan a la lignina edáfica son especies más evolucionadas de los basidiomicetos que están especializados en degradar la celulosa y lignina.

4.4. Mineralización de la materia orgánica

Las exigencias de los microorganismos edáficos en energía, nutrientes, agua, temperaturas adecuadas y ausencias de condiciones nocivas son similares a las requeridas por las plantas cultivadas. La mayor diferencia entre ellos reside en la fuente de energía. Las plantas verdes lo obtienen de la radiación solar (fotosíntesis y calentamiento), mientras los microorganismos del suelo de los residuos de las plantas o de plantas vivas. Así, los microbios edáficos pueden obtener su energía directamente de la planta viva si actúan como parásitos o del exudado de las raíces. Pero la mayor proporción de energía la obtienen de los tejidos muertos incorporados al suelo. Otros microbios (depredadores) reciben su energía al descomponer los cuerpos de otros microorganismos.

Una materia vegetal rica en energía y nutrientes (N, P, S) dará más alimento a estos microbios (como plantas leguminosas, plantas jóvenes, abonos verdes) que aquellas envejecidas y pobre en nutrientes (rastros, pajas, plantas maduras). Siendo la materia orgánica el principal sustrato alimenticio de los microorganismos del suelo, es de comprender que, a mayor contenido de este producto, habrá mayor población microbiana y mayor actividad y diversidad de la misma. Una de las contribuciones más importantes de los microbios del suelo es la producción de CO_2 hacia la atmósfera externa. Por ello, a consecuencia de una mayor población y mayor actividad, habrá mayor aportación de CO_2 al aire externo. Esto tiene gran significancia en los cultivos cuando se usan altas densidades de población, cuyas plantas absorben mayor cantidad de CO_2 para su fotosíntesis y suelen inducir una merma en, el CO_2 que circula entre las plantas a un nivel tal que la fotosíntesis se hace mínima o se suspende por falta de CO_2 . Aquí la producción de CO_2 microbiano proveniente del suelo coadyuvará a reponer esa escasez de CO_2 y permite a las

plantas reanudar o intensificar su fotosíntesis. Por ello, la importancia de la materia orgánica en el suelo.

Otro de los factores que más afectan la actividad microbiana es la humedad del suelo. La sequedad o el exceso afectan a la mayoría de los microbios, si bien pueden favorecer a unos y perjudicar a otros. Tal situación, en términos prácticos nos indica que en época de secas la actividad microbiana disminuye, se eleva conforme llueve y para algunos casos, la acumulación de agua o el anegamiento, otros microbios merman su actividad.

Semejante a la humedad, la temperatura del suelo afecta la actividad de los microorganismos del suelo. Y esta es alta a mayor temperatura y menor cuando el suelo se enfría. Esto adquiere mayor importancia en suelos de climas templados, donde la oscilación térmica es muy grande. Pero es menos determinante en suelos tropicales donde el rango de variación es menor y en general los suelos se mantienen ligeramente calientes en el invierno y más calientes en primavera-verano. No hay temperaturas frías en los suelos tropicales con excepción de los llamados tropicales de altura A(C), que por su altitud se comportan como templados.

4.4.1. Enzimas del suelo

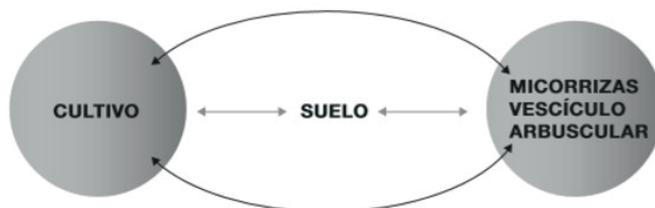
Se ha comprobado que la actividad metabólica de todos los seres vivos del suelo sean microorganismos animales o raíces, esta regulada por la acción catalítica de enzimas que actúan sobre diferentes tejidos o interviniendo en diversos procesos. Varios tipos de enzimas como las que intervienen en producción de energía (enzimas respiratorias) o en la síntesis celular, no funcionan o no pueden vivir fuera de las células vivas. Otras de este tipo solo actúan en forma secuencial, en cadenas o ciclos de actividad. Otras tienen funciones extracelulares, por ejemplo,

las hidrolíticas que degradan y solubilizan los sustratos orgánicos del suelo para liberar los nutrientes que pueden ser tomados en los microorganismos, tal es el caso de los productos de la descomposición de la materia orgánica (proteína, celulosa, quitina, lignina, minerales).

4.5. Microorganismos benéficos: Fijadores de nitrógeno y micorrizas

4.5.1. Micorrizas

Figura 6. Sistema micorrizas



Fuente: Agronomy Handbook, A&L Agricultural Laboratories S/F

Las micorrizas son asociaciones simbióticas que se desarrollan entre ciertos hongos microscópicos del suelo y las raíces de la mayoría de las plantas superiores. La planta transfiere al hongo carbohidratos, proteínas y vitaminas, mientras que el hongo desarrolla un sistema muy eficaz

para capturar ciertos nutrientes minerales y transferirlos a la planta hospedadora. Se clasifican en dos grupos:

Ectomicorrizas: el hongo se desarrolla exteriormente formando una especie de manto que rodea a la raíz. Algunas hifas del hongo penetran en el interior y forman una red entre las células de la corteza de la raíz, pero no penetran en el interior de las células.

Endomicorrizas: las hifas del hongo se desarrollan en el exterior y en el interior de la raíz. Las primeras no forman manto alrededor de la raíz y las segundas se extienden entre las células y dentro de las células corticales. Las más extendidas dentro de este grupo son las denominadas vesículo-arbusculares (VA) que son redondeadas y ramificadas.

Los microorganismos provocan cambios en los compuestos nitrogenados del suelo, induciendo:

- Liberación de nitrógeno a partir de compuestos orgánicos.
- Oxidación del amonio para producir nitrito y nitrato.
- Reducción de nitratos a nitrógeno elemental (N_2) y sus óxidos especialmente óxido nitroso.
- Fijación del nitrógeno atmosférico.

Así, los microorganismos del suelo influyen mucho en el ciclo del nitrógeno en el sistema suelo-planta-atmósfera y en las transformaciones más importantes para la nutrición vegetal son predominantemente microbianas, tal como se ilustra a continuación.

Cuadro 10. Transformaciones microbianas del nitrógeno en el suelo

Procesos	Microbios principales
Amonificación. (N orgánico→amonio)	Heterótrofos saprófitos y depredadores incluyendo bacterias, hongos y protozoos.
Nitrificación. (Amonio→nitrito→nitrato)	Principalmente bacterias autótrofas y otros grupos en menor cuantía.
Desnitrificación. (nitrato→dinitrógeno y óxido nitroso)	Principalmente bacterias heterótrofas
Nitro fijación. (dinitrógeno→amonio)	Bacterias, actinomicetos y algas verdes-azuladas (cianobacterias), libres o en simbiosis.

Fuente: Harris (2001)

4.6. Mineralización del nitrógeno orgánico del Suelo

La mineralización del nitrógeno se refiere a la transformación del N contenido en la materia orgánica donde se encuentra, principalmente, como grupo amino para formar iones inorgánicos como amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), que son las formas en que las plantas absorben el nitrógeno del suelo. Los organismos heterótrofos, sean bacterias, hongos o protozoos, requieren de la biomasa orgánica para obtener sus alimentos y formar la estructura de su cuerpo. Así, requieren del carbono combinado para producir energía mediante la respiración y también para la síntesis celular. Por ello, además del carbono, necesitan de la presencia de nitrógeno, fosforo y otros nutrientes minerales.

4.6.1. Nitrificación

Los microbios del suelo realizan el paso del N amoniacal del suelo para formar iones nitratos y nitritos. Así los *Nitrosomonas sp* son los responsables de la oxidación de los iones amonio a nitrito y los *Nitrobacter sp* realizan la etapa nitrito a nitrato.

4.6.2. Fijación simbiótica de nitrógeno por leguminosas

La fijación simbiótica que realizan las bacterias heterótrofas conocidas, generalmente como *Rhizobia*, asociados con leguminosas, es uno de los procesos microbiológicos de la mayor importancia en la producción agrícola debido a lo siguiente:

- La familia *Fabaceae* (*Leguminosae*) tiene gran trascendencia agrícola y pecuaria porque a ella pertenecen cultivos de gran valor alimenticio, económico y social tanto en climas tropicales como templados.
- Las fabaceas están ampliamente difundidas en el mundo y comprenden unas 12 mil especies entre arvenses y árboles de los cuales unas 50 especies son de amplio uso.
- La simbiosis señalada suele presentar una alta fijación del nitrógeno atmosférico y nutrir al cultivo para presentar buenas cosechas de gran valor nutricional.
- Los microorganismos responsables pueden aislarse con facilidad, reproducirse en laboratorios y en forma comercial sin perder su capacidad fijadora lo que facilita la selección de cepas y producción de inoculantes para su uso por los productores.

4.7. La Vida En El Suelo. Los Organismos y sus Interacciones

Comenta Labrador (2002) en coincidencia con Farrera-Cerrato y Alarcón (2007), que el suelo, además de ser soporte y fuente de nutrientes de las plantas, es también el hábitat de una amplia variedad de organismos, de hecho, los suelos albergan algunas de las comunidades biológicas más diversificadas del planeta. La dinámica de la vida en el suelo asegura la multiplicidad de los servicios ecológicos que en una gran variedad de condiciones ambientales suministra el suelo al conjunto de

la litósfera y la biosfera. La biodiversidad del suelo refleja la variedad de organismos vivos. El conocimiento que tenemos de la vida en el interior del ambiente suelo es todavía escaso debido a la heterogeneidad del mundo físico y químico, a la diversidad de microhábitat y a la complejidad de organismos que con su actividad promueven el desarrollo y mantenimiento de un número todavía mayor de microambientes. Por lo tanto, la dificultad de estudiar la biodiversidad del suelo y la necesidad de identificar metodologías comunes para tal finalidad continúa siendo uno de los desafíos más grandes en ciencia de suelo (Giller et al., 2005, citado por Labrador 2008).

En ecología, el concepto de diversidad tiende a ser aplicado al nivel de comunidad; así la diversidad es interpretada como el número de especies diferentes que conforman una comunidad en un lugar determinado, también denominado biodiversidad. Sin embargo, como es sabido, los ecosistemas y los agrosistemas tienen igualmente diversidad en el arreglo espacial de sus componentes y en sus interacciones. Por lo tanto, la diversidad tiene varias dimensiones ofreciendo mayor complejidad al concepto de diversidad-diversidad ecológica (Gliessman, 2002).

El reconocimiento cada vez mayor de la importancia de la vida en el suelo en relación con los servicios que presta a la sostenibilidad de los sistemas de producción, su relación con los procesos detoxificadores, con la fertilidad de suelo y con la salud de planta ha hecho que de nuevo se preste interés al estudio de la biodiversidad del suelo a un nivel más global e interno y a su manejo dentro de los sistemas agrícolas.

Los organismos del suelo aportan una serie de servicios fundamentales para la sostenibilidad de todos los ecosistemas. Son el principal agente del ciclo de los nutrientes, regulan la dinámica de la materia orgánica del suelo, la retención del carbono y la emisión de gases de efecto invernadero, modifican la estructura material del suelo y los regímenes del

agua, mejorando la cantidad y eficacia de la adquisición de nutrientes de la vegetación y la salud de las plantas. Estos servicios no sólo son decisivos para el funcionamiento de los ecosistemas naturales, sino que constituyen un importante recurso para la gestión sostenible de los sistemas agrícolas, pecuarios y forestales. En general los organismos del suelo se han clasificado en base al tamaño en microflora (1100 μm ejemplo. bacterias, hongos), microfauna (5120 μm como protozoos, nemátodos), mesofauna (de 80 μm a 2 milímetro, tal es el caso. Colémbolos y ácaros) y macrofauna (de 500 μm a 50 milímetros; lombrices y termitas). Las raíces de las plantas también pueden considerarse organismos edáficos debido a su relación con los demás elementos del suelo. Estos diversos organismos interactúan entre sí y con la vegetación en la matriz compleja y heterogénea del suelo.

El entramado de interacciones muestra la complejidad de la naturaleza en el suelo en función del tipo de interacción que se observa, se encuentra con redes de competidores, redes tróficas, redes mutualistas, redes de facilitación y redes micrófagos. La estructura de las redes ecológicas condiciona la mayoría de las funciones y servicios de los ecosistemas. El reciclado de nutrientes, los flujos de agua y de carbono, entre otras muchas funciones, se alteran cuando la arquitectura de estas redes se pierde. La diversidad de hábitat, de fuentes de alimentos y de tamaños en escalas que se extienden desde micrones a varios centímetros hace que sea difícil la identificación son un solo método que nos proporcione simultáneamente la información sobre todos los componentes de la biodiversidad. Sí se reconoce, que las medidas de su actividad proporcionan una comprensión mejor de la función biológica del suelo que el habitual recuento de organismos.

En relación con los animales del suelo, en los últimos 20 años, ha crecido el reconocimiento de la importancia que este grupo tenía para el

funcionamiento del mismo y para su dinámica en los agrosistemas. Por su mayor importancia agronómica destacaremos el grupo de los invertebrados que habitan en el suelo “a tiempo completo”. Las funciones que cumplen los invertebrados del suelo dependen en gran medida de la eficacia de su sistema digestivo el cual depende a su vez del tipo de interacción que realiza con los diversos microorganismos del suelo y de la naturaleza y la abundancia de las estructuras biológicas también denominadas estructuras biogénicas, que esos invertebrados producen en el suelo. Partiendo de estos dos criterios se pueden distinguir tres grandes grupos funcionales de invertebrados (Lavelle, 2001):

- Los microdepredadores. Este grupo incluye a los invertebrados más pequeños, los protozoos y los nemátodos. Estos organismos no producen ninguna estructura organomineral y su efecto principal es estimular la mineralización de la materia orgánica.
- Los transformadores de la hojarasca, tijerilla, hormigas, arrieras, entre otros, en este grupo se encuentran los representantes de la mesofauna y de parte de la macrofauna. Cuando estos invertebrados eliminan sus deyecciones, que sirven de incubadora de los microorganismos, asimilan los metabolitos liberados por la acción microbiana.
- Los pertenecientes a la macro y megafauna denominados como “ingenieros del ecosistema” que son aquellos invertebrados que producen estructuras físicas con las cuales modifican la disponibilidad y accesibilidad de un recurso para otros organismos; pudiendo modificar la estructura de otras comunidades de organismos tales como las lombrices, escarabajos, termitas y gusanos de mayor tamaño.

De las innumerables formas de vida que habitan en el suelo, solo un pequeño número de macroinvertebrados lombrices, termitas y hormigas se distinguen por su capacidad de formar estructuras biogénicas deyecciones, nidos, montículos, galerías, estructuras organominerales y macroporos. Según Lavelle (1996), la acción de estos “ingenieros del ecosistema” es muy importante a nivel edáfico ya que en las estructuras biogénicas suceden procesos fundamentales como la estimulación de la actividad microbiana, la biotransformación de la materia orgánica, el intercambio de agua y gas en el suelo o la formación de la estructura y su estabilidad. En la actualidad, la mayoría de los estudios dirigidos a descifrar las conexiones entre la estructura de la biodiversidad edáfica, su variabilidad y su función, muestran que la distribución de la vida del suelo en espacio y tiempo no se produce aleatoriamente en el suelo ni en forma homogénea, sino que está ligada a condiciones específicas donde ocurre una proporción mayor de actividad biológica, puntos que están asociados mayoritariamente con la disponibilidad de materia orgánica y la textura, la profundidad y humedad del suelo.

Estos puntos denominados dominios funcionales son lugares específicos del suelo influidos por un regulador principal que puede ser biótico ejemplo una lombriz o una raíz o un abiótico, por ejemplo, alternancia humectación/desecación en el suelo en los cuales se regulan procesos del suelo e indirectamente, recursos para otros habitantes del suelo. En estos lugares caracterizados mayoritariamente por el recurso orgánico que contienen hojarasca u otro tipo de materia orgánica el regulador biótico crea una serie de estructuras como deyecciones, galerías y fisuras que son ocupadas por invertebrados más pequeños y por microorganismos. Wolters (2001) distingue entre los “habitantes a tiempo completo” muchos micro y mesoartropodos, lombrices y otros macroinvertebrados y los “habitantes por horas” del suelo como muchos vertebrados y larvas de insectos.

Como ingenieros del ecosistema, un gran número de autores también incluyen a las raíces de las plantas. Por ejemplo, la detritosfera es el área de influencia de los artrópodos que transforman la hojarasca. La mayor actividad de la vida en el suelo estaría localizada preferentemente en los siguientes dominios funcionales: la rizosfera zona de influencia de la raíz y sus exudados, la hifósfera en relación con la actividad de las micorrizas arbusculares, la agregadosfera en relación con las estructuras biogénicas o agregados del suelo e intersticios entre macro y microagregados; la porosfera películas y canales de agua entre los agregados; la drilosfera zona de influencia de la actividad de las lombrices de tierra; puntos ligados a zonas asociadas a las distintas fracciones de la materia orgánica de suelo como la materia orgánica particulada, o bien, a áreas con restos orgánicos procedentes de plantas y animales y aún reconocibles detritosfera. (Barrios 2007, citado por Labrador 2008).

De esta manera, el estudio clásico de la biodiversidad de los macroorganismos del suelo a nivel de especies ha dejado paso por su mayor utilidad al estudio de sus funciones ecológicas y de los servicios prestados al ecosistema. En este contexto, las clasificaciones basadas en las relaciones alimentarias entre especies denominadas redes o cadenas tróficas, aunque presentan un nivel de complejidad importante debido a la multiplicidad de grupos y a la plasticidad dietética de la mayor parte de ellos, son clasificaciones de enorme importancia para entender, la dinámica de la energía y los nutrientes en los agrosistema y los servicios que la vida en el suelo aporta a la sostenibilidad de los mismos ciclos de nutrientes, control de plagas y enfermedades mediante competición, depredación, y parasitismo, dinámica de la materia orgánica, etc. lo que permitirá aproximarnos a manejos más compatibles con su conservación.

Actualmente, está demostrado que la estabilidad del ecosistema está ligada de cerca a la abundancia relativa de los diversos grupos funcionales que componen la red trófica del suelo. En los ecosistemas naturales, la regulación interna de estos grupos es en gran parte resultado de la biodiversidad vegetal que influencia la magnitud y el flujo de la distribución temporal de carbono; sin embargo, en los agrosistemas, la intensificación agrícola se aleja de esta forma de regulación, por lo que es de enorme importancia el manejo del suelo con bases agroecológicas.

Las consecuencias de un mayor conocimiento y una percepción más global del funcionamiento de los ecosistemas ha dado paso a la realización de numerosos estudios que intentan integrar las interacciones de los dominios bióticos en una escala más pequeña estructura, dinámica de la materia orgánica, redes tróficas con los dominios abióticos a gran escala topográfica, vegetación y clima, y como consecuencia, clarificar los impactos que sobre la biodiversidad tienen muchas de las intervenciones humanas, fundamentalmente las relacionadas con la actividad agraria.

Por ejemplo, los restos de materia orgánica son fragmentados por la macrofauna en pedazos más pequeños que facilita su biodegradación por bacterias y hongos del suelo, que proporcionan con la mineralización de estos sustratos carbonados nutrientes inorgánicos esenciales para el crecimiento vegetal. La mineralización continúa con la acción de organismos como los protozoos y los nemátodos que se alimentan de bacterias y hongos, a la vez que estos son comidos por carnívoros superiores. Las evidencias sugieren que la destrucción del suelo y de su biota daría lugar a efectos de degradación en cascada desde el nivel edáfico hasta el nivel de biosfera. Una comunidad biológica depende en última estancia de la actividad de los microorganismos, por eso es

importante hacer una breve descripción de la actividad de los habitantes más pequeños del suelo.

En este grupo se incluyen arbitrariamente a las bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoos. Como es de esperar, las exigencias de los microorganismos en energía, elementos nutritivos, agua, temperatura adecuada y ausencia de condiciones nocivas son similares a las de las plantas cultivadas. Los nutrientes que requieren son sustancias que se emplean en la biosíntesis celular y para la producción de energía, la diferencia estriba en que algunos organismos utilizan los mismos nutrientes para realizar las dos funciones y otros necesitan nutrientes diferentes para lograr ambos cometidos.

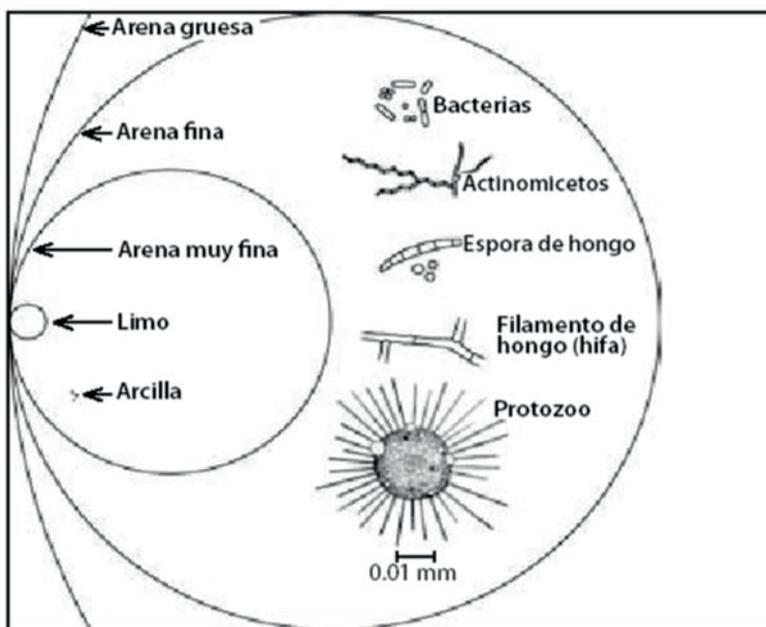
Cuadro 11. Funcionamiento de organismos

Organismos	Fuentes de carbono
Autótrofos	CO ₂ atmosférico, reduciéndolo y transformándolo a moléculas orgánicas, como fuentes única o principal de carbono.
Heterótrofos	Utilizan moléculas orgánicas, formadas y reducidas por otros organismos como fuentes de carbono.
Fotoautótrofos	Fuente de energía
	La luz del sol
Quimioheterotrófos	Oxidación de compuestos orgánicos o inorgánicos.

Fuente: Labrador (2008)

Fuera de la clasificación anterior, se debe hacer mención a los microorganismos denominados “simbiontes”; estos obtienen energía y nutrientes a partir de una planta a la que proporcionan también beneficios, por ejemplo, fijadores de N atmosférico y hongos micorrícicos.

Figura 7. Organismos existentes en el suelo



Fuente: Labrador (2008)

Los hongos, la mayor parte de las bacterias no fotosintéticas, los actinomicetos, los protozoos y todos los macroorganismos son heterótrofos comen restos orgánicos o moléculas orgánicas, mientras que las algas y algunas bacterias son autótrofos realizan la fotosíntesis. Por lo tanto, cualquier aporte de materia orgánica de origen externo como el compost, el estiércol, los abonos verdes, o interno como los exudados radiculares, las raíces muertas o los restos de los colonizadores primarios, activa enormemente a las poblaciones de microorganismos heterótrofos. De esta manera, la diversidad y la actividad de la mayor parte de la población edáfica resultan parcialmente controladas por el ritmo con

que el material energético, entra en forma de materia orgánica. Los organismos también necesitan nutrientes minerales para elaborar nuevos componentes: Oligoelementos, en pequeñísimas cantidades (manganeso, cinc, cobalto, molibdeno, níquel, cobre, sílice), macroelementos en cantidades relativamente mayores (carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, azufre y fósforo) que son los componentes principales de los hidratos de carbono, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, así como potasio, calcio, magnesio, hierro y azufre, que se encuentran en la célula microbiana en forma de cationes.

Pero, además, como muchos de ellos no pueden elaborar todos sus constituyentes elementales utilizando elementos minerales, necesitan otros elementos denominados factores de crecimiento: Aminoácidos, purinas, pirimidinas y vitaminas, todas ellas componentes de la materia orgánica. Otro aspecto diferenciador importante, que va a reflejar la actividad y el hábitat elegido, está relacionado con el comportamiento de los distintos tipos de organismos frente al oxígeno. En este sentido, un organismo que pueda crecer en presencia de oxígeno atmosférico es aerobio, mientras que otro que puede crecer en su ausencia es anaerobio.

En general, como le sucede a todos los seres vivos, la actividad de los organismos edáficos se pone de manifiesto si su densidad es suficiente, si su medio es idóneo y si sus necesidades nutricionales están satisfechas. La especialización de cada organismo y su simplicidad hace que sea necesario trabajar en equipo. Aunque en los suelos agrícolas el suministro de materiales orgánicos sea la forma más común y directa de suministrar alimento y energía a la población macro y microbiana, en realidad en relación a la vida microbiana son las plantas las principales suministradoras de sustratos energéticos al suelo y más que la planta en sí un dominio funcional denominado rizosfera “al limitado volumen de

suelo que rodea a las raíces y que resulta afectado por el desarrollo de éstas, lo que produce la estimulación y proliferación de los microorganismos del suelo” se calcula que el suministro de compuestos orgánicos a la rizosfera es de entre 50-100 mg de materia orgánica por g de raíz. En contrapartida como no podía ser de otra manera, los microorganismos desarrollan en la rizosfera actividades metabólicas de vital importancia para las plantas. El conjunto de interacciones que tienen lugar en la rizosfera se conoce como efecto rizosférico.

4.7.1. Acciones benéficas de los microorganismos en la rizosfera

(Barea, 1998):

- Estimulación de la germinación y del enraizamiento, mediante la producción de *fitoestimuladores* como hormonas, vitaminas y otros.
- Incremento en el suministro y disponibilidad de nutrientes, mediante su participación en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes.
- Mejora de la estructura del suelo por su contribución en la formación de agregados estables y en la formación de humus.
- Protección de la planta mediante fenómenos de antagonismo como biopesticidas, por eliminación de productos contaminantes o por incremento de la tolerancia a la salinidad y a la sequía.

Las relaciones vitales que se establecen en la rizosfera son muy importantes; así, mientras que las interacciones microbio-microbio, pueden

traer consecuencias beneficiosas para ambos la muerte o disminución de la actividad del otro, las interacciones microbio-planta son más complejas:

- Por una parte, la presencia de microorganismos, aumenta la cantidad de sustancias orgánicas producidas por las raíces, como azúcares, aminoácidos, vitaminas, etileno, enzimas.
- Por otra parte, la producción de sustancias orgánicas por las raíces activa las poblaciones microbianas, que degradarán más activamente la materia orgánica, aportando con ello, nutrientes minerales en forma asimilable y bioactivadores para el desarrollo de la planta; aumentando la reserva húmica del suelo y actuando también en el control de patógenos radiculares, mediante la producción de antibióticos.

Los exudados de organismos y sistemas radiculares actúan como máquinas de embalaje de las partículas del suelo, dando lugar a los agregados que tanta importancia tienen para que el suelo actúe como una esponja alrededor de las raíces, el agua se infiltra con mayor facilidad y se retiene de forma más eficiente. La cantidad de nutrientes en formas disponibles para la biota edáfica en la rizosfera es enorme, lo cual facilita la proliferación de enormes comunidades vivas muy especializadas. La rizosfera es en realidad un microcosmos, un hábitat dinámico y las interacciones que ocurren en ella tienen un impacto considerable en la productividad vegetal más todavía si tenemos en cuenta que las actividades de los microorganismos, especialmente la de algunos grupos específicos de bacterias y hongos, puede ser dirigidas mediante técnicas perfectamente utilizables por el agricultor para propiciar que se expresen de forma eficaz determinadas funciones que repercuten en la nutrición, crecimiento y salud de las plantas.

Desde el punto de vista de sus relaciones con la planta los microorganismos del suelo se dividen en tres grandes grupos (Barea et al., 1997, citado por Barea, 1998) y un cuarto menos numeroso:

- Saprófitos, que utilizan, en “*vida libre*”, compuestos orgánicos procedentes de residuos animales, vegetales o microbianos.
- Simbiontes parasíticos o “*patógenos*”, que infectan órganos de la planta causándole enfermedades.
- Simbiontes mutualistas o simplemente “*simbiontes*”, como se les denomina en la literatura científica, que colonizan las raíces de las plantas donde encuentran compuestos carbonados pero que benefician el desarrollo y nutrición de la planta aportándole nutrientes minerales.
- Simbiosis asociativas en las cuales los microorganismos pueden vivir en asociación íntima con la planta, aunque en condiciones naturales no necesitan de ella para llevar a cabo sus actividades fisiológicas.

Dentro de las simbiosis mutualistas se destacan por su interés agronómico la fijación del nitrógeno atmosférico y la micorrización. Se entiende por fijación biológica de nitrógeno la reducción de este elemento a amonio llevada a cabo por: Bacterias tipo *Rhizobium*, que son simbiontes de leguminosas; por *Frankia* (actinomiceto) simbiontes de no leguminosas en general árboles y arbustos y por ciertas algas verdeazuladas anabaena (también incluidas como cianobacterias) que participan en la simbiosis con *Azolla* (helecho acuático) y que son fuente alternativa de nitrógeno en los cultivos de arroz, incluyendo el *Azotobacter*, *Azospirillum* que se asocia con gramíneas.

De esta forma, el nitrógeno molecular es incorporado a la biosfera y utilizado directa o indirectamente por las plantas, según se trate de la fijación simbiótica o libre, para pasar después en forma de proteínas vegetales a los animales y al ser humano. La planta, ofrece a las bacterias la energía en forma de carbohidratos sintetizados mediante la fotosíntesis. La fijación del nitrógeno por las leguminosas, es el proceso simbiótico más conocido, las mayores ventajas de las leguminosas radican en la posibilidad de incrementar el contenido de nitrógeno del suelo y de esta manera independizarse de los aportes de nitrógeno externos, aumentando sus rendimientos, de los cultivos asociados a ellas y de los que les siguen en la rotación.

Para que se produzca la nodulación y ésta sea activa, debe suceder: que haya especies de *Rhizobium* autóctonos o que inoculemos con cepas adecuadas a la especie a cultivar, que la planta esté provista de los nutrientes esenciales para su crecimiento y nodulación y que no se aporte nitrógeno en forma mineral, ya que, si la riqueza del suelo en nitrógeno mineral es elevada, la nodulación y la nitrificación resultan inhibidas.

La asociación simbiótica mutualista entre la inmensa mayoría de las raíces de las plantas y hongos especializados, se llama micorriza. La micorriza es una extensión de la rizosfera y se considera el componente metabólicamente más activo de los órganos de absorción de nutrientes de las plantas. Existan varios tipos de micorrizas, pero las plantas de interés agronómico forman las llamadas “micorrizas arbusculares” con hongos microscópicos (Zigomicetos). El hongo permite ampliar el área de suelo más allá de las raíces, que alcanza la rizosfera, coloniza biotróficamente la corteza de la raíz y desarrolla un micelio externo que, a modo de sistema radicular altamente efectivo, ayuda a la planta a adquirir

nutrientes minerales preferentemente fosfatos y mejora la circulación del agua entre el suelo y la raíz, lo que favorece el crecimiento de las plantas en suelos de baja fertilidad y en situaciones críticas como una sequía. A su vez, la planta hospedadora proporciona al hongo simbionte heterótrofo, nutrientes orgánicos y vitaminas, así como un nicho ecológico protegido.

Las micorrizas pueden aumentar la absorción de otros nutrientes potasio, cobre, azufre y cinc, capacitan a la planta para poder crecer en suelos contaminados y erosionados y en áreas de gran variabilidad térmica y pH adverso. Pueden aumentar la resistencia de las plantas a las enfermedades y mejorar en las leguminosas la fijación de nitrógeno; estimular en la planta la producción de sustancias reguladoras del crecimiento, incrementar la tasa fotosintética, mejorar la agregación del suelo directamente con sus hifas extrarradicales e intervenir en muchas de las acciones que ocurren en el suelo alrededor de las raíces. Con un alto nivel de fósforo asimilable en el suelo, se inactivan o no se forman micorrizas. La colonización y su intensidad también se ven muy afectada, llegando a no producirse por el uso de biocidas.

En este sentido, el manejo agroecológico de la rizosfera, con vistas a la mejora de la fertilidad del suelo y del cultivo, es posible si influimos básicamente, optimizando las condiciones del suelo y las excreciones de las raíces. Los organismos del suelo aportan una serie de servicios fundamentales para la sostenibilidad de todos los ecosistemas. Estos servicios no solo son decisivos para el funcionamiento de los ecosistemas naturales, sino que constituyen un importante recurso para la gestión sostenible de los sistemas agrícolas.

Cuadro 12. Funciones esenciales para los ecosistemas que desempeñan los diferentes tipos de organismos del suelo

Mantenimiento de la estructura	Agregación por invertebrados como la lombriz, sistemas radiculares de las plantas, micorrizas y algunos tipos de bacterias y hongos.
Regulación de la dinámica del agua	Invertebrados con mayor potencial de agregación y sistemas radiculares.
Intercambio gases con la atmósfera y secuestro de carbono	La mayor parte de los microorganismos y sistemas radiculares: carbono retenido en agregados compactos de origen biogénico- deyecciones lombrices.
Eliminación de compuestos tóxicos	La mayor parte de los microorganismos del suelo.
Dinámica de los nutrientes	La mayor parte de microorganismos y raíces: invertebrados que se alimentan del mantillo (horizontes orgánicos).
Dinámica de la materia orgánica	Invertebrados que se alimentan del mantillo (detritívoros), hongos, bacterias, actinomicetos y otros microorganismos.
Supresión de plagas y enfermedades	Plantas, micorrizas y otros hongos, nematodos, otros invertebrados y bacterias que parasitan o causan enfermedades a patógenos, colémbolos, invertebrados, protozoos y hongos depredadores.
Relación simbiótica y asimbiótica con las raíces de las plantas	Rhizobium, micorrizas, actinomicetos, bacterias diazotróficas varias especies de microorganismos rizosféricos y hormigas.
Control del crecimiento vegetal	Efectos directos por sistemas radiculares, Rhizobium, micorrizas, actinomicetos, patógenos, nematodos fitoparásitos, insectos rizófagos, microorganismos de la rizosfera, agentes que ejercen biocontrol. Efectos indirectos: la mayor parte de la biótica

Fuente: Labrador (2008)

4.8. Fertilidad de suelos

4.8.1. Importancia

Puede entenderse como fertilidad aquel suelo que contiene todos los nutrientes esenciales a las plantas, en niveles adecuados (sin exceso o insuficiencia) y que están en condiciones disponibles para su absorción que permita a la planta expresar su mayor potencial de rendimiento, siempre que los otros factores de la producción (genético, clima, bióticos y manejo) no sean limitantes. Entonces para que un suelo sea fértil requiere que sus propiedades y características físicas, químicas y microbiológicas sean favorables para el desarrollo radicular y la absorción nutrimental. En la medida que algunos de estos factores sean limitantes, el rendimiento o calidad, tienden a disminuir. Entendiendo que algunas de estas propiedades y características edáficas tienen más impacto que otros.

Cuando un suelo es fértil, sea en forma natural o por manejo, las plantas forrajeras manifiestan un alto rendimiento y buen contenido nutrimental y ello se traduce en cosechar pasturas que nutren bien a los animales que los consumen con las consecuencias favorables que de esto se deriven. Algo similar sucede con la producción de granos. Es por ello, que el obtener y madurar una buena fertilidad de los suelos de pradera o de corte, es una de las condicionantes principales para elevar la rentabilidad de las explotaciones pecuarias que consumen forrajes o granos.

Adicionalmente, una buena fertilidad del suelo se traduce en cosechar forrajes y granos a bajo precio que abaratan los costos de producción que apuntalan la rentabilidad y competitividad de la industria pecuaria.

4.8.2. Factores que la alteran

Como es de comprender, la fertilidad de un suelo sufre alteraciones a lo largo de los años. Si bien, todos los factores de la producción tienen

efecto sobre la fertilidad, hay algunos que tienen mayor influencia que otros. Dentro de aquellos sobresalen:

Principales factores que abaten la fertilidad:

1. Extracción nutrimental. A mayor rendimiento hay una más elevada absorción de nutrientes por las plantas forrajeras y la fertilidad merma.
2. Lluvias elevadas y riegos pesados. A mayor intensidad de las lluvias y del riego, lavan los nutrientes del perfil del suelo, principalmente los hidrosolubles provocando insuficiencia de los mismos y cambios del pH edáfico.
3. Erosión. Las lluvias intensas y frecuentes tienden a provocar el arrastre de suelo, materia orgánica y de nutrientes superficiales que disminuyen la fertilidad. Si bien, la erosión es menor en praderas rastreras, y es mayor en pasturas amacolladas que dejan espacios con suelos si protección.
4. Cambio de pH del suelo. En general, sea en forma natural o por manejo, el pH de los suelos de pradera se modifica. Esto a su vez ocasiona que pH muy ácidos o muy alcalinos induzcan indisponibilidad de ciertos nutrientes, provocando deficiencias y mermas en la producción de forraje.

Principales factores que mantienen o mejoran la fertilidad:

1. Reciclado nutrimental. La continua muerte de hojas, tallos y raíces de las plantas forrajeras y su mineralización incrementan la fertilidad del suelo.
2. La deposición o incorporación de excretas de los animales tienden a elevar la fertilidad edáfica.
3. La fertilización química que aporta elevadas concentraciones de nutrientes disponibles a las plantas.

4. La fijación biológica del nitrógeno atmosférico hecha por los microorganismos especializados (*Rhizobium* en *Fabaceas* y *Azpirillum* y otros, asociados a las *Poaceas*) tienden a mejorar la fertilidad.
5. La suplementación mineral en los animales que aportan nutrientes adicionales que a través de sus excretas mejoran la fertilidad de los suelos.

4.8.3. La dinámica de la materia orgánica en el suelo

La descomposición de materiales orgánicos en moléculas más simples es uno de los servicios más importantes para el ecosistema realizado por los organismos del suelo pues representa el complemento catabólico de la fotosíntesis. La materia orgánica de los suelos de cultivo es una fracción compleja y heterogénea, con una dinámica propia ligada a la dinámica del medio vivo y a la fracción mineral e integrada por numerosos componentes, en diferente ubicación y estado y con diversos grados de alteración y procedencia.

Todos los constituyentes de las plantas, animales y microorganismos pasan al suelo en algún momento, aunque su existencia en el mismo suele ser transitoria. Algunos componentes son más resistentes a la degradación y pueden acumularse, hasta cierto punto, ya que las condiciones de escasez de carbono y la flexibilidad bioquímica de la población del suelo, aseguran que no se produzca nunca una gran acumulación de material biodegradable. En suelos dedicados a la agricultura industrial las fuentes de materia orgánica suelen ser pocas y de escasa calidad de los lodos de depuradoras, purines y estiércoles sin fermentar. En un suelo

manejado con técnicas agroecológicas la materia orgánica mayoritariamente procede de varias fuentes:

- Restos de plantas y de macro y microorganismos en diferentes estados de transformación (Fracción formada por los seres vivos del suelo. Necromasa Contenidos y estructuras celulares de la biomasa vegetal, microbiana y animal al morir).
- Abonos orgánicos u órganominerales.
- Síntesis, metabolismo y productos de excreción de los organismos edáficos copromasa (Residuos de la digestión microbiana y no asimilados por animal. Señales. Productos orgánicos de uso biológico, generados por excreción como un sistema de llamada respuesta específica, que exploran las relaciones entre los seres vivos del suelo o entre estos y las raíces. Secreciones. Rizodepósitos, catabolitos, mucopolisacáridos y otros generadas y depositadas por vegetales, animales y microorganismos del suelo, de forma expresa, y utilizados con fines “constructivos, nutricionales y defensivos en el ámbito de la rizosfera. Neomasa. Productos orgánicos de neoformación del propio suelo.), secreciones, neomasa.
- Exudados procedentes de la rizosfera rizodeposición.

La gran diversidad en los orígenes hace que la fracción orgánica no sea homogénea en su composición, aunque presenta una manifiesta regularidad en sus componentes. Por lo tanto, son muchas las clasificaciones, indicadores o criterios que se pueden utilizar para su mejor conocimiento.

Una clasificación simple, pero muy didáctica es aquella que divide la materia orgánica del suelo en dos fracciones, la materia orgánica “viva” y la materia orgánica “no viva”.

Figura 8. Fracciones constituyentes de la materia orgánica del suelo



Fuente: Labrador (2008)

La materia orgánica “viva” es aquella compuesta por materiales orgánicos que forman parte de los tejidos o células de plantas vivas o macro y microorganismos. La biomasa macro y microbiana y las raíces de las plantas, podrían asimilarse a la fracción “viva” de la materia orgánica. La fracción que hemos denominado como materia orgánica “no viva” constituye la gran mayoría de la materia orgánica del suelo más del 95 % de la misma. Además, contribuye a la estructura y a la fertilidad del suelo y en mayor o menor grado a un gran número de funciones físicas, químicas y biológicas. Simplificando pero para su mejor comprensión podríamos dividir la fracción “no viva” a su vez en dos subgrupos; uno que podemos

considerar como “no húmico”, constituido por los productos resultantes de la descomposición avanzada de los residuos orgánicos, de las excreciones radiculares y compuestos orgánicos producidos por síntesis microbiana o detritus, cuyas características química son todavía identificables, siendo la mayoría fácilmente biodegradables; y otro subgrupo que podemos considerar como sustancias húmicas, las cuales resultan de los procesos de humificación como son descomposición, degradación y síntesis, forman parte integral del suelo y que no pueden ser separados por métodos mecánicos. En general, las técnicas analíticas revelan que esta materia orgánica presenta como componentes mayoritarios, al menos en su fracción extractable lípidos, carbohidratos, polipéptidos y sustancias húmicas, en mezclas o asociadas químicamente. Gracias a esta complejidad, cada uno de los componentes de la materia orgánica del suelo tendrá un papel específico sobre una determinada propiedad del mismo, siendo esta propiedad la mayoría de las veces cubierta por distintos componentes interactuando conjuntamente.

Labrador (2008) señala que:

La dinámica de la materia orgánica en el suelo en el sentido más amplio, incluye tres secuencias constantes, pero no uniformes que se pueden alterar por los procesos que aceleran o retardan la dinámica microbiana.

- La deposición de compuestos químicamente distintos en el suelo procedentes mayoritariamente de las plantas, pero también de abonos orgánicos de diversa procedencia y de deyecciones de macroorganismos-copromasa, necromasa, señales y secreciones.
- La biotransformación y el procesado en nuevas estructuras mediante la acción de bacterias y hongos mayoritariamente de estos compuestos orgánicos aportados al suelo o sintetizados, a través de la acción de sistemas endo y exoenzimáticos y a

través de la asimilación (y predeposición) de los compuestos carbonados producidos con la muerte microbiana

- La redistribución física y estabilización del carbono en suelos incluyendo transporte, absorción y agregación de las partículas del suelo.

Mayoritariamente, la transformación de la materia orgánica en el suelo depende de la velocidad a la que es usada por los microorganismos y esta, a su vez, de la calidad del sustrato, de la accesibilidad a él y de factores ambientales, edáficos y evidentemente del manejo. Sin embargo, solo una proporción limitada de la materia orgánica del suelo se encuentra en forma de restos animales, vegetales y microbianos, ya que estos residuos suelen ser rápidamente biodegradados, encontrándose la mayoría de la materia orgánica asociada y protegida por la fracción mineral del suelo. Los mecanismos de protección biológica de la materia orgánica en el suelo van en escalas de tamaño que se extienden de micrómetros a centímetros y son dependientes de las características químicas de los componentes minerales y del arreglo tridimensional de esas partículas minerales.

Los mecanismos de protección se pueden atribuir a tres características generales de la matriz mineral del suelo.

- La naturaleza química de la fracción mineral del suelo y de la presencia de cationes polivalentes.
- La naturaleza física de la fracción mineral del suelo, especialmente la presencia de superficies capaces de fijar los materiales orgánicos por adsorción.
- La arquitectura de la matriz del suelo, fundamentalmente del espacio poroso.

En el contexto de la dinámica de la materia orgánica y dentro de una hipotética secuencialidad, estos restos serían en una primera etapa, degradados y despolimerizados por vía biológica hasta los componentes

elementales de sus constituyentes básicos: proteínas, hidratos de carbono y ácidos orgánicos complejos, es decir, se produce una “simplificación” de su estructura a compuestos más “sencillos” y, en general, solubles.

Parte de estos compuestos sufren por acción microbiana, un proceso de mineralización, pasando a formas inorgánicas, bien solubles (PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- etc.), o bien, gaseosas (CO_2 y NH_4^+). Algunos de estos compuestos, como ya veremos, pueden ser “reorganizados” en un proceso inverso del que rige la mineralización, produciéndose una inmovilización temporal de nutrientes, fundamentalmente nitrógeno en la biomasa microbiana, pero reincorporándose más adelante a los compuestos húmicos, quedando sujetos a la típica dinámica de este dentro del suelo.

La fracción de la materia orgánica que no se mineraliza en esta primera etapa, a través del proceso que denominaremos humificación, es sometida a complejas reacciones bioquímicas y químicas, de resíntesis y polimerización, que darán lugar a nuevos productos macromoléculas más o menos policondensadas, que reciben el nombre de sustancias húmicas y que presentan características y propiedades diversas.

Figura 9. Humificación



Fuente: Labrador (2008)

Hoy sabemos que la materia orgánica de suelo es una fuente importante de nutrientes y de hábitat para la vida edáfica, estabiliza la estructura del suelo, y desempeña un papel fundamental en el intercambio de gases de efecto invernadero entre la atmósfera del suelo y la superficie y al contrario además de muchos otros servicios.

Cuadro 13. Algunas actuaciones de la materia orgánica en el suelo

Parámetros físicos	<p>Temperatura: mantienen el suelo más caliente en invierno y más frescos en verano. Las variaciones de temperatura son menores.</p> <p>Estructura: participa en la agregación de las partículas minerales. Mejora y mantiene la estabilidad de la estructura. Reduce la erosión y el encostramiento. Mejora la porosidad.</p> <p>Dinámica del agua: aumenta la permeabilidad y la capacidad del suelo para retener el agua. Facilita el drenaje al optimizar la porosidad, reduce las pérdidas por evaporización.</p>
Parámetros químicos	<p>pH: tiene poder tampón, regulando el pH, impidiendo variaciones que serían perjudiciales para la nutrición vegetal y la vida de los organismos del suelo.</p> <p>Capacidad del cambio: aumenta la reserva de nutrientes minerales y la capacidad para intercambios con el medio líquido según las necesidades de las plantas, disminuyendo las pérdidas por lixiviación.</p> <p>Nutrientes: provee de nutrientes en forma orgánica. Favorece la solubilidad de los elementos minerales. Origina compuestos más estables y mediante la quelación y complejación da lugar a uniones con microelementos que impiden su pérdida y facilitan su asimilación por el vegetal. Mantiene las reservas orgánicas de nitrógeno en el suelo.</p>
Parámetros biológicos	<p>Sobre la rizosfera: equilibra la porosidad del suelo, por lo que favorece el intercambio de gases en la zona radicular. Favorece la simbiosis de micorrizas y rizobium.</p> <p>Sobre los organismos: aumenta la biodiversidad al aumentar el número de hábitat, la cantidad de nutrientes y de energía y el número de presas. Regula la actividad de los organismos favoreciendo la biotransformación de las sustancias orgánicas y la formación de sustancias húmicas.</p> <p>Sobre las plantas: favorece la germinación de las semillas. Activa la formación de raíces en las plantas y su mejor desarrollo al conseguir suelos más grumosos. Mejora la resistencia de la planta frente a enfermedades y plagas y equilibra y mejora su estado nutritivo.</p>

Fuente: Labrador (2008)

4.9. La solución del suelo

A la fase líquida del suelo también se acostumbra llamarla “solución del suelo”. Pearson (1971) la define como una solución que casi posee equilibrio de electrolitos y que ocurre en condiciones de suelos saturados por agua. Esta solución es de gran importancia para la nutrición de las plantas. El agua en el suelo se renueva de diferentes maneras. La precipitación pluvial aporta una gran parte de ella, pero hay otras fuentes importantes entre las cuales están las aguas de riego y el ascenso de aguas freáticas subterráneas por capilaridad. Esta agua es retenida con mayor o menor fuerza por el suelo, según sean el material coloidal presente, la textura, estructura y distancia de las moléculas o partículas.

La solución del suelo contiene una serie de cationes, aniones y moléculas inorgánicas, orgánicas u organometálicas que varían de acuerdo con las condiciones del ambiente y de los materiales sólidos que forman el suelo. Según Pearson (1971), los electrolitos en la solución están en equilibrio con varios componentes del suelo que son las sales solubles, las sales adsorbidas, los compuestos precipitados y los iones cambiables. Los aniones principales en la solución son aquellos que son poco absorbidos por los suelos o no lo son; ellos determinan, más que todo, la concentración de la misma (Nye y Tinker, 1977). En los suelos ácidos, los cloruros y los nitratos son los principales, mientras que en suelos alcalinos el carbonato ácido es el más importante. Los sulfatos, que pueden ser adsorbidos con fuerzas intermedias, también contribuyen.

Las proporciones en que participan los diferentes cationes que deben equilibrar a los aniones antes indicados depende de una serie de condiciones: de la carga de los cationes, de la proporción en que contribuyen con los cationes cambiables, del tamaño de los iones en su forma

hidratada, y de las propiedades del material cambiador de cationes. En general, la concentración total de elementos en la solución es pequeña, particularmente en suelos de regiones húmedas. Al contrario, los suelos salinos y frecuentemente los de regiones más o menos áridas se caracterizan por soluciones del suelo con alta concentración de iones. Como la solución del suelo está en equilibrio dinámico con la fase sólida del suelo, es difícil extraerla sin que se den cambios de importancia. Se sabe que las propiedades físicas y químicas del suelo, como la presencia y solubilidad de sus componentes inorgánicos y orgánicos, su temperatura y la presión de los diferentes gases en su atmósfera interna, influyen en las concentraciones de los componentes de la solución en el suelo.

Aquí también son de importancia los factores biológicos, como la absorción y excreción de los diversos iones por los componentes biológicos de suelo, tanto en lo que se refiere a macroorganismo, especialmente plantas cultivadas o en ecosistemas naturales, como en lo que se refiere a microorganismo.

La solución del suelo también contiene moléculas orgánicas solubles de peso molecular reducido. Algunas de ellas forman quelatos, con cationes, como el Cu, Mn, Zn y Fe, y otros compuestos estables o con elementos como el boro. La mineralización de la materia orgánica es un regulador importante de esos procesos. Los minerales primarios originales de donde proceden estos elementos son esenciales para la nutrición de las plantas.

4.9.1. Equilibrios líquido-gas en suelos

En este aspecto, la reacción principal es la disolución del CO_2 en la solución del suelo, formándose carbonato y carbono ácido, aniones de gran importancia que aumentan fuertemente el poder solvente de la solución.

Se acepta que, con una temperatura dada, un volumen determinado de solvente disuelve tanto más de un gas cuanto mayor sea la presión de dicho gas. Esto indica que las raíces en crecimiento activo que producen apreciables volúmenes de CO_2 , aumentará la concentración de carbonato en el agua y elevando su poder disolvente.

4.9.2. La fase gaseosa del suelo

La fase gaseosa varía bastante en los suelos y comúnmente ocupa espacios que oscilan de cero a 45 % del volumen total de ellos. En condiciones de campo, los valores inferiores comunes corresponden al volumen no ocupado cuando el contenido de agua de suelos está en capacidad de campo, lo que resulta en proporciones de aire que varían entre cinco a 10 % en suelos arcillosos, entre 10 y 25 % en suelos francos y entre 30 y 40 % en suelos arenosos. (Smith, 1977). Para la mayoría de los cultivos, los suelos que tienen entre 10 y 15 % de aire se consideran bien aireados. Sin embargo, investigaciones posteriores han demostrado que existen grandes variaciones entre los requerimientos de diferentes plantas. Se ha visto, por ejemplo, que un cultivar de frijol requería hasta 25 % de aire para su mayor producción (Forsythe y Legarda, 1973). Se sabe que, aunque un suelo sea globalmente aeróbico, si es arcilloso, en los agregados mayores puede persistir por largos periodos una condición anaeróbica y, así, reductora.

Composición química: los componentes principales del aire en el suelo son los mismos que los del aire en la atmósfera: nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua y los gases inertes. La diferencia fundamental entre uno y otro se presenta en que, debido a la respiración de los componentes biológicos del suelo, lo que primero aumenta es la

concentración del CO_2 y se reduce la del oxígeno. En condiciones aeróbicas, el volumen de CO_2 producido es aproximadamente igual al volumen de O_2 gastado en estas condiciones. El intercambio con la atmósfera depende, en alto grado, de la textura del suelo; así mientras en los suelos de textura fina, el CO_2 se acumula según la profundidad, en los de textura gruesa hay poca variación. Se conoce que el coeficiente de difusión es diferente para cada gas y también para los diversos medios en los cuales ocurre el proceso de difusión. Así, se sabe que aumenta para CO_2 en el suelo, a medida que se incrementa el contenido de aire en el mismo. Es importante recordar que también existe difusión de O_2 en el agua de suelo, solo que esta es aproximadamente 10^4 veces menor que en el aire.

Los gases se mueven por convección debido a cambios de volumen los que pueden ocurrir por variaciones en la temperatura, en la presión atmosférica o en el proceso de secamiento del suelo-, y también por la influencia del viento sobre la superficie del mismo suelo. Cuando el intercambio de gases es reducido y la concentración de O_2 disminuye y la de CO_2 aumenta, pueden alcanzarse altos niveles de este último gas. Cuando la concentración del anhídrido carbónico llega a un ámbito de 15 a 20 % se inhibe el crecimiento de las raíces. Por lo general, estos valores avanzados se alcanzan solamente con pequeñas profundidades, después de haberse incorporado apreciables cantidades de materia orgánica al suelo. En estas condiciones, el poder de penetración de las raíces es notablemente reducido al igual que su poder de absorción de agua y nutrientes.

El aire del suelo está en equilibrio con la solución del suelo y así, en general, está saturado o casi saturado el vapor de agua; al mismo tiempo, la solución del suelo tiene disuelta la cantidad de O_2 y CO_2 que corresponde con la temperatura y las presiones parciales presentes de estos gases. Los suelos con buena textura y estructura contienen bastante oxígeno

y, por ello, representan sistemas oxidantes que usa la materia orgánica como principal reductor de ellos- se descomponen con mayor o menor velocidad. Los suelos mal aireados como los sobresaturados o inundados comúnmente representan sistemas reductores. Considerando estos aspectos se habla del estado redox de los suelos, el que influye en muchas propiedades del mismo, incluso en el estado de nitrógeno en los suelos. En este último caso, y en condiciones oxidantes este elemento es nitrificado a nitrato, mientras que en condiciones reductoras (como aquellas con arroz o pasturas inundados), el nitrógeno permanece en forma reducida, como la amoniacal. Bartlett (1981) sugiere usar el estado de oxidación de Fe^{3+} como criterio para separar condiciones oxidantes de reductores de suelo. Se estima que la presencia del Fe^{2+} indica suelos aeróbicos, en tanto que la presencia de Fe^{3+} caracteriza condiciones anaeróbicas.

4.9.3. Suelos inundados

Una parte apreciable de los alimentos para la humanidad se basa en el arroz, la mayor parte del cual se cultiva en suelos inundados en relación a los irrigados o bajo temporal, debido a que los rendimientos son, en general, superiores en estas condiciones en relación a lo irrigado o bajo temporal. Lo específico de la inundación es que se crean condiciones anaeróbicas en el suelo. Las características especiales de estos suelos han sido resumidas por Ponnemperuma (1972). Estos suelos exigen un manejo especial y son drenados e inundados según las necesidades del arroz. Cuando se prepara el suelo para su inundación se incorporan el fósforo, potasio y materiales orgánicos, además se reduce al mínimo la permeabilidad del suelo. Durante el desarrollo del cultivo se mantienen condiciones inundadas, las que requieren de un cuidado especial en el manejo del nitrógeno, con el fin de evitar pérdidas por desnitrificación y lavado.

Cuando se drenan estos suelos aumenta su potencial redox y decrecen las concentraciones de Fe (II) y Mn (II), las que se volverán a incrementar con la próxima inundación que se caracterizará de nuevo por crear condiciones de reducción. Al ocurrir esto, se forma Fe (II) más soluble. Los fosfatos de este catión son más solubles que los del Fe (III), lo que explica la disponibilidad relativamente alta de P en suelos inundados. Los suelos en las costas marinas son frecuentemente inundados, especialmente por las mareas altas. Cuando en ellos se establecen condiciones de avenamiento, los sulfuros presentes se oxidan, formando sulfatos, dando lugar a suelos sumamente ácidos. Otras situaciones se dan en los pantanos naturales, donde las aguas estancadas producen condiciones de reducción que no permiten la oxidación de los residuos orgánicos, los cuales a la larga se acumulan y originan el desarrollo de los suelos Histosoles.

4.10. Química de los suelos inundados

León y Arregocés (1981) señalan que la inundación de un suelo ocasiona una serie de procesos físicos y químicos microbiológicos que afectan en muchos procesos fisiológicos en las plantas que ahí prosperan, particularmente cultivos como el arroz y pasturas que tienen interés económico y agroalimentario.

Estos procesos señalados son:

- El crecimiento vegetal.
- La absorción de los nutrientes por las raíces.
- Contenido y difusión del oxígeno en el suelo.
- Cambio físico y químico que sufren los suelos durante y después de la inundación.
- Adaptación de las raíces para la absorción del oxígeno.

4.10.1. Concentración y difusión del oxígeno

El contenido de oxígeno (O_2) y su difusión dentro del suelo agrícola depende, en mucho, de su textura, estructura y temperatura. A la par, la concentración de O_2 depende también de la absorción (respiración de las raíces y microorganismos asociados que ahí crecen). Mientras en suelos comunes que reciben agua de las lluvias y riegos, su contenido de oxígeno (O_2) en la capa superficial oscila alrededor de 6 ppm dependiendo de su temperatura o textura y, principalmente, para luego descender bruscamente conforme se profundiza, hasta llegar a valores mínimos a la zona donde crecen las raíces, (León y Arregocés, 1981).

En cuanto a la tasa de difusión del oxígeno dentro del suelo común es 10,000 veces más rápido que en el agua, por lo tanto, en un suelo inundado la difusión de oxígeno es mucho menor que en un suelo aireado. Así, suelos con textura arenosa, el contenido es mayor por la presencia de poros más grandes y abundantes que permiten una ágil penetración de O_2 y su fácil movilidad dentro del suelo, tanto en forma transversal como en profundidad. La temperatura del suelo, permite que al penetrar el O_2 , si está caliente se difunde rápidamente, no así si está frío se mueve lentamente. Estos procesos son más lentos y en menor intensidad en suelos arcillosos donde los poros son más pequeños que por un lado la cantidad de O_2 contenido es mucho menor y su difusión al anterior es más lenta.

Recordando que las raíces para su funcionamiento normal tienen que respirar, esto es absorber O_2 y eliminar CO_2 . Si el oxígeno del suelo es limitando su respiración es lenta o cesa y con ello, entre otras consecuencias es que no se da la absorción de los nutrientes requeridos para el crecimiento de la planta y con ello su rendimiento de forraje es menor. A par, la falta de oxígeno o su baja difusión también afecta negativamente los microorganismos edáficos que viven en el suelo y/o asociados a las

raíces, las cuales desempeñan funciones importantes en la disponibilidad de los nutrientes contenidos en la materia orgánica, las cuales requieren de oxígeno par vivir y/o realizar sus funciones de degradación o bien que viven asociados a las raíces de las plantas. Y si este benéfico proceso no se da y entonces son sustituidos por los anaeróbicos que funcionan sin oxígeno.

4.10.2. Producción de gases

Al respecto, León y Arregocés (1981) señalan que la muy baja concentración de O_2 , es seguida por la evolución de hidrogeno (H_2), luego por una rápida elevación del CO_2 liberado por las raíces y, finalmente, un incremento del metano (CH_4), que al ser liberado a la atmósfera induce el calentamiento atmosférico, ya que el metano es señalado como un gas de efecto invernadero (GEI), de los más dañinos por su capacidad de alto calentamiento al aire que lo rodea. Estos autores señalados reportan que la cantidad y densidad de gases que se encuentran en un suelo inundado varía. Así, puede haber de un 10 a un 95 % de nitrógeno, de un 15 a 75 % de CH_4 , de un 1 a 20 % de CO_2 , y de 0 a 10 % de nitrógeno gaseoso. Cambios de pH del suelo inundado, los autores citados asientan también que los suelos inundados sufren cambios en su pH y se hacen más ácidos.

Así, los microorganismos aeróbicos y las raíces, al consumir rápidamente el escaso oxígeno son sustituidos por los anaeróbicos que realizan la descomposición de la materia orgánica usando, los nitratos, oxido de manganeso, oxido férrico, entre otros para su respiración y como resultados se producen cambios en el suelo inundado como menor pH, disminución del potencial Redox y aumento en la conductividad. Así, independientemente del pH original del suelo, este se ubica entre el 6.5 y 7.5, valores que se mantienen durante la inundación. Si el pH es ácido, los hace ligeramente neutro (pH 6.5-7.5), si son alcalinos baja

su pH a los valores señalados. El cambio de pH en suelos inundados varía, según su pH original. En suelos muy ácidos (3.5-4.5), el cambio se hace rápidamente en las primeras dos semanas de inundación. Si el pH es neutro (pH 7.0) se estabiliza en 6.5 y si es alcalino baja a 7.0 y ahí se estabiliza. En este cambio de pH en los suelos inundados influye el contenido de materia Orgánica (MO) y de hierro (Fe^{+}), así en los suelos de Colombia con bajo contenido de MO (2.4 %) y alto contenido de Fe^{3+} (1.54 %) el pH se estabiliza con un pH más bajo. En suelos con más MO (24.3 %) y bajo contenido en hierro (menor al 0-7 %) y con pH original cercano al neutro, no mostraron cambios significativos en su pH.

Otros cambios químicos

Entre otros cambios químicos más importantes que se dan en suelos continuamente inundados son:

- Transformación de nitrógeno
- Reducción del manganeso y del hierro
- Aumento en la disponibilidad del fósforo y sodio.

4.11. Los suelos inundados como fuente de emisión de metano, un gas de efecto invernadero

Según Fao (2015), los suelos, en general, representan una fuente muy importante en los procesos climáticos globales por ser una importante fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), tales como el metano (CH_4) dióxido de carbono (CO_2) y óxido nitroso (N_2O), los principales y más potentes GEI. Los procesos específicos del suelo que regulan estas emisiones son complejos e interactúan fuertemente con los procesos de ecosistemas tales como el abasto de agua, la presencia de nutrientes (fertilizantes aplicados), el manejo del suelo y la producción agropecuaria.

El suelo, en general, debido principalmente a la descomposición de la materia orgánica (MO) y a la respiración de los microbios edáficos, producen (liberan) bióxido de carbono (CO_2) un gas de efecto invernadero (GEI). A la par, la descomposición anaeróbica de la materia orgánica en suelos inundados, en particular bajo cultivo como el arroz, pasturas y otras plantas que crecen en estas condiciones producen el gas metano (CH_4), un potente gas GEI. Esta producción es mayor durante el periodo inundado y es poco significativo cuando se secan. Por la finalidad de esta publicación, se enfocará hacia la producción de metano (CH_4) en suelos inundados.

4.11.1. Proceso de producción de metano en suelos inundados (caso: el arroz)

La mayor producción de CH_4 en suelos inundados proviene de la reducción del CO_2 con hidrógeno (H_2), este proceso se llama metanogénesis. En campos cultivados, la cinética del proceso de reducción es afectada fuertemente por la composición y textura del suelo y su contenido de minerales. Así, el aporte de fuentes de carbono frescas y nutrientes, como sucede en la incorporación del rastrojo en campos de arroz, incrementa significativamente las tasas de emisiones de CH_4 , comparado con la composta preparados con rastrojo de arroz o fertilizantes químicos. Una vez generado en el suelo, el CH_4 se difunde a la atmósfera principalmente a través de las hojas de la planta de arroz, durante el crecimiento del cultivo. La emisión directa desde el suelo a través de burbujas, proceso conocido como ebullición, sólo aporta con el 5 % del total de las emisiones de CH_4 . Según la EPA (FAO 2013), toda la ganadería solo aporta el 39 % de todos de todas las emisiones de GEI, las cuales son más bajas que el 18 %, de las plantaciones de aguacates.

La mayor fuente de emisión de GEI en USA proviene en su mayor parte de la energía y transporte, tal como se aprecia a continuación:

- Automóviles: 28.9 %
- Ind. Petrolera: 28.4 %
- Industria: 21.6 %
- Comercio: 6.4 %
- Hogares: 5.1 %
- Agricultura: 4.7 %
- Porcicultivo: 3.9 %
- Combustibles agrícolas: 0.8 %
- Ganadería bovina: 2.0 %

Estos tres gases GEI (CO_2 , CH_4 y N_2O), por su alto nivel de calentamiento, por su larga duración y por su creciente concentración en la atmósfera. Estos tres gases GEI junto con el clorofluoro carbonoso \rightarrow CCFC^{12} y el clorurofluoro carbonado CFC^{11} , contribuyen en aproximadamente con el 96 % del forjamiento radioactivo de la atmósfera.

4.11.2. Metano CH_4

El metano contribuye en un 17 % al forzamiento radiactivo causado por los GEI de larga duración. Aproximadamente, el 40 % del CH_4 que se emite a la atmósfera, procede de fuentes naturales (por ejemplo, humedales y termitas), mientras que el 60 % proviene de fuentes antropógenas (por ejemplo, ganadería de rumiantes, cultivo de arroz, explotación de combustibles fósiles, vertederos y combustión de biomasa). Como resultado del aumento de las emisiones antropógenas, en 2016 el CH_4 atmosférico llegó al 257 % de su nivel preindustrial (-722 ppb). El promedio mundial de CH_4 , calculado a partir de observaciones in situ, alcanzó en 2016 un nuevo máximo de $1\,853 \pm 2$ ppb, lo que

representa un aumento de 9 ppb con respecto al año anterior. El aumento medio anual de CH_4 se redujo de 13 ppb a principios de los años ochenta a casi cero durante el período 1999-2006. Desde 2007, el CH_4 atmosférico ha ido aumentando nuevamente. Los estudios de la FAO en los que se realizan mediciones de CH_4 indican como causas probables de ello el aumento de las emisiones de CH_4 procedentes de los humedales de los trópicos y de fuentes antropógenas en las latitudes medias del hemisferio norte.

La mayoría de las medidas de mitigación para la reducción de las emisiones de CH_4 han sido desarrolladas para arrozales, el mayor uso del suelo responsable de las emisiones de metano. Estas incluyen el drenaje de humedales de arroz una o varias veces durante las temporadas de crecimiento, selección de cultivos de arroz con bajas tasas de exudación de las raíces, la gestión del agua fuera de la temporada de arroz, manejo de fertilizantes, y la sincronización y compostaje de las adiciones de residuos orgánicos. Para turberas y humedales gestionados (por ejemplo, los utilizados para forestar o agricultura), las emisiones de metano pueden reducirse con fertilizantes, y la gestión del agua y la labranza. El remojo de turberas drenadas/cultivadas para restaurar la función de humedal y mantener existencias de carbono probablemente aumentaría las emisiones de CH_4 . En contraste, los suelos aeróbicos tienden a actuar como sumidero de CH_4 teniendo de ese modo un impacto positivo en la regulación del clima. Suelos aeróbicos templados y tropicales expuestos a concentraciones atmosféricas de CH_4 , usualmente

exhiben niveles bajos de oxidación atmosférica de CH_4 pero, como abarcan grandes áreas, se estima consumen aproximadamente 10 % del CH_4 atmosférico.

4.12. El cultivo del arroz y la emisión de gases de efecto invernadero

La descomposición anaeróbica de la materia orgánica en estos cultivos inundados cultivados con arroz, pasturas y otras plantas adaptadas, también producen metano (CH_4), que posee un potencial de calentamiento global 24 veces más alto que el del dióxido de carbono (CO_2). Estos cultivos en la época seca (secado) no producen cantidades significantes de CH_4 . (Hube S. et al., 2015). De la amplia variedad de fuentes metano atmosférico (CH_4), el cultivo de arroz es considerado uno de los más importantes, con un flujo de emisión mundial de 60 Tg CH_4 año⁻¹ (tera gramos de metano al año), y un rango de 20 a 100 Tg CH_4 año⁻¹. Esto representa entre el 5 % y el 20 % de la emisión total de CH_4 desde todas las fuentes antropogénicas. Lo anterior coincide con los datos de FAO de 2013 que, considerando el flujo de CH_4 en Estados Unidos, España, Italia, China, India, Australia, Japón y Tailandia, indican que, del total de las emisiones de metano provenientes del sector agropecuario, un 10 % corresponde al cultivo de arroz. Las emisiones de CH_4 en cultivos de arroz muestran una amplia variabilidad a nivel mundial, dependiendo del tipo de suelo y su textura, de la aplicación de materia orgánica y fertilizante mineral, el régimen de agua empleado y el clima, entre otros.

4.13. El suelo: Un recurso natural, diverso y complejo

Señala Labrador (2008), en coincidencia con Farrera y Alarcón (2007), que el suelo es un sistema auto organizado y heterogéneo que posee una gran complejidad estructural y funcional, debido a la gran diversidad de sus componentes (abióticos y bióticos), y a los procesos que tienen lugar en su seno. Como todo sistema, evoluciona en el tiempo condicionado por factores ambientales que están presentes en un escenario concreto y, en general, en los suelos de cultivo, mantiene una dinámica determinada por un sistema de manejo impuesto por condicionantes socioeconómico y cultural. Por su parte, Gascó (1998) lo define como “un ente natural que se forma mediante procesos de alteración de los minerales meteorizables, evolución de las materias orgánicas humificables, estructuración de las partículas agregables y migración de algunos componentes finos o de iones desplazables. En definitiva, es un medio vivo y dinámico, en el cual se libra una interacción biológico complejo entre plantas, organismos y el medio mineral que los cobija.

Los factores que influyen en la formación y diferenciación del suelo van a ser externos e internos: climáticos, humedad, temperatura,

bióticos, vegetación y organismos vivos; litológicos: rocas; geomorfológicos: procesos geológicos, topografía; cronológicos tiempo o duración de estos factores. Añadido a los anteriores y no sólo para los suelos de cultivo, las alteraciones debidas a la acción humana o factor antrópico, son hoy en día, uno de los agentes más influyentes en la transformación del suelo de cultivo. Podemos observar la acción de los factores formadores directamente en el campo, mediante la realización de un perfil de corte de observación, un corte vertical del suelo que permite estudiarlo en su conjunto, desde su superficie hasta el material originario.

Este corte de observación nos mostrará una serie de huellas o razgos producto de su historia y de su manejo como horizontes diferenciados, cambios de color, cambios de estructura, actividad biológica, longitud de las raíces, capas de gravas o de arcillas o de calizas históricamente activas, capas endurecidas por el laboreo. Estas señales diferenciadoras, apoyadas con los análisis de las muestras realizados en el laboratorio nos describirán un perfil edafológico.

El estudio de la fracción obtenida correspondiente a los horizontes superiores, que en suelos de cultivo serán los más influenciados por la

actividad agrícola. Es en el perfil de observación, en la fracción en la que con más claridad apreciamos la complejidad (en el sentido del término latino *complexus*, que quiere decir “lo que está entretrejado conjuntamente”) de los componentes del suelo.

Figura 10. Composición de los horizontes del suelo



Fuente: Labrador (2008)

De esta forma, ampliamos nuestra percepción del suelo, percibiéndolo como un medio de composición mixta orgánica y mineral y biológica, en continua interrelación, y permeable por la presencia de macro y microporos, que posibilitan la existencia de una solución acuosa o

agua del suelo que es una solución con dilución suficiente para provocar el flujo osmótico desde la tierra a la planta y cuyos componentes se transforman vía mineralización proveniente de los restos orgánicos y una atmósfera gaseosa o aire del suelo, cuya composición es distinta a la del aire atmosférico en cuanto a humedad y contenido en anhídrido carbónico y oxígeno, siendo la composición de la fase líquida y gaseosa dependientes de la intensidad de la actividad microbiana (Gascó, 1998).

En este medio, las raíces de las plantas, exploran un determinado volumen de suelo, compartiendo el espacio poroso, con los organismos, el aire y el agua y es aquí, en la zona de influencia de la raíz (Rhizósfera), el lugar en donde se da la relación más íntima entre la raíz, la vida orgánica, la mineral y la microbiológica.

Tanto en la superficie como en el interior de los agregados, o bien asociados a las raíces de las plantas, los microorganismos pueden encontrar hábitats adecuados para desarrollarse dentro en un entramado de materia y energía (Barea, 1998). En este contexto, lo que podríamos denominar “metabolismo” del suelo es consecuencia de que en él se desarrollan, una gran diversidad de comunidades que lo influyen con su actividad y lo modifican, al mismo tiempo que se modifican a sí mismas. Como en todos los sistemas complejos en la naturaleza, la organización del suelo se establece de acuerdo con un modelo jerárquico, en el que el paso de un nivel inferior a otro superior en la jerarquía supone la aparición de propiedades emergentes, que no pueden explicarse solamente mediante la suma de los elementos que componen el nivel jerárquico inferior. Por ejemplo, el nivel textural arcilla, limo y arena tiene unas propiedades que se diferencian del nivel estructural en el que interviene un nuevo componente que es la materia orgánica y su microbiología asociada.

La interacción entre niveles de organización en el suelo, el caso de la actividad microbiana y la agregación y entre estos niveles y otros niveles externos, por ejemplo, la relación suelo/atmósfera que nos muestra entre otros el suelo como sumidero (consumidor) de CO₂ o la relación microorganismo/planta, permiten comprender mejor su complejidad y su importancia para la biosfera. (A nivel físico es bien conocido que las partículas minerales y orgánicas, constituyentes de la llamada fase sólida del suelo, se asocian para formar agregados).

Bibliografía

- Allison, F. E. (1973). *Soil organic matter and its role in Crop Production*. Elsevier Sci. Pub.
- Barea JM. (1998). “*Interacciones ecológicas de los microorganismos en el suelo y sus implicaciones en agricultura*”. Agroecología y Desarrollo. Serv. Publ. Universidad de Extremadura España. Ed. Mundi Prensa.
- Forsythe, W. Legarda, L. (1973). *Criterios de succión de agua y del espacio aéreo del suelo para la producción máxima del frijol 27-R*. In 19.º Reunión Anual PCCMCA, p. 11.
- FAO (2015). *El estado mundial del recurso del suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura.
- FAOSTAT, FAO (2013). Emissions Database. <http://faostat.fao.org/>, FAO.
- Gliessman SR. (2002). *Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture*. Ed. E. Engles. Turrialba, C.R.: CATIE.
- Gascó Montes JM. (1998). *Problemas y prácticas diferenciadas del control de la fertilidad en distintas zonas edafoclimáticas*. En: *La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica* Ed. Visor. Fundación Argentinaria.

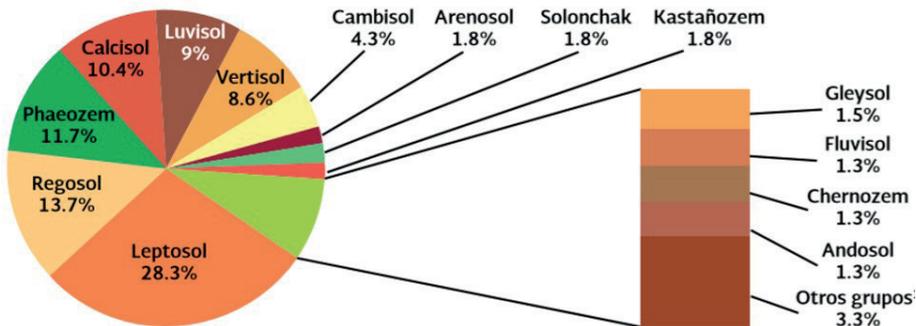
- Hube S., Alfaro, M., Ramírez, L., Donoso, G., Paredes, M. 2015. *Contribución del cultivo de arroz al cambio climático*. M. Paredes, V. Becerra, (eds.). *Manual de producción de Arroz: Buenas prácticas agrícolas*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N.º 306, p. 100.
- Jenkinson, D. S. and J. N. Ladd (1981). *Soil Biochemistry*, vol. 5. E. A. Paul and J. N. Ladd, Eds. Deckker, N. York.
- Nye, P.H. Tinker, P.B. (1977). *Solute movement in the soilroot system*. Oxford, U.K., Blackwell Sci. Publ.
- Labrador J. (2002). *La materia orgánica en los Agrosistemas*. (2.^a edición revisada y ampliada). MAPA/MundiPrensa. Madrid, p. 293.
- Labrador J. 2008, *Manejo del Suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica*. Nota Técnica. Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE). Catarroja.
- Lavelle P., AV Spain 2001. *Soil Ecology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (2001).
- Lavelle P. 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function, *Biol. Int.* 33 (1996), pp 3-16.
- León, L.A. 1981 *Química de los Suelos inundados*. Guía de estudios. Centro internacional de Agricultura Tropical. CIAT. p 35.
- Manual de fertilidad medioambiente suelos y nutrientes S/F*, Agronomy handbook, A&L Agricultural Laboratories, Nidera S.A.
- Pearson, R.W. 1971. *Introduction to Symposium, The soil solution*. Soil Sci. Soc. Am., Proc. 35: 417.
- Ponnamperuma, F. N. 1972. *The Chemistry of submerged soil*. Adv. In Agronomy 24: 29-96.
- Smith, k. A. Soil seration 1977. *Soil Sci.* 123 (5): 284-291.1977.
- V. Wolters, *Biodiversity of soil animals and its function*, *Eur. J. Soil Biol.* 37 (2001), p 221–227.

CAPÍTULO V
SUELOS DE MÉXICO

SUELOS DE MÉXICO

En México existe una gran diversidad de suelos que puede explicarse por la interacción de diversos factores, entre los que se encuentran la compleja topografía originada por la actividad volcánica del Cenozoico, el amplio gradiente altitudinal (que va de los cero a poco más de 5 600 metros sobre el nivel del mar), la presencia de cuatro de los cinco grandes tipos de climas reconocidos por la clasificación de Köppen (García, 1988) y la enorme diversidad paisajística y de tipos de rocas que existen en el territorio. De acuerdo con SEMARNAT (2007), en México existen 26 de los 32 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS, 2007). Dominan los *Leptosoles* (28.3 % del territorio), *Regosoles* (13.7 %), *Phaeozems* (11.7 %), *Calcisoles* (10.4 %), *Luvisoles* (9 %) y *Vertisoles* (8.6 %) que, en conjunto, ocupan 81.7 % de la superficie nacional.

Figura 11. Superficie relativa de los principales grupos de suelos en México (2007)



Nota: Incluye: Umbrisol, Durisol, Acrisol, Planosol, Solonetz, Gypsisol, Nitisol, Alisol, Lixisol, Histosol, Ferrasol y Plintosol.

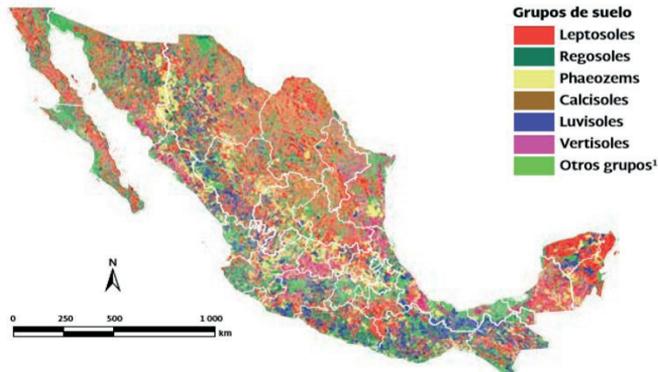
Fuente: INEGI. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, escala 1: 250 000, serie II (Continuo Nacional), México, (2007).

En el 52.4 % del territorio nacional hay suelos someros y poco desarrollados: *Leptosoles* (54.3 millones de ha), *Regosoles* (26.3 millones) y Calcisoles (20 millones), lo cual dificulta su aprovechamiento agrícola y aumenta su vulnerabilidad a la erosión. Los suelos con mayor fertilidad: *Phaeozems*, *Luvissoles* y *Vertisoles* (22.5, 17.3 y 16.5 millones de ha, respectivamente) cubren en conjunto 29.3% del país. En el resto del territorio (alrededor de 35 millones de hectáreas) se presentan los otros 20 grupos edáficos, los cuales se distribuyen en un gran número de relieves, microclimas y tipos de vegetación.

Para mayores detalles respecto a las características de los suelos presentes en el país, consultar el Recuadro Grupos principales de suelos en México. Agricultura y grupos de suelo, en las últimas décadas, la intensidad en el desarrollo agropecuario del país determinó que los suelos más fértiles y profundos, con buena estructura y alto contenido de nutrimentos y materia orgánica tuvieran mayor demanda. Entre la mitad de los años 70 y finales de la primera década del siglo XXI, el porcentaje de *Luvissoles*, *Vertisoles* y *Phaeozems* dedicados a las actividades agropecuarias pasó de 35.8 % (24.1 % dedicado a la agricultura y 11.7 % en pastizales para la ganadería) a 44.4 % (29.6 % en agricultura y 14.8 % en pastizales). En menor magnitud, los suelos que se consideran poco aptos para la agricultura o la ganadería (como los *Leptosoles*, *Regosoles* y Calcisoles) también han sido utilizados para estos fines. A mitad de la década de los

70, el 9.9 % de la superficie nacional de este conjunto de suelos estaba dedicado a las actividades agropecuarias, mientras que, a finales de la primera década del siglo XXI, esta cifra se incrementó a 14 %.

Figura 12. Principales grupos de suelos en México (2007)

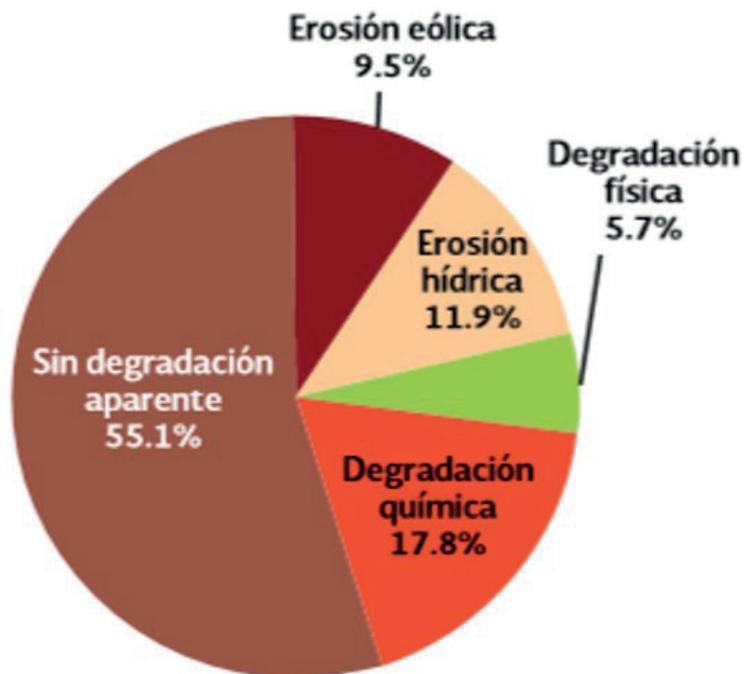


Nota: Incluye: Cambisol, Arenosol, Solonchak, Kastañozem, Gleysol, Flusivol, Chernozem, Andosol, Umbrisol, Durisol, Acrisol, Planosol, Solonetz, Gypsisol, Nitisol, Alisol, Lixisol, Histosol, Ferralsol y Plintosol.

Fuente: INEGI. **Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1: 250 000, Serie II** (Continuo Nacional) México (2007)

En México existe una gran diversidad edáfica representada por 26 grupos de suelo. Sin embargo, solo seis de ellos, en conjunto, ocupan el 81.7 % del territorio.

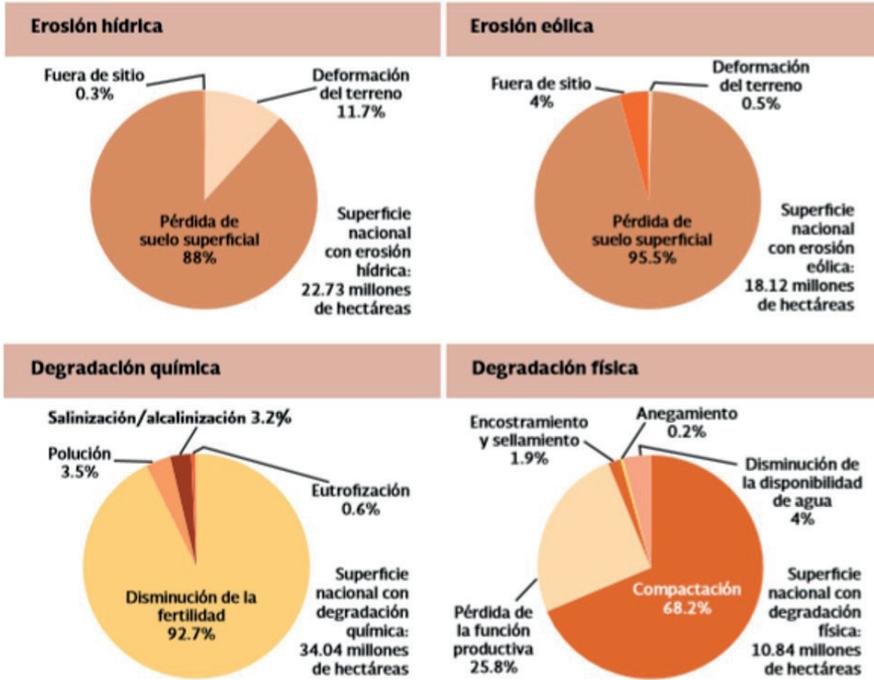
Figura 13. Superficie relativa afectada por procesos de degradación del suelo en México (2002)



Nota: Superficie nacional considerada: 1,909,818.5 Km². No incluye cuerpos de agua, asentamientos humanos, zonas urbanas, regiones desprovistas de vegetación y superficie insular.

Fuente: Semarnat y CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la república mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México (2003)

Figura 14. Superficie relativa (porcentajes pueden no sumar 100 % debido al redondeo de las cifras) afectada por degradación del suelo, según tipo en México (2002)



Fuente: Semarnat y CP. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la república mexicana, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002. México (2003)

La disminución de la fertilidad fue el tipo de degradación química más importante en el país, cubriendo el 92.7 % de la superficie afectada por degradación química. Como ejemplo, más de la mitad de los suelos de Yucatán, y casi la tercera parte de los de Tlaxcala, Chiapas, Morelos, Tabasco y Veracruz tienen este problema.

5.1. Los suelos tropicales

5.1.1. El suelo forma parte del medio ambiente

El suelo forma parte del medio ambiente físico que comprende el clima, vegetación, geomorfología y la hidrología. Para propósitos de esta publicación solo se hablará de la región tropical ubicada entre las latitudes 23° 17' norte y sur.

Así, los suelos tropicales cubren una superficie de 48.2 millones de km². Según el sistema de clasificación de suelos de EUA (Soil Taxonomy), los tipos de suelos que predominan en la región tropical son los siguientes.

Cuadro 14. Extensión y distribución de los suelos en los trópicos

Orden	Área miles Km ²	% del área tropical
Oxisoles	11,512	23.85
Aridosoles	9,112	18.87
Ultisoles	9,018	18.68
Aevisoles	6,411	13.28
Inceptisol	4,565	9.44
Entisoles	3,256	7.67
Vertisoles	2,189	4.54
Andisoles	1,163	3.47
Histosoles	286	0.58
Molisoles	234	0.46
Total	48,274 miles km ²	

Fuente: B.N. Beinroth (2001)

De este cuadro se aprecia que los mayores grupos de suelos son los oxisoles que ocupan 11.5 millones Km², el 13.85 % del área tropical.

Le sigue los aridisoles con 9.1 millones Km² (18.8 %), los ultisoles 9.0 millones (18.7 %), los alfisoles 6.4 millones Km² (13.8 %).

Cada tipo u orden del suelo posee características particulares, los cuales en mayor o menor medida afectan en la productividad de las pasturas que en ellos crecen:

Cuadro 15. Contenido de carbón orgánico (%) y (emol kg⁻¹) tipo de suelo (tropical y templado)

SUELO	MO %	CIC (1)	SUELO	MO %	CIC (1)
Spodosoles			Molisoles		
Tropical	10.4	53	Tropical	2.0	28
Templado	5.8	24	Templado	1.9	21
Andisoles			Ultisol		
Tropical	6.1	42	Tropical	2.0	15
Templado	6.0	27	Templado	1.8	1
Inceptisoles			Vertisol		
Tropical	2.4	26	Tropical	0.8	51
Templado	2.0	15	Templado	0.8	38
Entisoles			Alfisol		
Tropical	2.1	21	Tropical	0.4	12
Templado	0.5	14	Templado	0.5	8
Oxisol			Aridisol		
Tropical	2.1	11	Tropical	0.2	12
Templado	0.1	0.0	Templado	0.5	11

Fuente: adaptado de Beinroth, (2001). (1) Kg Emol⁻¹

Cuadro 16. Principales limitantes biofísicos que afectan la producción de forrajes en climas tropicales húmedos

Categorías	Ejemplos de factores limitantes
<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones primarias 	<ul style="list-style-type: none"> • Factores intrínsecos Deficiencias nutricionales Estrés por sales solubles Baja saturación de bases
<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones físicas 	Toxicidad por aluminio Alta susceptibilidad a la erosión Paso de arado, suelos compactados, superficie compactada
<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones biológicas 	Bajo contenido de MO Alta población de termitas
<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones holísticas 	Baja resistencia del suelo Degradación natural del suelo
	Estrés inducido
<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones químicas 	Deficiencias de oxígeno Acidificación (pH ácidos) Contaminación con productos tóxicos
<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones físicas 	Acelerada erosión Compactación del suelo
<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones climáticas 	Deficiencia de humedad Régimen inestable de temperatura Corto periodo de crecimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones biológicas 	Alta incidencia de plagas y enfermedades Alelopatía Control de plagas y enfermedades
<ul style="list-style-type: none"> • Eventos catastróficos 	Sequías e inundaciones

Fuente: Adaptado de Beinroth (2001)

5.1.2. Conclusión

Es indudable que los suelos tropicales, tanto para su cultivo en general y en particular en las praderas, tienen ventajas y desventajas. 1. Que sus condiciones agroclimáticas, permite realizar cultivos y usar las praderas casi todo el año, en contraste de los climas templados que solo permite cosechas una parte del año (8 meses), debido a la incidencia de heladas y nevadas y suelen mantener una mayor fertilidad natural. 2. Los suelos tropicales por su evolución bajo condiciones de sufrir altas temperaturas e intensas y frecuentes lluvias, han sufrido lixiviación, arrastre (erosión), pérdida de nutrientes, pH ácido, frecuente incidencia de plagas y enfermedades, además que gran parte de los suelos bajo pastoreo presentan razgos de compactación, debido principalmente al pisoteo animal que de no concentrarse ponen en riesgo su rendimiento y productividad futura. A esto se suman los tipos de pasturas adaptadas a esas condiciones las cuales presentan alto contenido en fibras y frecuente deficiencia nutricional que le imponen baja digestibilidad y el no aportar suficientes nutrientes que alimenten bien al ganado, en especial a los animales de alto encaste europeo, con mayor producción de carne o leche, que exigen mayor nutrición, control sanitario y manejo en general.

5.2. Suelos tropicales residuales

Boul et al. (1981) señalan que los procesos de formación de los suelos residuales incluyen la incorporación de humus (vegetación en descomposición), la meteorización física y química, la lixiviación, el arrastre y acumulación de materiales insolubles, el movimiento vertical de partículas finas y la alteración por la penetración de raíces, la excavación por animales que viven dentro del suelo y la desecación. Su acción individual

o conjunta da lugar a una sucesión de horizontes más o menos diferenciados aproximadamente paralelos a la superficie del terreno que puede ser disconforme con la estructura de la roca. La secuencia de horizontes en cada sitio constituye el perfil del suelo. Las capas de suelos cercanas a la superficie del terreno están fuertemente influenciadas por el humus y los ciclos de humedecimiento y secado y otros ciclos estacionales como frío, calor, inundaciones cortas o prolongadas. Al aumentar la profundidad desaparece el contenido de materia orgánica y se reducen las fluctuaciones estacionales del contenido de humedad. En la profundidad, el movimiento del agua es más lento, y se hace más difícil el transporte de las partículas finas y de los solutos a través del perfil del suelo. Consecuentemente, la mineralogía, la granulometría, las propiedades geotécnicas pueden cambiar con la profundidad, aunque el perfil completo se haya desarrollado a partir de una roca madre homogénea. Los horizontes cerca de la superficie (ferralíticos), con minerales muy alterados frecuentemente migran verticalmente a horizontes menos alterados en los que los minerales originales de la roca se encuentran inalterados en gran medida, o parcialmente alterados, pero todavía como pseudomorfos intactos.

El contenido de arcilla frecuentemente disminuye hacia abajo y los minerales con capas 1:1 (caolinita) pueden cambiar a minerales 2:1 (esmectita), dando lugar a características geotécnicas significativamente diferentes. El material encontrado en profundidad en un perfil de suelo tropical se ubica sobre la roca meteorizada. Las segregaciones ferruginosas se encuentran típicamente en la parte superior del perfil, aunque puede extenderse a profundidades mayores de diez metros.

5.2.1. La meteorización tropical

La meteorización de los minerales primarios en las regiones tropicales es más intensa y ocurre a profundidades mayores que en cualquier

otra parte. La materia orgánica se degrada rápidamente y pocas veces es incorporada más abajo de una delgada capa superficial. Consecuentemente, la meteorización ocurre principalmente por hidrólisis en condiciones cercanas a un pH neutro a profundidades muy por debajo de la influencia de los productos de descomposición ácida orgánica. La alteración frecuentemente es tan intensa que los materiales del suelo se comportan, en sentido geotécnico, de manera muy diferente a los materiales parentales de los que se derivan. Esto rara vez es cierto de los suelos menos alterados de las regiones templadas.

5.2.2. Los suelos gleysoles

Boul et al. (1981) describe a los suelos gleysoles. Él señala que el término gleysol deriva del vocablo ruso “gley” que significa masa fangosa, haciendo alusión a su exceso de humedad o bajo inundación. El material original lo constituye un amplio rango de materiales no consolidados, principalmente sedimentos de origen fluvial, marino o lacustre, generalmente proveniente del Pleistoceno u Holoceno. La mineralogía puede ser de reacción (pH) ácida o básica. Se encuentran en áreas deprimidas o zonas bajas del terreno, con mantos freáticos superficiales de diferentes profundidad y duración. Los suelos gleysoles poseen un perfil de tipo ABgCr o HBgCr, si bien el horizonte Bg puede no existir. Es característica la evidencia de procesos de reducción, con o sin segregación de compuestos de hierro dentro de los primeros 50 cm del suelo. (Boul et al., 1981). El exceso de humedad es la principal limitación de los Gleysoles vírgenes; suelen estar cubiertos con una vegetación natural pantanosa de escaso aprovechamiento o se usan para pasturas extensivas. Una vez drenados pueden utilizarse para cultivos, agricultura de subsistencia o huertas. En los trópicos y subtrópicos se utilizan ampliamente para el cultivo del arroz y pasturas adaptadas.

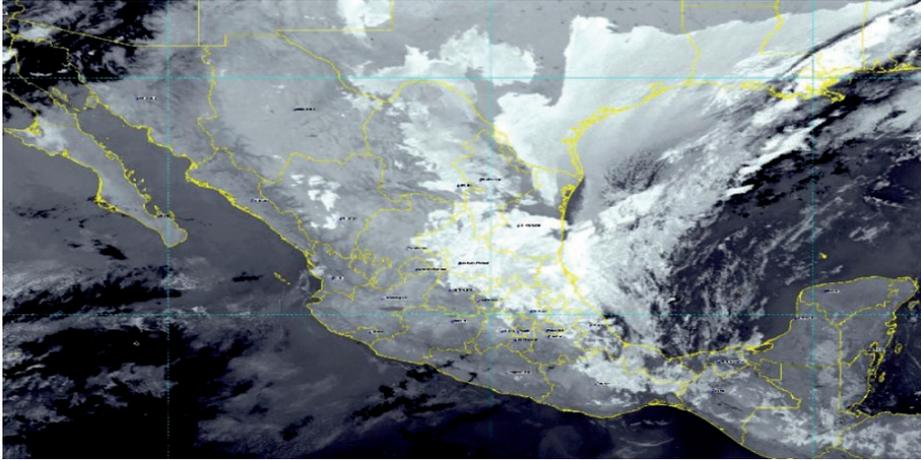
Según este citado autor, los tipos posibles y sus definiciones de los gleysoles son:

- Gleysol hístico. Con un horizonte hístico (con alto contenido de MO) en los primeros 40 cm del suelo. Se establecen tres modalidades:
- Fibrihístico.
- Gleysol tiónico. Existe un horizonte sulfúrico o material en el primer metro de suelo. Se distinguen dos modalidades.
- Gleysol antráutico. Con un horizonte antráutico.
- Gleysol endosálico. Presenta un horizonte sálico en el primer metro de suelo y por debajo de los 50 cm.
- Gleysol ándico. Existe un horizonte ándico en el primer metro. Se distinguen dos modalidades:
 1. Gleysol vítrico. El suelo posee un horizonte vítrico en su primer metro, sin que exista un horizonte ándico por encima de aquel.
 2. Gleysol plíntico. Con un horizonte plíntico en el primer metro.
- Gleysol sódico. Cuando tiene una saturación en sodio del 15 % o superior, o la suma de sodio más magnesio es como mínimo del 50 %, todo ello en los primeros 50 cm.
- Gleysol móllico. El suelo presenta un horizonte móllico
- Gleysol yésico. Con un horizonte yésico en el primer metro.
- Gleysol cálcico. Con un horizonte cálcico o concentraciones de carbonatos secundarios entre 50 cm y un metro de profundidad.
- Gleysol úmbrico. Presenta un horizonteúmbrico.
- Gleysol arénico. Con una textura arenosa-franca fina o más gruesa en la totalidad de los primeros 50 cm.
- Gleysol takírico. Existe un horizonte takírico.
- Gleysol gélico. Con permafrost en los primeros 2 metros.
- Gleysol húmico. Más de un 1 % de C orgánico a lo largo de los primeros 50 cm.

- Gleysol alcalino. Cuando existe un pH 8.5 en los primeros 50 cm del suelo.
- Gleysol alumínico. El suelo presenta una saturación al del 50 % o más, en alguna parte del horizonte B comprendida entre 50 cm y un metro de profundidad.
- Gleysol tóxico. Presenta dentro de los primeros 50 cm concentraciones de iones tóxicos para el crecimiento de las plantas, diferentes del aluminio, hierro, sodio, calcio o magnesio.
- Gleysol abruptico. Expresa la presencia de un cambio textual abrupto.
- Gleysol calcáreo. Es calcáreo entre 20 y 50 cm desde la superficie.
- Gleysol téfrico. Hay material téfrico hasta una profundidad mínima de 30 cm.
- Gleysol dístrico. Una saturación en bases menor del 50 % en alguna parte situada entre 20 y 100 cm.
- Gleysol éútrico.

5.3. Origen de las inundaciones

Para el caso del vértice del golfo de México, las inundaciones se deben principalmente por los llamados nortes del golfo que son ocasionadas por los frentes fríos provenientes del Polo Norte y que azotan año tras año en la temporada invernal (noviembre-marzo), produciendo abundantes lluvias que se acumulan en las partes bajas, generalmente al pie de las serranías que existen en la cadena montañosa de la Sierra Madre Oriental del Golfo, llamadas nortes.

Figura 15. Efecto de los frentes fríos en el golfo de México

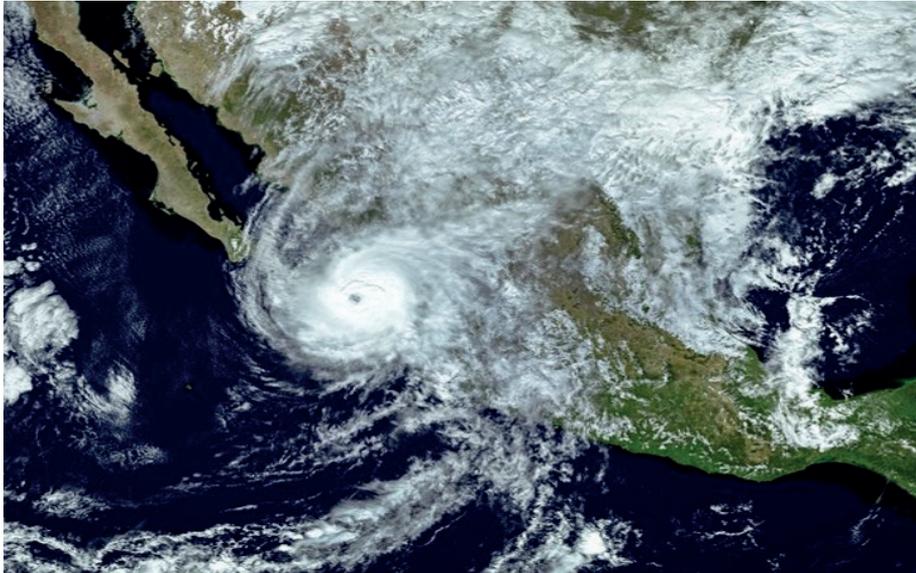
Fuente: CONAGUA (2020). Sistema Meteorológico Nacional.

Presencia de los frentes fríos en el golfo de México, ocasionado por las masas polares provenientes del Polo Norte, que llegan a la frontera con México donde producen heladas, nevadas y los llamados frentes fríos y su efecto en el golfo de México. Estas masas polares, invernales fríos, cargadas de humedad, al chocar con el aire tibio y húmedo que se estaciona sobre las aguas del golfo, sufren un relativo calentamiento en su parte basal, lo cual desencadena los procesos internos que dan origen a una lluvia suave (tipo llovisna) que duran varios meses entre noviembre y marzo y ocasionalmente hasta abril.

Estas lluvias (nortes), son suaves, no erosivas, pero inducen la creciente de ríos que inundan gran parte de Tabasco y norte de Chiapas, sur de Veracruz y norte de Campeche principalmente, y a la par se acumulan en los suelos bajos de la región señalada ocasionando su encharcamiento que suele permanecer varios meses. Y es esta área inundada del norte de Chiapas y Tabasco, la base para la presente publicación. Esta agua que inunda los suelos bajos provoca cambios importantes temporales tanto en la física, química y microbiología del sustrato edáfico como modificaciones en la anatomía y fisiología de las plantas que ahí crecen, en particular a las pasturas que afectan la producción de forraje y su calidad, así mismo tienen un notable efecto en el comportamiento animal que pastorean en esas áreas especialmente en la temporada de nortes, tal como se analiza este documento.

Por su parte, las inundaciones de los suelos en los estados costeros del Pacífico o aquellos influenciados por las lluvias provenientes del océano Pacífico son ocasionados por el temporal lluvioso normal (junio-noviembre), provocados por las grandes masas de nubes cargadas de humedad que se forman sobre el océano Pacífico, que por diferencias de presión atmosféricas (alta en el océano y baja sobre el territorio nacional), inducen el desplazamiento de las nubes húmedas y al chocar con las faldas de la Sierra Madre Occidental ocasionan las lluvias orográficas intensas y prolongadas, que inundan los suelos ubicados al pie de las serranías y partes bajas de las montañas de los estados costeros.

Figura 16. Efecto de los ciclones en inundaciones del océano Pacífico



Fuente: CONAGUA (2020), Sistema Meteorológico Nacional

También influyen los ciclones que suelen presentarse año tras año y que entre otras consecuencias, además de las inundaciones y otros daños, permiten llenar las grandes presas allí existentes que impulsan los múltiples distritos de riego de Sinaloa, Sur de Sonora, principalmente, donde se produce el maíz de alto rendimiento y las hortalizas para el abasto nacional y la exportación hacia Estados Unidos.

Las inundaciones de las áreas ganaderas, especialmente de la región del golfo de México, son provocadas también por los ciclones que ahí se presentan y pueden ocasionar los siguientes efectos: Lluvias muy intensas, estas generalmente suelen presentarse en temporada de lluvias, y muchas veces provocan saturación de humedad del suelo, por lo general dura unos días o una o dos semanas, desbordamiento de los ríos, lo cual se presenta con mayor frecuencia a partir del mes de octubre y esto se observa en algunas zonas próximas de los ríos, Usumacinta, Papaloapan y Coatzacoalcos, también suelen inundarse algunas áreas adyacentes al río Grijalva especialmente cuando se liberan volúmenes grandes de agua de la Presa denominada “Peñitas”.

Figura 17. Efecto de los ciclones sobre las inundaciones en el golfo de México, en especial en Tabasco, Chiapas y Campeche



Fuente: CONAGUA (2020), Sistema Meteorológico Nacional

Figura 18. Regiones en riesgo de inundaciones en el norte de Chiapas y Sur de Tabasco

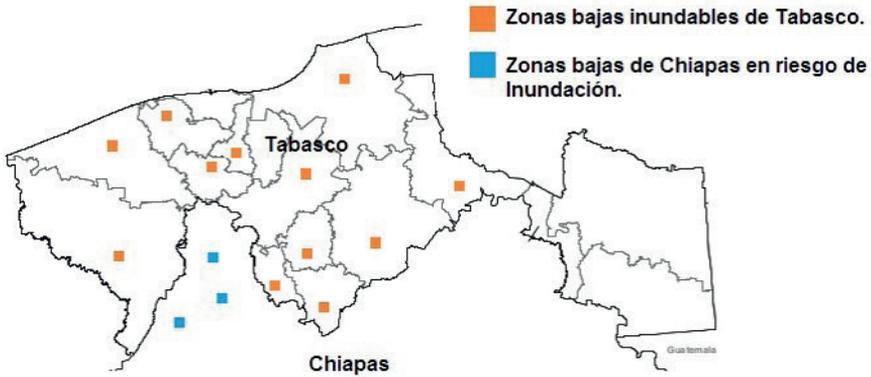
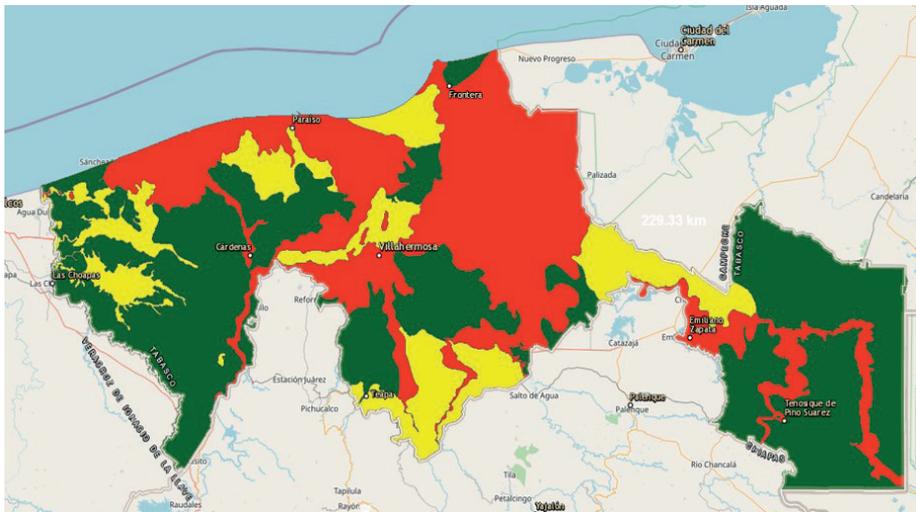


Figura 19. Suelos de Tabasco según riesgo de inundación



Fuente: <http://www.atlasmacionalderiesgos.gov.mx/>

Municipios de Tabasco que sufren inundaciones anuales: Cárdenas, Huimanguillo, Comalcalco, Cunduacán, Jalpa de Méndez, Centro, Teapa, Tacotalpa, Jalapa, Macuspana, Jonuta, Centla, superficie total: 18, 543.63 Km². Municipios de Chiapas con riesgo de inundaciones: Ostuacán, Juárez, Pichucalco, superficie total: 2,796.6 Km². También es importante reconocer que los niveles de inundación pueden ser; duraderos (varios meses), semi permanentes e intermitentes, variando las láminas de agua hasta una condición de suelo “huachinoso” o lodoso. Esto ha inducido a que para cada una de estas condiciones existan pastos y forrajes más apropiados y su aprovechamiento por parte de los ganaderos sea variable. Es muy frecuente que las tierras que retienen agua por la precipitación o bien por desbordamiento de ríos y arroyos, sean aprovechadas por los ganaderos con muy buen éxito durante la época de secas especialmente en los meses de marzo a mayo, que es cuando se empieza a evaporar el agua, bajan los mantos freáticos, o los ríos se retiran de las tierras que inundaron.

5.3.1. Zona llanura de inundación

Localización y superficie: Esta zona se distribuye ampliamente en todo el estado, hacia el norte colindando con la Zona Costa, además existe una amplia llanura de inundación en los municipios de Centla y Jonuta de la región Ríos y en los municipios de Cárdenas, Huimanguillo, Jalpa de Méndez y Nacajuca de la región Chontalpa. Otra superficie importante la ocupa en la Sierra abarcando los municipios de Macuspana, Jalapa, Teapa y una pequeña extensión de Tacotalpa, en el Centro también ocupa una extensión importante. Se considera como la zona fisiográfica más extensa del estado con 644,885 ha (26.2 %).

5.3.2. Descripción general

Las áreas más conocidas que presentan este tipo de forma terrestre son los “Pantanos de Centla”, con aproximadamente 302 mil ha, los “Pantanos de Blasillo” y “La Venta”, las tierras bajas de Nacajuca, Jalpa de Méndez, Macuspana, Jonuta, Centla y Centro. Esta zona se caracteriza por poseer superficies inundadas e inundables la mayor parte del año principalmente con agua dulce y en ocasiones con agua salada, por ejemplo, la zona norte de Cárdenas ensalitrada por el agua de mar debido a la apertura de la “Boca de Panteones”. Fisiográficamente se caracteriza por presentar un relieve cóncavo y un drenaje natural deficiente, y no tiene salida para el agua excedente. Por otro lado, estas áreas se ubican en las partes más bajas del estado, de hecho, se les denomina regionalmente como las “Ollas de la Chontalpa y de los Ríos”, algunas áreas se encuentran por debajo del nivel del mar.

La vegetación natural de la zona, está compuesta principalmente por selvas bajas subperennifolias, selvas bajas espinosas, “tintales”, pantanos, “popales”, “hojillales” y cuerpos de agua cubiertos de “tulares” y “jacintales”. Una de las características del área es la presencia de actividad petrolera, aquí se localiza un importante número de pozos petroleros en producción. La zona guarda muy poco potencial para las explotaciones agropecuarias comerciales, no así para las actividades pesqueras de tipo artesanal, producción forestal, flora y fauna nativa para consumo; por otro lado, presenta serios problemas de impacto ambiental debido a que son áreas de confinamiento de las escorrentías de las tierras más altas, desechos urbanos, derrames y desechos petroleros. Esta zona es también importante al ser refugio natural de las aves migratorias y de los animales silvestres; muchas áreas de esta zona son inaccesibles por la falta de infraestructura carretera y de desarrollo en general.

Los tipos de suelos son principalmente: gleysoles, solonchaks, histosoles, cambisoles y vertisoles, y la característica que los hace semejante es la riqueza de nutrimentos pero con serios problemas de anegamiento y falta de aireación en el suelo lo que afecta a las raíces de las plantas. Sin embargo, en la época de sequía, la tierra pierde humedad y presenta excelentes condiciones para el desarrollo de cultivos de ciclo corto, en virtud de la gran cantidad de materia orgánica que queda disponible en los primeros horizontes del suelo. Con respecto al clima, de acuerdo con la estación meteorológica de Frontera, en 25 años de observación, la precipitación total anual es cercana a los 1,500 mm, observándose una mayor acumulación en el verano, característico de los climas del trópico húmedo; la temperatura media anual es de aproximadamente 26°C manifestándose las lluvias máximas en el verano y las mínimas en la primavera. En el sistema de clasificación Köppen modificado por Enriqueta García la fórmula para este clima es Am(g)w.

5.3.3. Los suelos gleysoles de Tabasco

Suelos formados sobre materiales no consolidados (excluyendo materiales de texturas gruesas y depósitos aluviales que tengan características flúvicas) que presentan propiedades gléyicas (saturación con agua durante ciertos períodos durante el año o todo el año y que manifiestan procesos evidentes de reducción o una reducción asociada a la segregación del hierro, dichos procesos se pueden observar en el perfil por la presencia de colores azulosos o verdosos, ya sea como color dominante o como moteado asociado con colores rojizos, amarillentos u ocres), a menos de 50 cm de profundidad. Los Gleysoles no presentan otros horizontes de diagnóstico que un horizonte A molico, un horizonte H hístico, un horizonte B cámbico, un horizonte cálcico o un horizonte

gypsic; no deben de tener las características de diagnóstico de un Vertisol o un Arenosol, ni propiedades sálicas; no deben de tener plintita a menos de 125 cm de profundidad.

Aunque este grupo de suelos es de los menos estudiados debido al poco interés agronómico que presentan, en Tabasco se han logrado identificar las siguientes subunidades, que se diferencian solamente por los tipos de horizontes de diagnóstico que presentan.

5.3.4. Gleysoles mólicos (GLmo)

En el estudio realizado por Palma et al. (2007) sobre los suelos de Tabasco, se concluyó lo siguiente: son Gleysoles con horizonte A mólico o un horizonte H Hístico y sin propiedades asociadas a las cenizas volcánicas (ándicas) al menos en los primeros 200 cm de profundidad. Se localizan, principalmente, en las áreas cercanas a las lagunas interiores de los municipios de Huimanguillo, Cárdenas, Paraíso y Centla, así como en partes bajas dispersas en el resto de los municipios. Fisiográficamente ocupan zonas bajas con pendiente de plana a ligeramente cóncava inferior a 0.5 %. El material parental de estos suelos es en un primer término derivado de sedimentos aluviales del Cuaternario Reciente, pero estos han sido modificados por el efecto de sedimentación palustre que acompaña a estas zonas bajas. Localmente se les conoce como “popalerías” o “bajiales”.

Las características principales de esta subunidad son las siguientes: tienen un horizonte A friable y enriquecido por material orgánico en proceso de descomposición, por lo que tienen altos contenidos de nutrientes y materia orgánica; presentan texturas francas en la superficie que sobreyacen a texturas arcillo limosas (horizonte C), en ocasiones se pueden presentar texturas arenosas en el fondo del perfil. Son suelos profundos, sin embargo, el manto freático se encuentra cercano a la

superficie la mayor parte del año, por lo que la verdadera profundidad de enraizamiento es en realidad menor a la que podía esperarse. Los problemas de anegamiento, manto freático elevado y régimen de humedad ácuico, predisponen a estos suelos para su uso agrícola, recomendándose su uso solo para actividades pecuarias, forestales o de reserva de la vida silvestre. Se clasifican por su capacidad de uso como V/D3D4C1. Desde el punto de vista de uso actual, este es dominado por la vegetación hidrófila (popales, tulares, tasistales), las selvas bajas inundables (apompales, estribales), manglares y los pastizales resistentes a los altos contenidos de humedad del suelo, sin embargo, es posible observar un uso extendido de estos suelos con maíz “marzeño”, es decir, cultivado en la estación de secas, de hecho, este tipo de siembra se muestran excelentes desde el punto de vista de producción, alcanzando altos rendimientos por hectárea (de 3 a 6 t ha⁻¹), esto con tecnología tradicional de roza-quema. El cultivo de arroz de forma tradicional es también una actividad importante.

5.3.5. Gleysoles úmbricos (GLum)

Los Gleysoles Úmbricos tienen un horizonte superficial parecido al horizonte mólico, grueso, oscuro, rico en materia orgánica sin ser húmico, pero con una saturación de bases menor a 50 %. Por lo general, se encuentra asociado con otros suelos, principalmente ácidos. Se clasifican por su capacidad de uso como de IV/D3D4S8 por problemas de anegamiento, manto freático elevado y baja fertilidad.

5.3.6. Gleysoles eútricos (GLEu)

Son los Gleysoles que tienen una saturación de bases igual o superior al 50 %, en al menos entre los 20 y 50 cm de profundidad; sin más

horizontes de diagnóstico que un A ócrico o un B cámbico; no tienen características ándicas dentro de los 200 cm de profundidad. Se distribuyen principalmente en los bajos de las regiones de los ríos y de la sierra, en zonas cercanas a los cauces de los ríos y arroyos. Fisiográficamente ocupan superficies cóncavas con pendientes inferiores a 0.5 %. El material parental de estos suelos son los sedimentos aluviales recientes. Localmente se les conoce como “bajiales” o “popales”. Los Gleysoles éutricos son muy parecidos a los Gleysoles mólicos, con excepción de que estos no presentan un horizonte A tan enriquecido en materia orgánica y, por lo tanto, su consistencia no es tan friable como en el caso del horizonte A mólico, esto se debe principalmente a que la vegetación que se encuentra sobre los Gleysoles éutricos no es tan abundante y aportadora de residuos como en los Gleysoles mólicos. En general son suelos profundos con horizontes A y C no muy desarrollados, ricos en nutrientes, anegados la mayor parte del año y con manto freático elevado. Se clasifican por su capacidad de uso como V/D3D4C1.

5.3.7. Gleysoles dístricos (GLdy)

Son Gleysoles similares a los Gleysoles éutricos, pero que presentan saturación de bases inferior a 50 % entre 20 y 50 cm de profundidad, esto quiere decir que son nutrimentalmente más pobres. Localmente se les conoce como “tierras de bajos”, o “bajiales” Se localizan principalmente al sur del municipio de Jonuta y al este de Macuspana. Fisiográficamente ocupan terrenos ligeramente cóncavos con pendientes inferiores al 1 %. El material parental de estos suelos son sedimentos aluviales del Cuaternario Reciente fuertemente mezclados con sedimentos coluviales de los terrenos originados de areniscas y aluviones del Pleistoceno de los alrededores. La única diferencia de estos suelos con los otros Gleysoles son los

menores contenidos nutrimentales, el pH ácido y que el período de anegamiento o encharcamiento es menor en estos suelos, por lo que se clasifican como IV/D3D4S8. A pesar de lo anterior su uso con cultivos esta seriamente restringido, a cultivos tolerantes a los excesosde humedad.

5.3.8. Gleysoles húmicos (GLhu)

Son suelos que tienen un alto contenido de carbono orgánico de más de 1 % (en peso) en la fracción de tierra fina hasta una profundidad de 50 cm desde la superficie del suelo. Por su capacidad de uso se clasifican como de IV/D3D4C1, por anegamiento, manto freatico elevado y exceso de humedad durante casi todo el año.

5.3.9. Gleysoles plinticos (GLpl)

Estos Gleysoles presentan condiciones de aireación durante algunos meses, lo cual permite la formación de plintita no endurecida, formada por estar expuesto a períodos de humedad y secado repetidos con acceso libre de oxígeno. Por su capacidad de uso se clasifican como de V/D3D4S8, debido al anegamiento, manto freatico elevado y baja fertilidad.

5.3.10. Asociación de Gleysoles éutricos, Gleysoles mólicos e Histosoles sápricos (GLEu-GLmo-HSsa)

Esta unidad cartográfica se definió como asociación debido a que el nivel del estudio no permitió la diferenciación de las tres subunidades de suelo en el campo, además las dos subunidades de los Gleysoles muestran características similares, diferenciándose únicamente por el tipo de horizonte A de diagnostico. El Histosol se asocia fuertemente a ambos Gleysoles dependiendo de la duración del período de anegamiento. Esta asociación de suelos es conocida regionalmente como “pantanos”,

“bajos” y “tembladeras”. Prácticamente, toda esta asociación abarca la parte principal de los llamados “Pantanos de Centla”, localizándose, por tanto, en su mayor parte en el municipio de Centla y parte de Jonuta y Macuspana. Fisiográficamente se ubican en una gran superficie cóncava con pendientes no mayores a 1 %. El material parental es una mezcla de aluviones recientes y sedimentos lacustres y palustres.

Los factores de demérito para este grupo de suelos, están ligados con la inundación, el manto freático elevado y el régimen de humedad ácuico. Se clasifican por su capacidad de uso como VII/D3D2C1, por lo que su uso solo se recomienda para la reserva de la vida silvestre.

5.4. Praderas y sábanas inundadas

Ramsar (1971) reconoce que los humedales incluyen un amplio espectro de ecosistemas en Latinoamérica, muy variables espacial y temporalmente. En términos generales, hay una fuerte relación entre las características del drenaje superficial y subsuperficial y la heterogeneidad ambiental interna de cada unidad. De este modo, cada humedal provee hábitats, recursos y funciones alternativas a la región y a las distintas especies biológicas presentes, incluido el ser humano. Al inundarse regularmente, el suelo se satura, quedando desprovisto de oxígeno y dando lugar a un ecosistema híbrido entre los puramente acuáticos y los terrestres.

Los humedales se clasifican generalmente en función de su morfología y vegetación, y, en menor grado, por su hidrología. La Convención sobre los Humedales (Ramsar, 1971), clasifica los humedales en diversos tipos, agrupados en tres categorías: marinos y costeros, continentales y artificiales. El aporte de agua puede ser de origen marino, fluvial, pluvial o freático. Las condiciones de anegamiento o inundación, o al menos

la saturación de agua del suelo, pueden suceder en forma permanente o semipermanente. Los humedales son ecosistemas muy dinámicos expuestos a la influencia de factores tanto naturales como humanos. Los suelos del humedal funcionan como sumideros de carbono, pero también de sulfatos, nitratos y sustancias tóxicas. Muchas especies vegetales de los humedales son capaces de actuar como “biofiltros”, reteniendo sustancias tóxicas procedentes de plaguicidas, actividades mineras o residuos industriales. Algunas especies de plantas flotantes como por ejemplo el jacinto de agua (*Eichborna crassipes*) son capaces de absorber y almacenar metales pesados, como el hierro y el cobre, contenidos en las aguas residuales.

El Colegio de Posgraduados en su Campus de Tabasco desde hace varios años está realizando una serie de estudios sobre la contaminación de las zonas petroleras. Una tesis de maestría realizada en la region de la venta Tabasco (González, 2015) donde estudiaron al pasto nativo *Leersia hexandra* encontraron que esta especie tiene potencial como un fitoremediador para remover hasta un 68 % de petróleo fresco en suelo Gleysoles. Los suelos reflejan la dinámica hidrológica local, con condiciones alternas de exceso y falta de agua. Los suelos más comunes en los humedales son los Histosoles y Gleysols. Estos últimos se forman en los lugares más húmedos y con la mayor productividad biológica. Este tipo de suelos tropicales en su mayoría, están muy humificados, son lodosos, y presentan pocas fibras vegetales no alterados. El espesor de la capa orgánica varía desde medio hasta varios metros de profundidad.

Los Gleysols son suelos más minerales (la capa orgánica es menor de 50 cm) con una evidente de reducción del hierro y manganeso por la falta de oxígeno provocada por la inundación prolongada. En los humedales también pueden encontrarse Fluvisoles alrededor de los ríos y otros tipos de suelos en las zonas elevadas del terreno. Debido a su alta productividad forrajera, en ocasiones los humedales son pastoreados de manera muy intensa, dando como resultado la sobreexplotación de sus recursos vegetales y la compactación del terreno, seguido todo ello de la invasión de especies exóticas.

En los humedales de regiones secas los procesos de degradación comienzan frecuentemente con el reemplazo de las especies propias del humedal por especies más xerófilas (como consecuencia de perturbaciones naturales o antrópicas que provocan descenso del nivel freático, un exceso de sales y aridez). Su integridad también está amenazada por la contaminación con hidrocarburos en las áreas de explotación petrolera. En el caso de las marismas y humedales costeros deberá tenerse en cuenta el riesgo de inundación previsible en los próximos 50 años, debido al ascenso medio del nivel del mar previsto en algunos lugares a causa del cambio climático.

El Convenio de Ramsar es la Convención sobre los Humedales, firmada en Ramsar, Irán (1971). Es un tratado intergubernamental que proporciona el marco para la acción nacional y la cooperación internacional para la conservación y uso racional de los humedales y sus recursos.

5.5. Pastos adaptados a suelos inundados

Cuadro 17. Principales características de propagación, tolerancia en tiempo y profundidad de inundación, de los pastos más utilizados en México

Pasto	Método de Propagación *	Tolerancia o exceso de humedad	Permanencia del agua (semanas)	Profundidad Del agua
Hymenachne amplexicaulis	S/V	Alta	40	2.5 m
Echinochloa polytachya	V	Alta	24	2.5 m
Leersia hexandra	S/V	Alta	20	1.8 m
Hemarthria altissima	V	Alta	15	50 cm
Cynodon dactylon	V	Alta	15	50 cm
Urochloa mutica	V	Alta-Media	24	50 cm
Urochloa humidicola	S/V	Media-Baja	10	15 cm
Urochloa hibrido	S/V	Media-Baja	4	10 cm
Urochloa Brizanta	S/V	Media-Baja	4	10 cm

* S= semilla; V= material vegetativo **Fuente:** Enríquez et al. (2011)

Cuadro 18. Valor nutritivo y rendimiento promedio de forraje de pastos adaptados a condiciones de inundación

Pasto	Proteína cruda (%)	Digestibilidad (%)	Rendimiento anual de forraje (t/ha)
Azuque	16	66-80	4-21
Alemán	10	62	20
Lambedora	14-6	44-61	----
Bigalta	5-13	62	18
Poyuca +	8-10	60	26
Para	3-16	39-66	5-16
Chetumal	7-8	56	15-30
Yacaré*	**13	----	11-20
Toledo	9-14	60-67	20-33

Fuente: Enríquez et al. (2011). Adaptado de Argel et al. (2000); Meléndez (1979); Tejos, (1980). Rettally (2010) forraje cosechado a los 56 días de rebrote *Hare et al. (2013); **Proteína cruda en hojas a 30 días de rebrote y rendimiento a 30 y 90 días de rebrote, citados por Enríquez et al. (2011).

Cuadro 19. Producción de carne de diferentes pastos adaptados a inundación

Pasto*	Carga animal** (cabezas ha-1)	Ganancia de peso (g cabeza-1 d-1)	Ganancia de peso (Kg ha-1 año -1)
Alemán	3.5	411	525
Bigalta	3.0	500	548
Para	3.0	440	583
Chetumal	4.0	360	526

Fuente: Meléndez (1979); Moreno (1976) citados por Enríquez et al. (2011). *El nivel de fertilización fue de 200 kg N ha⁻¹ año. **La carga animal; novillos con un peso inicial de 282 kg hasta su venta.

Es importante conocer que el contenido de oxígeno dentro del suelo inundado es 10,000 veces menor que en el aire, además el intercambio de gases entre la raíz sumergida y el ambiente es muy reducido (Colmer, 2003a). Bajo inundación, el aire en los poros del suelo es reemplazado por el agua y el oxígeno, es consumido rá

pidamente por la respiración de las raíces y la actividad microbiana. (Koppit, 2004) quien a su vez señala que, este déficit de oxígeno inhibe la respiración mitocondrial, la oxidación y los procesos de oxidación (Koppits, 2004), lo que afecta el metabolismo general de las plantas (Sairam et al., 2008).

Entre los síntomas más frecuentes generados por la inundación en *Urochloa* se encuentran menor crecimiento, reducción de absorción, y transporte de nutrientes, menor translocación de carbohidratos, clorosis, cierre estomático, disminución de la actividad fotosintéticas, muerte de hojas, tallos y raíces (Dias-Philo, 2002). Si bien, son diversos y complejos los daños ocasionados a las plantas por la inundación, también existen múltiples mecanismos que presentan las plantas para hacer frente a las condiciones anaeróbicas del suelo (Jimenez et al., 2012). Solo aquellas plantas que no desarrollan estas adaptaciones se mueren.

5.6. Pasan las inundaciones, quedan los nutrientes

Castelor (2006) comenta que el Instituto de Suelos del INTA Colombia afirma que los excesos hídricos no lavan ni modifican en mucho la composición de los suelos.

Así que, luego de varias semanas de anegamiento y constantes precipitaciones, finalmente el agua se retira y los suelos de las regiones afectadas por el exceso hídrico reaparecieron. Ahora bien, ¿qué sucedió con los nutrientes?, ¿se lavaron? “Los macronutrientes vegetales nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y los micronutrientes boro, manganeso, hierro, cobre no se lavan por las inundaciones, excepto algunas formas minerales de nitratos y gaseosas de nitrógeno que se pierden en la atmósfera”. A pesar de esta afirmación, Castelor (2006) recomendó a los productores realizar un análisis de los suelos que pasan por las inundaciones para conocer en detalle los niveles de los nutrientes. Esto ayudará a diseñar una correcta estrategia de fertilización. “Independientemente de que el suelo se haya inundado o no, hay que tener en cuenta que los niveles de extracción de los cultivos y pasturas son muy importantes, por lo que antes de fertilizar se debe conocer la oferta disponible de nutrientes en el suelo”, subrayó el especialista. A modo de ejemplo, “existen distintos tipos de inundación según el origen del agua, ya sea de lluvia o por inundación”, detalló quien agregó: “Para el primer caso se trata de agua no salina, por lo que estas inundaciones no son nocivas ni para el suelo ni para los nutrientes en general, pero, sí para el nitrógeno como nitratos”.

En el caso que la inundación sea causada por agua de lluvia, generará un efecto de dilución sobre las sales presentes en la solución del suelo, en condiciones deficientes de aireación para las plantas cultivadas. Por lo contrario, cuando las capas freáticas ascienden (napas) las consecuencias

de la inundación dependerán del nivel de mineralización que posee el agua subterránea y del tipo de sal prevaleciente. El impacto sobre el suelo dependerá si el sodio se presenta en forma de cloruros o sulfatos habrá una salinización temporaria y una leve sodificación con problemas de toxicidad y falta de agua para los cultivos. En cambio, si los aniones acompañantes del sodio son el carbonato y el bicarbonato habrá una sodificación severa y duradera con consecuencias serias sobre los suelos como la desestabilización de los agregados y la obturación de los poros, procesos que reducen la infiltración y la porosidad y se altera la retención del agua y el movimiento del oxígeno en el suelo. No todo está perdido y, de acuerdo, “existen diferentes herramientas de recuperación que pueden ser químicas, físicas o biológicas que requieren la atención y dedicación del productor y del apoyo del extensionismo”, señalan los expertos.

5.7. Adaptación y evaluación de la tolerancia a la inundación en gramíneas forrajeras tropicales

5.7.1. Las plantas evolucionan para adaptarse a las inundaciones

Existen variedades de arroz y diversas pasturas y plantas que han evolucionado genéticamente para poder adaptarse a las condiciones extremas de agua consecuencia de temporales. Donde se producen inundaciones periódicas durante la época de lluvias, la profundidad del agua puede alcanzar varios metros durante muchos meses. Las plantas de zonas inundadas, como el arroz, pasturas entre otras se han adaptado para crecer en aguas poco profundas y en agua profundas. Cuando hay mayor cantidad de agua la planta aumenta su altura proporcionalmente al incremento de agua. Así lo demuestra un equipo de científicos japoneses que han descubierto

un gen en el arroz que es crítico para su supervivencia en condiciones de inundación. También han arrojado luz sobre su función molecular y su historia evolutiva. Identificaron el gen SD1 codifica una enzima de biosíntesis de giberelina, una hormona vegetal. Además, controla la respuesta del arroz en aguas profundas a través de un único alelo.

El aumento de la actividad agrícola en las últimas décadas ha ido desplazando a la actividad ganadera hacia áreas con mayores restricciones ambientales (Cahuépe e Hidalgo, 2005; Feldkamp, 2011). Las mismas restricciones que impiden la agricultura en las áreas destinadas a la ganadería, también imponen condiciones de estrés para la introducción y producción de especies forrajeras (inundaciones, sequías, halomorfismo o déficits de nutrientes). La recomendación de prácticas agronómicas debe guardar relación con las restricciones del ambiente, sin favorecer el deterioro de estos ecosistemas restringiendo su productividad futura. En este sentido, la promoción y cultivo de forrajeras megatérmicas perennes tolerantes a condiciones de estrés puede ser una alternativa sustentable para incrementar la oferta de forraje para el ganado utilizando áreas con productividad relativa menor. Actualmente, como resultado del calentamiento global, los inviernos son menos restrictivos para el crecimiento vegetal en áreas de pastizales templados (Kreyling, 2010). Las plantas que habitan zonas de pastizal de la Pampa Deprimida están sometidas a un régimen de inundaciones frecuentes (Paruelo y Sala, 1990), que puede variar en su intensidad (profundidad del agua), duración y momento de ocurrencia. Esto trae como consecuencia un espectro de condiciones a las que pueden estar sujetas las plantas forrajeras en estos ambientes, y que imponen limitaciones para su producción y persistencia según su grado de tolerancia al estrés. Las especies tolerantes pueden cambiar su morfología en respuesta a la intensidad de

inundación. En este sentido, se conocen dos estrategias de supervivencia frente a estrés por sumersión: escape y quiescencia (Bailey-Serres y Voeselek, 2008). La estrategia de escape se caracteriza por un rápido crecimiento en altura de las plantas ante una sumersión parcial que les permite ubicar rápidamente una proporción de hojas por encima del nivel de agua para facilitar la captura de oxígeno y continuar con la fijación de carbono. Por el contrario, la estrategia de quiescencia se caracteriza por una condición en la cual las plantas reducen su crecimiento y utilizan de manera conservativa sus carbohidratos de reserva para sobrevivir hasta que el nivel del agua disminuye (Bailey-Serres y Voeselek, 2008). En trabajos previos del grupo de investigación, encontraron en la leguminosa forrajera *Lotus tenuis* la capacidad plástica de presentar diferentes estrategias según la intensidad de inundación: bajo sumersión parcial muestran una estrategia de escape, que bajo sumersión completa las plantas permanecen quiescentes a expensas de sus reservas en su corona radicular (Manzur et al., 2009).

Tolerancia de plántulas frente a intensidades crecientes de inundación. El objetivo de este experimento fue evaluar estrategias de tolerancia ante intensidades crecientes de inundación en plántulas de especies megatérmicas con potencial de uso como forrajeras en pastizales templado húmedos. Se utilizaron plántulas de 3-4 hojas de las especies *Chloris gayana* (cv. *Finecut*) y *Panicum coloratum* var. *coloratum* (cv. Klein). Los resultados mostraron que ambas especies toleran similarmente la sumersión parcial (profundidad del agua: 7 cm), pero difieren en su grado de tolerancia a la sumersión completa. En este último escenario, *Chloris gayana* logró emerger del agua aumentando su altura en mayor medida que los controles. La respuesta de ‘escape’ a la sumersión exhibida por *Chloris gayana* se asoció a una asignación preferencial de biomasa hacia la parte aérea y un marcado

alargamiento de las láminas foliares. Por el contrario, *Panicum coloratum* detuvo su crecimiento sin acumular biomasa, sus hojas fueron más pequeñas y no logró emerger por encima del nivel de agua.

Es de destacar que, en condiciones de sumersión parcial, ambas especies continuaron creciendo durante la inundación y aumentaron considerablemente su biomasa en relación a su biomasa inicial, denotando así un alto grado de tolerancia a esta condición. Asimismo, se registró que la biomasa final de *Chloris gayana* fue similar bajo sumersión parcial y completa; mientras que *Panicum coloratum* redujo notablemente la biomasa bajo sumersión completa incluso al final del experimento, indicando que los daños provocados fueron persistentes. De esta manera, se concluye que *Chloris gayana* posee una alta tolerancia a la sumersión parcial y completa, mientras que *Panicum coloratum* tolera adecuadamente condiciones hasta sumersión parcial. La falta de respuesta de *Panicum coloratum* cuando se enfrenta a sumersión completa no debería ser interpretada como una estrategia de quiescencia (como Lotus) en Manzur et al., (2009), ya que las especies con quiescencia poseen la capacidad de desacelerar su metabolismo durante la sumersión para conservar energía, y luego al retirarse el agua, son capaces de reanudar un crecimiento vigoroso (Bailey-Serres y Voesenek, 2008). En este caso, la mínima recuperación en la biomasa que mostró *Panicum coloratum* después de concluida la inundación, indica que la especie fue fuertemente afectada por la sumersión completa (aunque todas las plantas sobrevivieron), lo cual no estaría representando cabalmente una estrategia de quiescencia, simplemente las plántulas de *Panicum coloratum* son sensibles a esta condición.

Se concluye que existen diferencias en la tolerancia a la sumersión completa entre los cultivares comerciales disponibles de *Chloris gayana*, que se manifiestan durante la fase de recuperación de las plántulas. Los cultivares

Finect y Pioneer, de mayor crecimiento postsumersión, resultaron los más promisorios para su introducción exitosa en bajos hidromórficos de la Pampa Deprimida Argentina donde sus plántulas pueden sufrir eventos de sumersión producto de inundaciones naturales de corta duración.

5.8. Los suelos en el cambio climático

5.8.1. Los suelos, la regulación del clima y los inundados

Según FAO (2015), los suelos juegan un papel importante en los procesos climáticos globales a través de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), y de metano (CH_4). Las funciones específicas del suelo que regulan estas emisiones son complejas, e interactúan fuertemente con los procesos de ecosistema tales como el abasto de agua a las plantas, la aplicación de nutrientes, (fertilizantes y abonado) y la producción agroalimentaria.

5.8.2. Pérdida de carbono orgánico del suelo

A escala global, los suelos son el mayor reservorio terrestre de carbono y, por lo tanto, tienen una mayor influencia en la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera. Estimaciones globales del almacenamiento de CO_2 han sido publicadas durante muchas décadas. El Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (GICC) estimó que el CO_2 acumulado en el primer metro del suelo en 1,502 billones de toneladas. Las estimaciones mundiales actuales derivadas de la Base de Datos Armonizada de los Suelos del Mundo (BDASM) sugieren que aproximadamente 1,417 billones de toneladas de CO_2 están almacenados en el primer metro de suelo y alrededor de 716 billones de toneladas de CO_2 están en los 30 cm superiores.

Globalmente, el impulsor primario de la pérdida del CO₂ del suelo es el cambio en el uso de la tierra. Un meta-análisis realizado en 2014 mostró que el almacenamiento de CO₂ se redujo en un promedio del 52 por ciento en las regiones templadas, 41 por ciento en las regiones tropicales, y 31 por ciento en las regiones boreales. La pérdida global del CO₂ almacenado desde 1850 está estimada en alrededor de 66 ± 12 billones de toneladas.

Los factores determinantes de la magnitud y tasa del cambio en el CO₂ dependen de las propiedades inherentes del suelo y de las prácticas de manejo del cultivo. Las tasas de renovación del CO₂ son mayores para los suelos en el trópico que para climas templados. También son mayores para suelos de textura gruesa que para los de textura pesada. La pérdida de CO₂ en todas las regiones están afectadas por el drenaje de los humedales, arado y la quema o remoción de la biomasa.

La expansión de la agricultura en los trópicos es responsable de la mayoría de las emisiones totales de CO₂ debidas al desmonte de tierras, y varios estudios recientes han concluido que detener esta expansión es esencial para la reducción de emisiones de carbono. En Europa, lo opuesto ocurre en algunas regiones el abandono de tierras agrícolas en áreas del Este de Europa conduce al aumento del CO₂ guardado en dichas tierras. Este depósito de carbono almacenado puede, sin embargo, ser rápidamente transformado en CO₂ si se realiza una reconversión a agricultura. Todas las turberas son muy susceptibles a la pérdida de CO₂ cuando se drenan para la agricultura y la forestación comercial este es un problema en varias regiones, particularmente en Asia y Europa.

Las prácticas agrícolas son el segundo mayor impulsor del cambio del carbono a CO₂ del suelo. Las evaluaciones regionales para África, Asia y partes del Sudoeste del Pacífico identifican la disminución en la duración de los periodos de barbecho y usos intensivos que requieren de

insumos orgánicos como los principales impulsores de la generalmente pobre condición del almacenaje de CO₂. En los suelos más infértiles de África, los bajos rendimientos de muchos cultivos de agricultura extractiva de subsistencia llevan a la necesidad de producir pequeñas cantidades de residuos orgánicos. La combinación de los bajos insumos orgánicos y el uso competitivo por los mismos, junto con las altas tasas naturales de descomposición del CO₂ en estas regiones, llevan a un bajo almacenamiento de CO₂ en estos suelos naturalmente infértiles.

Además de contribuir al cambio climático global, los niveles de CO₂ también responderán a cambios de temperaturas globales y en los patrones de precipitación. Los efectos del calentamiento global sobre la descomposición de la MO son gobernados por factores complejos e interactivos, y su predicción es un desafío. Esta es una preocupación particular para suelos orgánicos y de tundra, que son los mayores reservorios terrestres de carbono. El informe de la quinta evaluación del GICC plantea con gran seguridad que las reducciones en el permafrost (capa de hielo polar) debido al calentamiento causarán derretimiento de parte del carbono actualmente congelado, pero la magnitud de las emisiones de CO₂ y CH₄ a la atmósfera causadas por este descongelamiento no están claras, pero se presume que serán al alza.

5.8.3. Emisiones de óxido nitroso del suelo

Los insumos como fertilizantes con nitrógeno en el suelo, que exceden el requerimiento de los cultivos, están vinculados a la mayor liberación de un potente gas invernadero, el óxido nitroso (N₂O) desde los suelos. De los aproximadamente 16 millones de toneladas de N₂O año⁻¹ emitidas globalmente en la década de 1990, entre el 40 y 50 % fue resultado de la actividad humana. Los suelos agrícolas son la fuente dominante,

suponiendo más del 80 por ciento de las emisiones antropogénicas globales de N_2O durante la década de 1990. La emisión de óxido nitroso de suelos agrícolas se estima incrementará desde poco más de 4 millones de toneladas de N_2O año⁻¹ en 2010 a más de cinco millones de toneladas de N_2O año⁻¹ para 2030-2034. En cuanto a su efecto como gas de efecto invernadero, una unidad de N_2O es equivalente a aproximadamente 300 unidades de CO_2 y, por tanto, supone un incremento muy significativo en las emisiones globales y, con ello, en el mayor calentamiento atmosférico. En países desarrollados como Canadá o Estados Unidos donde, en algunas regiones, los insumos de fertilizante N exceden la demanda de la planta, la agricultura es responsable del seis o siete por ciento del total de las emisiones de gas de efecto invernadero (GEI), siendo las emisiones de N_2O de suelos agrícolas del 65 al 75 por ciento del total de la agricultura. El exceso de Nitrógeno es también muy alto en el Oeste de Europa, China, y Norte de India. Las emisiones más altas de N_2O ocurren bajo condiciones anaeróbicas del suelo como parte de la vía de desnitrificación y, por lo tanto, están íntimamente vinculadas a cambios en el anegamiento (inundación) en terrenos agrícolas.

5.9. Formación de suelos trópicos

Como ya se señaló, las raíces de los pastos e hierbas son extensas y pueden penetrar profundamente en el suelo. Muchas de las raicillas muy finas continuamente están muriendo y, a su vez, otras muchas se están formando. Las que mueren rápidamente se descomponen. A la par, los suelos suelen tener una gran población de lombrices, hormigas, roedores, escarabajos que pueden cavar extensos túneles y nidos en el subsuelo. Estos animales suelen llevar los restos orgánicos y distribuirlos en el perfil del suelo. Los suelos de pradera típicos (zona templada)

son muy similares a los suelos pardos y pardos arcillosos de las áreas más húmedas incluyendo los tropicales. Las capas superficiales son, con frecuencia, algo ácidas debido al lavado, usualmente hay arrastre en profundidad, de una materia orgánica y de arcilla y la formación de arcilla tiene lugar dentro del perfil debido a la meteorización.

5.9.1. Efecto de las condiciones anaeróbicas

Las condiciones anaeróbicas se crean cuando los suelos se encharcan. Hay diferencias entre suelos (horizonte) que son anegados periódicamente y los que lo están permanentemente. Los suelos hidromórficos se clasifican con el prefijo aqu (ejemplo, aquent, aquod).

5.9.2. Suelos hidromórficos (Gley)

Los suelos hidromórficos tienen como característica un exceso de agua al menos durante ciertos períodos de tiempo (época de lluvias). Los procesos edáficos que operan bajo estas condiciones se llaman procesos de gleización. Estos suelos con dificultades de drenaje o con una capa freática estacional dentro de la zona de enraizamiento pueden tener partes en donde se dan condiciones reductivas, inducidas por la saturación de agua, pero solo si el contenido en materia orgánica y la temperatura del suelo permiten la actividad microbiana. La reducción puede suceder si se cumplen las siguientes condiciones: 1. Presencia de materia orgánica, 2. Ausencia de oxígeno y 3. Presencia de microorganismos anaeróbicos propiciados por un medio apropiado para su crecimiento. La falta de oxígeno se da cuando un suelo saturado de agua, el oxígeno disuelto es consumido rápidamente por los organismos aeróbicos y la reposición del oxígeno es muy lenta porque este se difunde a una muy baja velocidad en el agua.

La secuencia de procesos que se dan con el inicio y persistencia de condiciones anaeróbicas es, probablemente la siguiente: 1. Reducción del oxígeno presente, 2. Reducción del nitrato y después del manganeso (en suelos neutros), 3. Reducción del hierro férrico a hierro ferroso. Los iones reducidos manganeso y ferroso son mucho más móviles en el suelo que sus formas oxidadas. Uno de los efectos es que los colores del suelo se vuelven grises o verdes grisáceos en lugar de pardos. La velocidad de oxidación de la materia orgánica se reduce provocando su acumulación en especial en la superficie. En general, es común que los horizontes del suelo que tienen baja permeabilidad estén anegados durante el periodo de lluvias, aireándose durante el período seco y cálido cuando la vegetación absorbe más agua debido a la mayor transpiración. El encharcamiento puede ocurrir, también, a un nivel freático cerca de la superficie, como sucede en las zonas bajas.

En los suelos ácidos, el ión ferroso reemplaza parte de los otros cationes intercambiables durante la fase de inundación, los cationes desplazados entran en disolución y pueden lavarse al circular el agua (lateralmente o verticalmente) y la solución puede contener iones de aluminio, hierro y otros cationes. Al alcanzar la solución una zona aireada, se formará hidróxido férrico por oxidación de ión ferroso. Los iones de aluminio desplazarán a otros cationes sobre el complejo de intercambio (Brinkman R, 1970).

5.9.3. Suelos gley de agua subterránea

Los suelos gley de agua subterránea que sufren saturación de agua en todo el perfil, se dan como consecuencia de un alto nivel freático. El desarrollo de las condiciones anaeróbicas y la presencia de materia orgánica dentro de la zona saturada conduce a la reducción de los compuestos de hierro y manganeso. Estos minerales pueden perderse en el agua drenada o pueden difundirse hacia arriba para depositarse en zonas

aeróbicas. Un suelo que está más o menos permanente anegado adquiere a menudo, un color gris-verde debido a la presencia de hidróxido ferroso-férrico o sulfato ferroso. La presencia de grandes cantidades de sulfuro ferroso puede ocasionar un horizonte color negro. La química y la alteración del manganeso, se desconoce mucho de su efecto en la determinación de los colores y morfología gleicos características. La capa freática raramente es estática en el perfil, puede haber fluctuaciones en pocas horas, sobre todo durante el año, ocasionando que una parte del suelo o todo el perfil sea aeróbico durante la época más seca del año y anaeróbica durante la más húmeda. Esto causa que el hierro tenga una estacionalidad marcada, con rubefacción (enrojecimiento) durante los períodos más húmedos, ocasionando un color rojo en el perfil.

5.9.4. Gleys de agua superficial (inundados)

Los suelos gley con agua superficial se forman donde el drenaje es difícil dentro del suelo, por encima de un horizonte impermeable o de baja permeabilidad. La gleyzación es nuevamente por consecuencia de la aparición de condiciones anaerobias en el suelo. Cuando hay saturación por drenaje lento, por la porosidad, la superficie de los agregados puede estar anaerobia mientras su interior permanece aerobio y los procesos de reducción ocasionan que el exterior de los agregados tome color gris y el interior sea pardo.

5.9.5. Suelos tropicales lavados

En las zonas tropicales existen los mismos tipos de suelos desarrollados en otros climas, pero también se encuentran suelos exclusivos de la zona. Lo que indica que los procesos que predominan en los trópicos son sustancialmente semejantes al de zonas templadas. Las diferencias

se atribuyen a la intensidad en que se dan los procesos formadores del suelo y de su duración.

5.9.6. Formación

La velocidad o intensidad de meteorización es a menudo mucho mayor en los trópicos porque las temperaturas del suelo son más altas y duran más tiempo a lo largo del año y ello acelera los procesos en relación a los climas templados o fríos. Además, las variaciones estacionales de las temperaturas del suelo son mucho menor. La intensidad de la meteorización es, por tanto, dependiente del tiempo que el volumen de regolita está húmedo; y el destino de los productos de los procesos de intemperización depende de la intensidad de lavado. Algunos investigadores (Deuchafor, 1982) han diferenciado la hidrólisis total como meteorización específica de los suelos tropicales en ausencia de aniones de ácido orgánico. Esto, señalan, origina un proceso distintivo de meteorización tropical en el que los productos finales del proceso son similares, cualesquiera que fuesen los minerales primarios. Esta hidrólisis total, favorece la eliminación no solo de los cationes básicos sino también del sílice, que se considera es casi igualmente móvil. A su vez, los óxidos de hierro y aluminio son medianamente móviles y se acumulan. El tipo de material original influye en los procesos de meteorización. En lo general, las rocas básicas se meteorizan a caolinita y gibsitita vía montmorillonita. Las rocas ácidas directamente a caolinita y con el tiempo a gibsitita. El régimen de humedad también influye sobre la regolita. Con un mal drenaje, la pérdida de sílice se reduce y se sintetizan arcillas. Con buen drenaje, hay pérdida libre de sílice, las bases son fácilmente lavadas produciendo un pH ácido y se forma predominantemente caolinita.

Una diferencia notable entre los suelos de las regiones templadas y tropicales es porque estos últimos no fueron perturbados por capas de hielo o acciones periglaciales en la última generación. Es decir, los suelos tropicales su formación ha sido casi continua desde hace millones de años solo alterados localmente por acciones tectónicas, erupciones volcánicas y cambios del nivel o cauce de los ríos.

Por el contrario, los suelos templados a causa de la última glaciación, la meteorización y la formación del suelo recomenzaron al concluir la última etapa glacial, hace 10,000 o 20,000 años. Por lo tanto, la intensidad y duración de la meteorización es menor a los suelos templados y no poseen, en lo general, capas muy profundas meteorizadas como se da en los trópicos. Otra diferencia se da con la intensidad y duración de las lluvias. Los suelos tropicales que reciben anualmente y por muchos meses altos duraderos regímenes de lluvias que provoca un intenso lavado de nutrientes, principalmente de tipo alcalinos originando una mayor acidez y suelos con frecuentes deficiencias en algunos nutrientes (los lixiviables) o mayor acumulación de otros (los menos lixiviables). Por el contrario, los suelos templados, en su gran mayoría sufren menos lavados, mantienen más nutrientes, buena fertilidad y suelen tener reacción básica o alcalina. En general, en las zonas tropicales coexisten suelos típicamente tropicales con grupos de suelos no tropicales. Se acepta que los procesos de formación de los suelos tropicales son típicamente semejantes al de los climas templados. Las diferencias que existen se deben más a la intensidad y duración de los procesos formadores del suelo. La clasificación de suelos en los trópicos aún está en su fase temprana y hay discrepancias al respecto. Así, suelos descritos como latosoles pueden ser situados en otros órdenes: oxisoles, ultisoles y hasta alfisoles del sistema Soil Taxonomy. Pero hay discusiones al respecto. Recientemente (Soil Map of África, 1964) identifica dos grandes grupos de suelos: suelos ferruginosos y suelos ferralíticos.

5.9.7. Procesos de formación de suelos tropicales

El primer proceso formador de suelos, la ferruginación, consiste en un conjunto de procesos individuales: meteorización química de moderada a alta intensidad, lavado completo de sales solubles, moderado lavado de bases, lavado parcial del sílice y liberación y deshidratación de óxidos de hierro hidratados y su deposición recubriendo a otros constituyentes del suelo, entre los principales procesos. Se forma caolinita con algo de gohetitas y hematitas, pequeñas cantidades de ilita y montmorillonita, pero no gibsitita. Hay alguna translocación de arcilla.

Estos tipos de suelos frecuentemente se ubican en los trópicos sujetos a estaciones marcadamente secas y húmedas (climas Aw y Am) o en las llamadas climas de sabana.

5.10. Aerénquima asociado a la adaptación a los suelos sobre saturados o inundados

5.10.1. Respuesta bioquímica de las plantas a la inundación

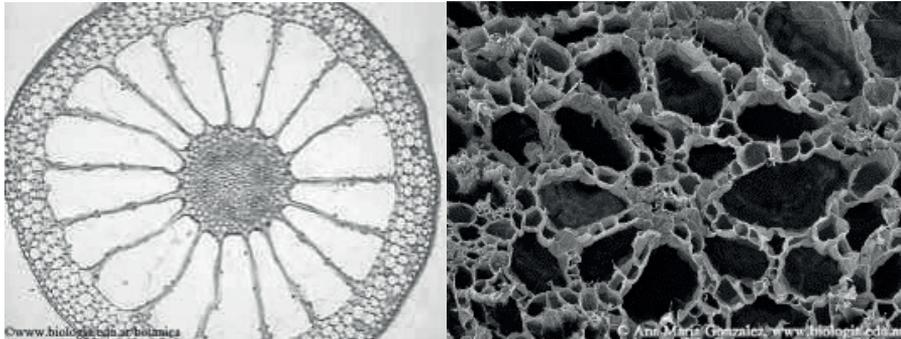
Como respuesta al estrés por inundación en la planta, se inducen la generación de cambios morfológicos y formación de raíces adventicias (Yin et al., 2010). Los cambios bioquímicos en las plantas son usualmente inducidos por un periodo corto de inundación mientras que los cambios anatómicos y morfológicos están involucrados con aclimatación a largos periodos de anegamiento (Chen et al., 2002). En esta revisión se presentan las adaptaciones de las plantas tanto a corto como a largo plazo en respuesta al estrés por inundación. Las plantas expuestas a condiciones anaeróbicas pueden cambiar su metabolismo de respiración aeróbica a la vía de la fermentación, como un mecanismo adaptativo a la carencia de oxígeno (Fukao et al., 2003; Peña-Fronteras et al., 2008). Los detalles

bioquímicos de estos cambios quedan fuera de los objetivos de este documento, pero pueden consultarse a De la Cruz y Col (2012).

Función: el aerénquima facilita la aireación de órganos que se encuentran en ambientes acuáticos o suelos anegados. Estructuralmente es un tejido muy eficiente, porque permite la flotación de determinados órganos y logra su robustez con una cantidad mínima de células.

Localización: el aerénquima se encuentra típicamente en plantas acuáticas, en las que constituye un complejo sistema continuo desde las hojas hasta la raíz.

Células aerénquimatosas modificadas



a)

b)

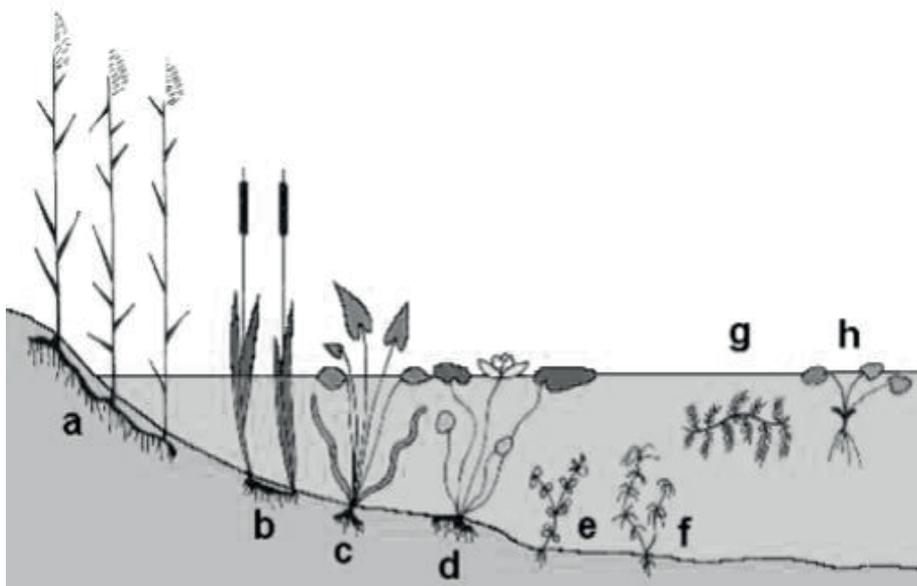
a). Cola de zorro acuática (Corte transversal de tallo de *Myriophyllum aquaticum* con MO y esquema, mostrando las cámaras de aire (c.a.) dispuestas radialmente). b). Lirio acuático (Aerénquima en pecíolo de hojas flotantes de *Eichhornia crassipes*, camalote (Monocotyledoneae).

Estructura: el aerénquima está formado por células de forma variada, frecuentemente estrellada o lobulada, dejando espacios intercelulares muy grandes, de origen esquizógeno o lisígeno, llamados lagunas o cámaras, que pueden constituir el 70 % del volumen del órgano.

5.10.2. Aerénquima de las plantas acuáticas bajo exceso temporal de agua

A las plantas hidrófitas también se les conoce como macrófitas, hidrofitas o hipóxicas. Dentro de estas plantas se encuentran diferentes grupos, las que se desarrollan totalmente sumergidas, parcialmente sumergidas y hojas flotantes, esto condiciona el tipo de hoja, las primeras poseen hojas en forma de cintas largas, las hojas flotantes tienen forma circular donde les llega mayor cantidad de luz solar; las aéreas tienen forma de punta de flecha (Figura 20).

Figura 20. Diversos tipos de plantas hídricas



a y b: Plantas palustres o anfibias. Viven en las riveras de los espejos de agua y ríos, son la transición entre las plantas acuáticas y las mesófitas, presentan aerénquima bien desarrollado. *Hippuris vulgaris*, *Typha latifolia* (totora), *Nasturtium officinale*, *Thalia multiflora*, arroz (*Oryza sativa*) y pastos (*Urochloa spp.*).

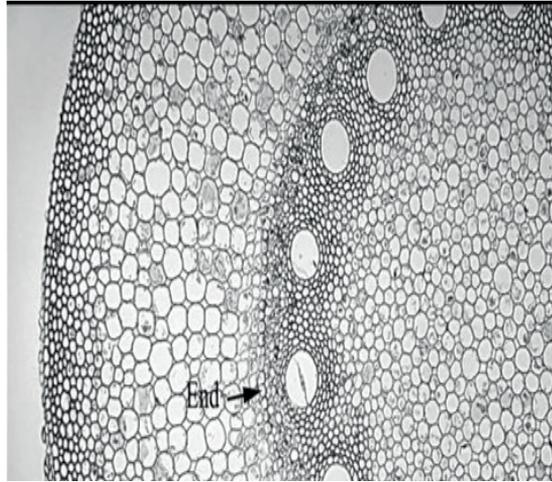
c y d: Plantas arraigadas con hojas flotantes. Frecuentes en aguas estancadas o corrientes de agua lentas. *Nymphaea alba* (rosa de venus), *Nuphar lutea* (botellera), *Nymphoides peltata* (ninfoides).

e y f: Plantas arraigadas totalmente sumergidas. Toda la estructura vegetativa esta sumergida en el agua, el sistema radical sirve únicamente como anclador, el tallo (vástago) puede absorber directamente sales nutritivas, entre otros. Frecuentes en agua corriente. *Callitriche palustris* (estrella de agua).

g y h: Plantas acuáticas libres. Plantas libres sumergidas (g) y flotante libre (h), los aerénquimas se encuentran en el órgano flotador. *Ceratophyllum demersum*, *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Lemna minor*.

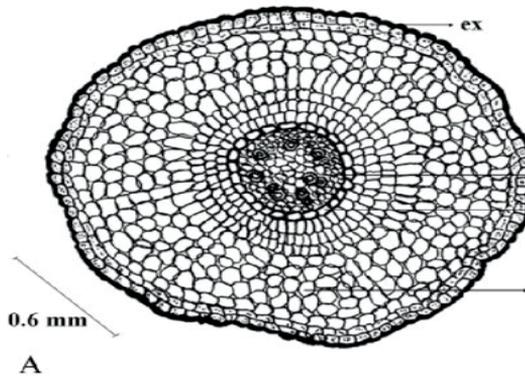
Una característica que diferencia este grupo es de la presencia de tejidos aéreos (aerénquimas). El aerénquima es un tejido con espacios aéreos grandes (Figura 21). Permite una difusión más rápida de oxígeno de los brotes hacia las raíces. La causa de que se forme este tejido parece ser el etileno; este produce en cantidades mínimas en diferentes partes del organismo, especialmente cuando sufren algún tipo de estrés (falta de oxígeno), aunque en suelos inundados el etileno se acumula debido a que no puede difundirse tan rápido como en suelos arenados. El aerénquima también sirve para poder estar suspendidas en el agua. Lo antes mencionado se considera una adaptación morfológica de las plantas acuáticas, debido a la escasez de oxígeno en el suelo.

Figura 21. Anatomía de la raíz de maíz en suelo húmedo normal



Fuente: Ricardo Rico (2006)

Figura 22. Anatomía de la raíz de maíz en suelo saturado de agua



Fuente: Ricardo Rico (2006)

Las células aerenquimatosas están formadas por células estrelladas o lobuladas, dejando espacios intercelulares muy grandes, de origen esquizógeno o lisígeno que pueden constituir el 70 % del volumen del órgano. Están dispuestas a lo largo del tallo y del peciolo. La superficie de la hoja no posee una cutícula protectora ni estomas, ya que al estar rodeadas de agua no corren el riesgo de secarse, la epidermis es muy permeable lo que le permite absorber directamente del agua, los gases y los minerales que necesitan para su desarrollo. De igual manera que algunos grupos como las algas carecen de vasos de conducción y tienen muy escaso desarrollo de las acuáticas superiores. También no presentan tejidos de sostén (colénquima y esclerénquima), a esto se debe la fragilidad de las plantas hidrófitas, sin embargo, representa una ventaja porque favorece la multiplicación vegetativa (Mercedez, 2013).

Los tallos son alargados y generalmente presentan (al igual que las hojas) espacios internos que están llenos de aire, que le permiten a la planta flotar fácilmente. Este tipo de plantas presentan pocas raíces ya que los nutrientes los obtienen directamente a través de toda la superficie de hojas y tallos, tienen la función de anclaje principalmente. A diferencia del parénquima, este tipo de tejidos se encuentra en las plantas terrestres ya que se encargan de reanudar la actividad meristemática, permite la cicatrización de heridas, regenerar tejidos y formar nuevos vástagos y raíces; esta diferencia a partir del meristemo fundamental, se asocia con los tejidos de conducción primarios y secundarios (procambium y cambium); en general es el tejido de relleno en cualquier órgano. Estas células forman radios medulares y filas verticales en floema y xilema, constituyendo una red de células vivas en el leño; además, forman las vainas fasciculares (Raunkiaer et al., 1934).

Su función principal es la de almacenamiento de sustancias de reserva, así como para el transporte; también constituir la masa en la que se encuentran incluidos los demás tejidos, le dan solidez general al cuerpo vegetativo.

Bibliografía

- Argel M. P. J., Hidalgo A. C. y Lobo Di P. M. (2000). *Pasto Toledo (Brachiaria brizantha CIAT 26110) Gramínea de crecimiento vigoroso con amplio rango de adaptación a condiciones de trópico húmedo y subhúmedo*. Consorcio Tropileche. Boletín técnico CATIE, CIAT, ECAG, MAG, UCR. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (MAG). p. 18.
- Beinroth, H. F. (2001). *Land. Resourcestor forage plant adoptati3n in the tropical Tn: tropical forage plants*. Development and use. Edit. A. Sotomayor-Rios and W. D. Pitman. CRC. Fla.
- Boul, S.W., F. D. Hole y R. J. McCracken. (1981). *G3nesis y clasificaci3n de suelos*. Versi3n en espa3ol. Editorial Trillas. <http://www.epa.gov/ghgemissions/sources-green-House-gas-emissions#Agricultura> www.socredcow.info.
- Bailey-Serres, J. Y L.A.C.J., Voeselek (2008). *Flooding stress: acclimations and genetic diversity*. Annual Review of Plant Biology (59) pp. 313-339.
- Brinkman, R. 1970. Geoderma, p. 199.
- Cahu3p3, M.A. Y L., Hidalgo (2005). *La Pampa inundable: el uso ganadero como base de la sustentabilidad social, econ3mica y ambiental*. En: *La heterogeneidad de la vegetaci3n de los agroecosistemas*. Un homenaje a Rolando Le3n. Editorial Facultad de Agronomía, UBA., pp. 401-412.
- Centro Nacional de Huracanes (CNE), junio 2020.

- Castelor, M. (2006). *Suelos: pasan las inundaciones quedan los nutrientes*. Nota técnica, INTA.
- Colmer, T.O. (2003). *Longdistance transport of gases in plant: a perspective on internal aeration and radial oxygen loss front roots*. *Plants, cell and enrorationment*. (26), pp. 17-36.
- Chen, H., R. G. Qualls y G.C. Miller (2002). *Adaptive responses of *Lepidium latifolium* to soil flooding: biomass allocation, adventitious rooting, aerenchyma formation and ethylene production*. *Environ. Exp. Bot.* (48), pp. 119-128.
- De la Cruz, J. J. Moreno, F. L. P y Magnistky (2012). *Respuesta de las plantas a estrés por inundación*. Una Revisión.
- Deuchafor, P. (1982). *Podology*. G. Allen and Unwin, Pub.
- Departamento de Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Colorado, abril 2020.
- Dias-Filho M. B. (2002). *Tolerance to flooding in five *Brachiaria brizantha* accessions*. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 37(4), pp. 439-447.
- Esau, K. (1977). *Anatomy of Seends Plants*. 2nd. Ed. John Wiley and Sons.
- Enríquez Q. J. F., Meléndez N. F., Bolaños A. E. D. y Esqueda E. V. A. (2011). *Producción Y Manejo de Forrajes Tropicales*. INIFAP. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental La Posta. Libro Técnico Núm. 28. p. 404.
- Feldkamp, C.R. (2011). *Beef production in Argentina: situation and challenges*. En: *Proceedings of the International Rangeland Congress*, Rosario, Argentina, pp.26-30.
- FAO (2015). *El estado mundial del recurso del suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura.
- Fukao, T., R.A. Kennedy, Y. Yamasue y M.E. Rumpho. (2003). *Genetic and biochemical analysis of anaerobically induced enzymes during seed germination of*

- Echinochloa crus-galli* varieties tolerant and intolerant of anoxia. J. Exp. Bot. 54, pp. 1421-1429.
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema climático de Köppen adaptado para México*. Instituto de Geografía, UNAM.
- Gonzales. M. M. (2015). *Los surfactantes como pretratamiento a la fitorremediación de un gleysol con petróleo fresco en el trópico húmedo de México*. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Campus Tabasco. p. 133.
- Hare M. D., Phengphet S., Songsiri T., Sutin N. and Stern E. (2013). *Effect of cutting interval on yield and quality of three brachiaria hybrids in Thailand*. Proceedings of the 22nd. International Grasslands Congress. pp. 197-198.
- INEGI (2007). Los suelos inundados de México.
- INEG (2007). Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, escala 1: 250 000, serie II (Continuo Nacional).
- IUSS (2007). Grupo de Trabajo WRB. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo*. Primera actualización. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO.
- Jimenez. J. C., L. P. Moreno y S. Magnitskly 2012. *Respuestas de las plantas a estrés por inundación una revisión*. Revista colombiana de ciencias hortícolas. 6 (1): p. 96-109.
- Kreyling, J. 2010. *Winter climate change: a critical factor for temperate vegetation performance*. Ecology 91: 1939-1948.
- Koppitz, H. 2004. *Effets of flooding on the aminoacid and carbohydrate patterns of phragmites australis*. Limnologica 34: p. 37-47.
- Manzur, M.E., A.A., Grimoldi, P., Insausti Y G.G., Striker 2009. *Escape from water or remain quiescent? Lotus tenuis changes its strategy depending on depth of submergence*. Annals of Botany 104: 1163-1169.

- Meléndez N. F. y Castro R. G. 1979. *Comparación del sistema de pastoreo continuo contra el rotacional en la producción de carne en praderas tropicales*. Compendio de la VII Reunión Latinoamericana de producción animal. pp 12.
- Moreno G. H. 1976. *Producción de carne en pasto Alemán Echinochloa polystachya HB Hitch, fertilizado bajo diferentes cargas animal en el trópico húmedo*. Tesis de Maestría en ciencias. Rama de Ciencia Animal CSAT p. 92.
- Mercedez A., M. 2013. *Morfología de Plantas Vasculares*. <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema11/11-4aerenquima.htm> (09/09/2015).
- Nelson, C.J. 2000. *Shoots Morphological Plasticity of Grasses: Leaf Growth vs. Tilering*; G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Navinger and P.C. de F. Carvalho, 2000 Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology.
- Paruelo, J.M. Y O.E, Sala 1990. *Caracterización de las inundaciones en la Depresión del Salado: dinámica de la capa freática*. Turrialba 40: p. 5-11.
- Peña-Fronteras, J.T., M.C. Villalobos, A.M. Baltazar, F.E. Merca, A.M. Ismail y D.E. Johnson 2008. *Adaptation to flooding in upland and lowland ecotypes of Cyperus rotundus, a troublesome sedge weed of rice: tuber morphology and carbohydrate metabolism*. Ann. Bot. 103, 295-302.
- Palma, David J, López, J., C., Moreno, E. Calis y Rincón R, J. A. 2007. *Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable*. CP- Tabasco, Fundación Produce Tabasco, A. C., IsproTab.
- Ramsar 1971. *Convención sobre los humedales*, Ramsar, Irán.
- Ricardo Rico 2006. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Raunkiaer C. et al., 1934 *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography*. British Ecological Society, Oxford University Press. 23(1): 247-249.
- Sánchez, V. A y S. Cardoza A. 2015. *Aerénquima de las plantas acuáticas*. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). México.
- Striker, G.G. 2012. *Time is on our side: the importance of considering a recovery period when assessing flooding tolerance in plants*. Ecological Research 27: 983-987.

- Semarnat. (2007). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Compendio de Estadísticas Ambientales.
- Semarnat y CP. (2003). *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*, escala 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002.
- Sairam, R, K. Dharmar, V. Chinnusamy y R. C. Meena. (2008) *Waterloo induce crease in sugar mobilization, termentations, and related gene, gene expression in the roots of mungbean (vignariate)*. J. of plant physiology 106: 602-616.
- Tejos M. R. (1980). *Production of water straw grass Hymenachne amplexicaulis during a sabana period*. Congreso Venezolano de Zootecnia, Guanare, Venezuela. 54 p.
- Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). (2011). *Apuntes del curso de botánica*.
- Warmbrodt, R. 1985. *Studies on the root of Zea mays L.- Structure of the adventitious roots whit respect to phloem unloading*. Bot. Gaz. 146 (2):177.
- Yin, D., S. Chen, F. Chen, Z. Guan y W. Fang 2010. *Morpho-anatomical and physiological responses of two Dendranthema species to waterlogging*. Environ Exp. Bot. 68, 122-130.

CAPÍTULO VI
LA PLANTA FORRAJERA

LA PLANTA FORRAJERA

Un factor determinante para un mejor entendimiento del manejo, rendimiento de forraje y producción animal es la planta, en cuanto a su capacidad de recuperación después de un corte o pastoreo. Dentro de este concepto, se acepta que es el tallo y la raíz, los aspectos determinantes.

Así, el tallo, en cuanto al hábito de crecimiento de la planta, puede ser erecta o rastrera. A la par, el tallo contiene los vasos conductores por donde circulan el agua y nutrientes provenientes del suelo como el xilema que abastece a las hojas e inflorescencia y semillas. Por el tallo también regresan (vía xilema) el exceso de agua y nutrientes que no fueron utilizados por los tejidos de la planta. Por el tallo (xilema), bajan los fotosintatos (los carbohidratos) formados por la fotosíntesis de las hojas y que lleva y reparte la energía química a todos los tejidos y órganos, cuyas células lo toman para realizar la función especializada que les corresponde.

También el tallo contiene las yemas que dan origen a las hojas y rebrote que a su vez producirán nuevos tallos en respuesta al corte o pastoreo. El tallo también acumula en su base las llamadas reservas de carbohidratos, cuya energía es utilizada para formar nuevos tallos después que la planta es cortada o pastada. Ocupa la mayor importancia la presencia de las hojas, porque son las responsables de capturar la radiación solar y realizar la fotosíntesis que convierte la energía solar cuántica en energía química (carbohidratos), la cual es utilizada por la planta, raíces y órganos reproductivos para hacer sus funciones que les corresponde. A la par, la fotosíntesis al utilizar el CO_2 atmosférico ocasiona un abatimiento de exceso de CO_2 (un gas GEI) y, con ello, disminuye su efecto contaminante de los principales factores causantes del

llamado cambio climático. A la vez, la fotosíntesis libera oxígeno que es el gas base de la vida vegetal y animal incluyendo a los humanos, al utilizarlo en la respiración normal.

El otro órgano de gran importancia en la producción de forraje y permanencia (persistencia) de la pradera es el sistema radicular, porque ancla a la planta y lo abastece de agua y nutrientes a toda la planta según su tamaño y densidad.

Finalmente, el tallo contiene los órganos reproductivos que previa emergencia y fecundación, producen las semillas que perpetúan las especies en este caso los forrajes.

Es por ello que conocer la anatomía, estructura y función de los diferentes componentes de las plantas son necesarias para definir sus estrategias de manejo tal como lo señalan Chapman y Lemaire (1993), Matthew et al. (1995), Bullock (1996), Lemaire (1997), Thornton et al. (1997).

6.1. Anatomía y morfología de las gramíneas forrajeras

Las pasturas gramíneas son plantas de la familia *Poaceae* los cuales poseen las siguientes características: son plantas monocotiledonias; esto quiere decir que cuentan con un solo colilédon y una sola vena en sus hojas o que estas no son ramificadas son, anuales o perennes: que pueden estar dando sus frutos (semillas) todo el año y o por temporada en el caso de las anuales que solo dan frutos una vez al año. Pueden crecer desde varios centímetros hasta varios metros sean cultivos, pastos o zacates.

6.1.1. La raíz tiene varias funciones

Fijación (anclaje), absorción del agua y nutrientes y sirve como órgano de reserva.

Tienen un sistema radicular fibroso formado por raíces originales y adventicias.

Se llama raíz fibrosa, porque está formada por un manojo de fibras.

Las raíces adventicias no tienen origen embrional nacen del meristemo nodal (zona situada inmediatamente por encima del nudo).

La raíz primaria de las gramíneas persiste poco tiempo y predominan las raíces adventicias.

Tallo

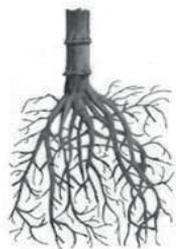
El tallo es un culmo.

Función: Conducción y sostén de hojas, ramas, flores y frutos.

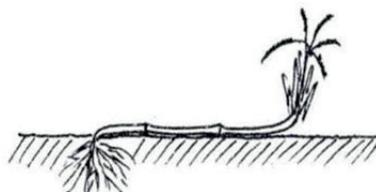
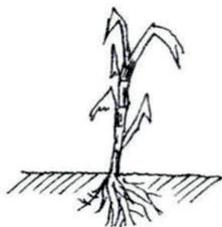
Forma: Cilíndrica o elíptica con nudos y entre nudos bien marcados.

Entrenudo hueco o sólido.

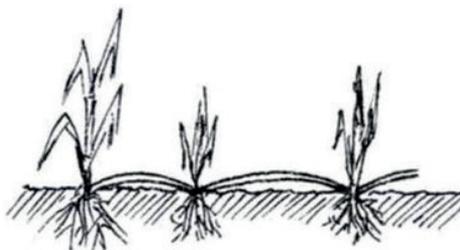
Posee yemas laterales.



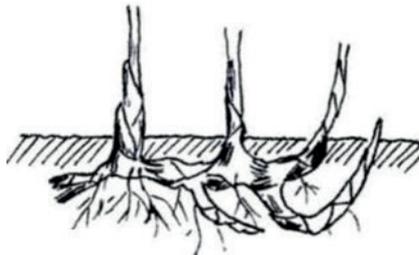
Anatomía de la raíz de las poaceas Tallo erecto



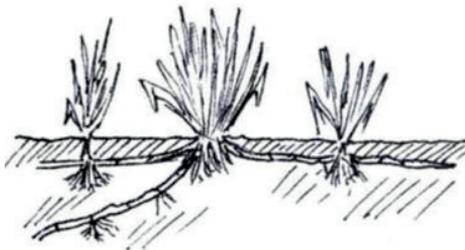
Tallo decumbente



Tallo radicante



Rizoma definido



Rizoma indefinido

6.1.2. Tipos de tallos

Posición:

Aéreos erectos (culmo).

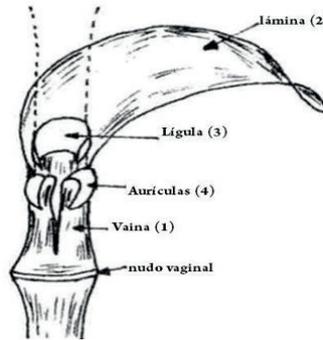
Rastreros o postrados (estolón).

Subterráneos (rizomas).

Mixtos.

Hábito de crecimiento.

Tallo amacollado.



6.1.3. Hojas

Compuestas por:

Vaina (1).

Lámina (2).

Lígula (3).

Aurículas o apéndices auriculares (4).

La vaina (1) nace en el nudo y rodea completamente al entrenudo. La liguila (3), que no siempre está presente, es la laminilla blanca y generalmente membranosa (a veces pilosa o escariosa) que se halla en la parte superior interna de la vaina, en el límite con la lámina (2). Esta última es propiamente la hoja de las plantas, es por lo regular sésil (en bambúceas peciolada), lineal y alargada; su extremidad puede ser acuminada y obtusa. Estas láminas (vainas) pueden enrollarse para evitar la evaporación causada por una excesiva insolación, lo que se debe a cambios de turgencia que operan en células especiales de la epidermis llamada bulliformes, a la par protegen al meristemo nodal (yemas).



6.1.4. Función de la vaina

Fotosíntesis.

Respiración.

Protección de los meristemos o zonas meristemáticas (yemas nodales).

6.1.5. Ubicación

Insertada en los nudos.

Envuelve al culmo arriba del nudo.

Forma cilindro hueco, separado por sus márgenes.

Cerrada o abierta en sus márgenes.

Glabra o pubescente.

Las aurículas suelen encontrarse en gran cantidad de especies (no en todas) siempre en número de dos y tienen gran interés para la determinación de plantas al estado vegetativo. Nacen a la misma altura que la lígula, pero del lado externo, se distingue una zona denominada collar. El crecimiento tanto de la vaina como de la lámina lo determinan otros dos meristemos intercalares ubicados, respectivamente, en la base de la vaina y la base de la lámina. En el nudo vaginal (parte de la vaina que rodea al nudo caulinar) operan unas hormonas vegetales (auxinas)

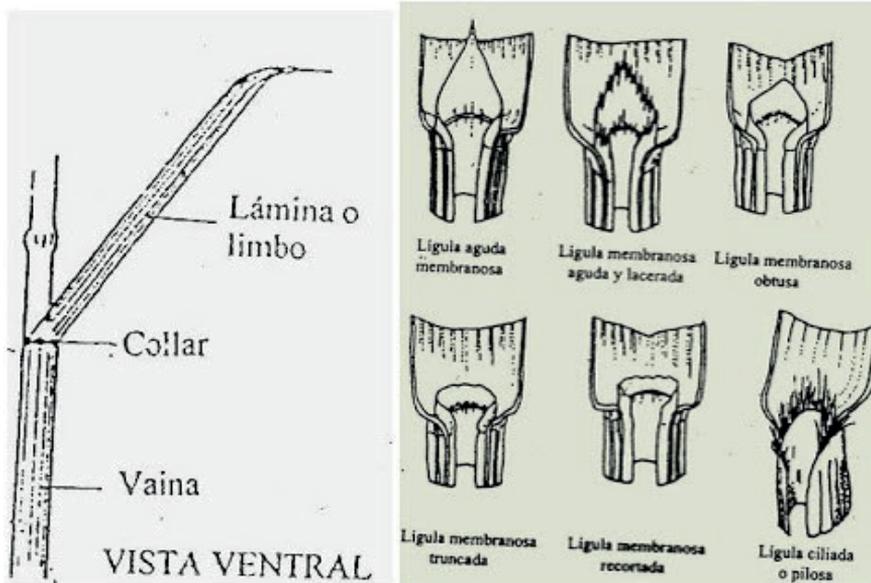
que determinan la erección de la caña cuando sobreviene un “volteo” o acame de la misma, pues provoca una dilatación en el costado del nudo que está por debajo con lo que la caña se levanta un poco nuevamente.

6.1.6. Collar

Unión de la vaina con la hoja.

La unión de la vaina y la hoja esta típicamente marcada por una banda de tejido que es diferente, en apariencia y textura, del resto de vaina y hoja.

Suele ser glabra o cubierta ancho, angosto y dividido. Glabra o cubierta de finos pelos, así como sus márgenes.



Tipos de lígulas

6.1.7. Aurículas

Proyecciones o apéndices que se encuentran a uno y otro lado de la base del limbo.

Estructuras típicas de la tribu Triticeae y Hordeae.

Largas o cortas, pubescentes o glabras.



6.1.8. Lámina o limbo (hoja)

Forma: Lineal, lanceolada.

Función: Fotosíntesis, respiración y transpiración.

Pueden tener o no pubescencia.

Tamaño: Varía de acuerdo con su etapa de crecimiento y zona de distribución.

Zona tropical. Limbos cortos y anchos.

Zona árida. Limbos largos y angostos.

Presentan nervadura paralelinervia.

Glabo, pubescente, piloso, escabroso, hirsuto, ciliado, puberulento, glauco.

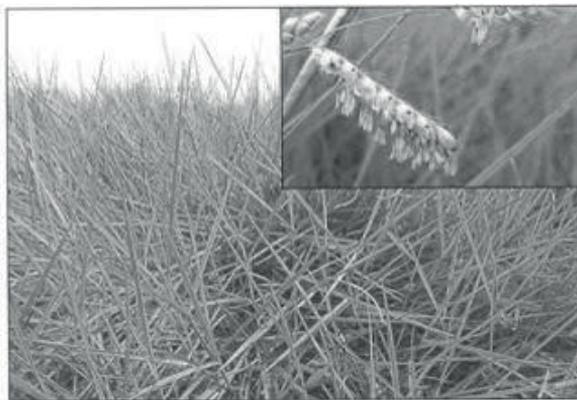
Tipos de láminas de acuerdo a su tipo de renación:

Con duplicada (doblada hacia arriba).

Convoluta o enrollada.

Involuta (Márgenes enrollados hacia adentro).

Revoluta (Márgenes enrollados hacia afuera).



Ráquilla o raquis Flósculos (flores)

6.1.9. Flor

Espiguilla. Unidad básica de la inflorescencia.

Inflorescencia. Acomodo de las espiguillas en el tallo floral.

Partes de una espiguilla:

Pedicelo.

Glumas.

6.2. Estructura, fitómeros y zonas o puntos de crecimiento en gramíneas forrajeras

Los componentes de la gran familia de pastos, como la *Poaceae*, incluye especies anuales o perennes adaptadas a una gran diversidad de suelos y

climas, ya que poseen características anatómicas y fisiológicas y formas de reproducción y crecimiento. Por ello, el conocimiento de sus características de rebrote, especialmente de los pastos perennes es esencial para su manejo efectivo y mejoramiento genético (Nelson, 2000). Diversos autores (Briske, 1991; Briske y Dernet 1998) recomiendan dar mayor importancia al conocimiento de la fisiología del rebrote después de un corte o pastoreo. Y en esto juega papel principal la corona de la raíz en el tallo (erecto en unas y guías en otras donde se ubican las puntas (yemas) del crecimiento que dan origen a nuevas plantas o nuevo follaje, incluso nuevas raíces en las especies rastreras.

En general, tanto en pasturas erectas como en rastreras en cada nudo, se ubica una yema de crecimiento cubierto por la vaina de la hoja, la cual cuando la planta sufre defoliación, esta yema o fitómero da origen a una nueva hoja o bien a un tallo secundario formando una nueva planta adherida al tallo principal. En las especies rastreras esta yema, al estar en contacto con el suelo puede dar origen además de hojas o nuevos tallos también puede producir raíces, lo que permite se reproducción asexual, sembrando tallos o guías, tal es el caso de la estrella africana, Pangola, Elefante y gramas, mientras las especies erectas que suelen producir semilla fértil, su prolongación es por esta vía. Como se da con Guinea, Jaragua, entre otras y algunas especies pueden sembrarse tanto por semilla como vegetativa, como la *Urochloa*. Una amplia explicación detallada de cómo una yema se transforma en un nuevo tallo, hoja o planta lo da. (Nelson, 2000).

El estímulo que induce a una planta forrajera para iniciar el rebrote, lo induce la remoción del follaje ocasionado por el corte o pastoreo. También influye en el rebrote la calidad e intensidad de la luz solar, en especial la relación entre la radiación roja e infraroja (R/IR). (Casals et al., 1985; Gautier et al., 1999). Sin olvidar también que el tallo

en su base funciona como reservas de carbohidratos que proporciona la energía requerida para la formación de nueva planta o solo hojas. Tal como se comentó antes, se ha señalado (Briske y Dernet, 1998) que hay claras diferencias entre la fisiología del rebrote y los factores que lo estimulan entre las especies de pastos templados (C_3) y los tropicales (C_4). Así mientras el conocimiento de los pasos C_3 , es muy amplio, es poco en los pastos C_4 (Nelson, 2000).

6.3. Efectos del nitrógeno en algunos rasgos morfológicos de las pasturas

Si bien todos los nutrientes esenciales son necesarios en la planta para su crecimiento y rendimiento, se ha detectado que es el nitrógeno (N) el que más influye en la morfología de las plantas forrajeras. Comentan Cruz y Boval (2000) que debido a la gran densidad de pasturas, tanto templadas como tropicales, cultivadas o naturales, dan lugar a un amplio rasgo tipo morfológico como son el hábito de crecimiento de las plantas, el grado de exposición de los meristemos del crecimiento al sol o a su remoción por corte o pastoreo a sus órganos de reserva que acumulan la energía (carbohidratos) para iniciar su recuperación después del corte o pastoreo y la presencia o ausencia de estolones, que les permita responder en su capacidad la recuperación después de ser cortada o pastada. Uno de estos factores que aceleran una rápida formación de nuevas hojas, tallos y estolones es con la fertilización con nitrógeno.

La morfología de las especies, en general, y de las forrajeras, en particular, bajo condiciones ambientales, es el resultado de procesos llamados morfogénesis. Así, la morfogénesis de las plantas lo define Chapman y Lemarie (1993) como la dinámica que permite la generación y expansión de la planta en el espacio. Esta dinámica es el resultado de la tasa de aparición de nuevos órganos (organogénesis) y del balance entre su velocidad de desarrollo y la

tasa de senescencia, donde el efecto del nitrógeno tiene un efecto positivo en la morfogénesis de las pasturas templadas y tropicales, tanto en la formación de nuevos tallos, hojas y estolones (Cruz y Boval, 2000).

Estos autores también confirman una clara diferencia entre las respuestas de las especies C_3 y C_4 . Si bien los procesos de crecimiento de ambas especies de plantas son muy semejantes, es la temperatura ambiental que caracteriza los climas templados y los tropicales, hacen que el proceso de morfogénesis sea más rápido en ambiente cálido y más lento en los templados (Cowan y Lowe, 1998). También influye el fotoperiodo en cuanto a las horas de insolación que reciben las plantas y con ello las horas de fotosíntesis.

Al respecto, hay que recordar que en climas templados la variación del fotoperiodo es muy amplio. Épocas de mucha insolación (primavera-verano) donde las plantas realizan fotosíntesis muchas horas del día y a la par de la presencia de temperaturas apropiadas que estimulan su crecimiento y épocas de escasa insolación (otoño- invierno) con temperaturas muy bajas que hacen que las plantas suspendan o hacen muy corto y lento su morfogénesis), según la intensidad y duración del periodo frío. La función del nitrógeno en la planta, consiste en acelerar los procesos de la morfogénesis de las plantas, en general, y de las pasturas, en particular, tanto en especies C_3 y C_4 . Este efecto del nitrógeno consiste en incrementar la velocidad de elongación de las hojas de ambas especies, templadas o tropicales (Gastal y Nelson, 1994; Gastal et al., 1992; Rosario, 1977).

También el N en la planta acelera la aparición de las nuevas hojas, su tamaño y la duración en cuanto a realizar fotosíntesis y retrasar su senescencia (Lemaire y Gastal, 1997; Gastal et al., 1992; Rosario, 1977). El nitrógeno beneficia tanto la tasa de aparición foliar (TAP), como la elongación de las hojas (TEE), además de retrasar la senescencia foliar. Con suficiente nitrógeno en suelo y plantas, estos componentes se mejoran.

6.4. El efecto de la temperatura ambiental sobre rasgos morfológicos de las gramíneas forrajeras

Junto a la radiación solar (intensidad y fotoperiodo) y el régimen lluvioso, es la temperatura ambiental el otro gran factor climatológico que regula el crecimiento de las plantas en lo general y de las especies forrajeras en lo particular. Así, tanto la tasa de aparición foliar (TAF) como la tasa de elongación foliar (TEF), están también reguladas por la temperatura que rodea a las praderas.

Tanto la TAF y TEF, alcanzan su mayor expresión a temperatura favorable en que se desarrollan las plantas forrajeras según su especie. Así, las especies de climas templados (C_3), presentan su mayor desarrollo y producción forrajera a temperaturas más bajas (en términos de grados diarios acumulados serán alrededor de 5°C) para *Lolium perenne* (Davies y Thomas, 1983), $8\text{-}10^{\circ}\text{C}$ para *Festuca arundinaceae* (Lemaire, 1985) y $12\text{-}15^{\circ}\text{C}$ para *Dactylum glomerata* (Duru et al., 1993).

Para el caso de las especies C_4 , existe poca información sobre este punto. Si bien se acepta que debido a la escasa variación de la temperatura ambiental durante todo el año (es poco más calurosa en primavera-verano y ligeramente más fresca en otoño – invierno. Además, las altas temperaturas de primavera-verano son atenuadas por las frecuentes lluvias que caen. A la par las temperaturas de otoño-invierno no son tan frías que afecten el desarrollo de las plantas en general, incluyendo a las forrajeras. Por ello el efecto de las temperaturas no afectan negativamente ni la TAF, ni TEF a lo largo del año. Sato (1980) quien encontró que la TAP en especies templadas se incrementó al descender la temperatura de 35°C a 15°C , mientras los tropicales TAP disminuyó con los mismos valores. Se puede concluir que el nitrógeno tiene un efecto positivo en muchas de las variables (componentes) que constituyen a la

planta forrajera, entre ellas la abundancia de follaje, su tamaño y persistencia, su mayor digestibilidad y su más elevada concentración de nitrógeno, base de la proteína foliar.

Para el caso de las plantas rastreras, como la estrella africana (*Cynodon plectoslachyus*), el efecto de la fertilización nitrogenada es producir muchos tallos estoloníferos y disminuir la proporción y tamaño del follaje, con lo cual se disminuye la calidad nutritiva y digestibilidad de la pradera en su conjunto. Ya que es de amplio conocimiento que el tallo posee menos nutrientes y mayor contenido de fibra que las hojas, por lo tanto, su valor nutricional (menor contenido nutrimental y digestibilidad) tiende a ser menor que en praderas cuyas plantas poseen alta proporción de hojas en relación a las tallas. Otro efecto más, es que las praderas con especies rastreras deben de pastarse o cortarse antes de que las plantas alcancen su madurez, fisiológica, esto es cuando los tallos no han acumulado mucha fibra que merma su digestibilidad (Cruz y Boval, 2000).

Bibliografía

- Bullock, J.M. (1996). *Plant competition and population dynamics*. In: Hodgson, J. and Illius, A.W. (eds) *The Ecology and Management of Grazing Systems*. CAB International, pp. 69–100.
- Briske, D.D. (1991). Developmental morphology and physiology of grasses. In: Heitschmidt, R.K. and Stuth, J.W. (eds) *Grazing Management: An Ecological Perspective*. Timber Press, pp. 85–108.
- Briske, D.D. and Derner, J.D. (1998) Clonal biology of caespitose grasses. In: Cheplick, G.P. (ed.) *Population Biology of Grasses*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 106–135.

- B. Thornton, P. Millard and U. Bausenwein. (2000). Plant Science Group, Macaulay Land Use Research Institute, Craigiebuckler, Aberdeen.
- Casal, J.J., Deregibus, V.A. and Sanchez, R.A. (1985). *Variations in tiller dynamics and morphology in Lolium multiflorum Lam. vegetative and reproductive plants as affected by differences in red/far-red irradiation*. Annals of Botany 56, 553–559.
- Cowan, R.T. and Lowe, K.F. (1998) Tropical and subtropical grass management and quality. In: Cherney, J.H. and Cherney, D.J.R. (eds) Grass for Dairy Cattle. CAB International, Wallingford, pp. 101–135.
- Cosgrove, G.P. 1997 Animal grazing behaviour and forage intake. In: Gomide, J.A. (ed.) *Proceedings of the International Symposium on Animal Production Under Grazing, Vicosá, Minas Gerais, Brazil, November 1997*, pp. 59–80.
- Chapman, D.F. and Lemaire, G. (1993). *Morphogenetic and structural determinants of plant growth after defoliation*. In: Proceedings of the 17th International Grassland Congress. SIR Publishing, pp. 95–104.
- Davies, A. and Thomas, H. (1983). *Rates of leaf and tiller production in young spaced perennial ryegrass plants in relation to soil temperature and solar radiation*. Annals of Botany 57, 591–597.
- Duru, M., Justes, E., Langlet, A. and Tirilly, V. 1993 *Comparaison des dynamiques d'apparition et de mortalité des organes de fétuque élevée, dactyle et luzerne (feuilles, talles et tiges)*. Agronomie 13, 237–252.
- Demment, M.W., Peyraud, J.-L. and Laca, E.A. 1995 Herbage intake at grazing: a modelling approach. In: Journet, M., Grenet, E., Farce, M.-H., Theriez, M. and Demarquilly, C. (eds) *Recent Developments in the Nutrition of Ruminants*. INRA, Paris, pp. 121–141.
- Dove, H. 1996 The ruminant, the rumen and the pasture resource: nutrient interactions in the grazing animal. In: Hodgson, J. and Illius, A.W.

- (eds) *The Ecology and Management of Grazing Systems*. CAB International, Wallingford, pp. 219–246.
- Gautier, H., Varlet-Grancher, C. and Hazard, L. 1999 Tillering responses to the light environment and to defoliation in populations of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) selected for contrasting leaf length. *Annals of Botany* 83, 423–429.
- Gastal, F., Belanger, G. and Lemaire, G. 1992 A model of leaf extension rate in response to nitrogen and temperature. *Annals of Botany* 70, 437–442.
- Gastal, F. and Nelson, C.J. 1994 Nitrogen use within the growing leaf blade of tall fescue. *Plant Physiology* 105, 191–197.
- Gordon, I.J. and Lascano, C. 1993 Foraging strategies of ruminant livestock on intensively managed grasslands: potential and constraints. In: *Proceedings of the XVIIth International Grassland Congress*. SIR Publishing, pp. 681–689.
- Hadley, M. 1993. Grassland for sustainable ecosystems. In: Riveros, F. (1993) *Grassland for our World the 17 th International Grassland Congress*. SIR Publishing Pp 21-27. Pp 15-20.
- Holfman F., P. Angel y E. Perez 2008. *Impacto de la adopción de forrajes mejorados en fincas de pequeños productores en Centroamérica, Cali, Colombia*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Nairobi, Kenya: International.
- Hodgson, J. y Da Silva, S.C. (2000). *Sustainability of grassland systems: Goal, concept and methods* En: *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. Edited by: G. Lemaire, J. Hodgson A. de Moraes; P.C. de F. carvalho y C. Nabinger CABIPUBLISHING.
- Hafez, E.S.E. (1972). *Adaptación de los animales de granja*. Editorial Herrero, S.A. México.g

- IPPC (2010). *Meeting report National Center for Atmospheric Research Boulder*. p. 25-27. Expert Meeting on Assessing and Combining multi model climate projections.
- Jiang D, X. Fan, T. Dai y W. Cao. (2008). *Nitrogen fertiliser rate and post-anthesis waterlogging effect on carbohydrate dynamics in wheat*. Plant and soil 304:301-3014.
- Lemaire, G. (1985). *Cinétique de croissance d'un peuplement de fétuque élevée (Festuca arundinacea Schreb.) pendant l'hiver et le printemps*. Effets des facteurs climatiques. Thèse Doctorat és Sciences Naturelles, Université de Caen, France.
- Lemaire, G. and Gastal, F. 1997 N uptake and distribution in plant canopies. In: Lemaire, G. (ed.) *Diagnosis on the Nitrogen Status in Crops*. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 3–43.
- Lemaire, G. (1997). *The physiology of grass growth under grazing: tissue turn-over*. In: Gomide, J.A. (ed.) *Proceedings of the International Symposium on Animal Production Under Grazing*, Vicosa, Minas Gerais, Brazil, November 1997. Departamento de Zootecnia, Universidad Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brazil, pp. 117–144.
- Matthew, C., Lemaire, G., Sackville Hamilton, N.R. and Hernandez-Garay, A. 1995. *A modified self-thinning equation to describe size/density relationships for defoliated swards*. Annals of Botany 76, 579–587.
- Nelson, C.J. 2000. *Shoots Morphological Plasticity of Grasses: Leaf Growth vs. Tillering*; G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Navinger and P.C. de F. Carvalho, 2000 *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*.
- P. Cruz and M. Boval 2000, *Effect of Nitrogen on Some Morphogenetic Traits of Temperate and Tropical Perennial Forage Grasses*.

- Riveros, F. 1993. Grasslands for our world. In: Proceedings of the 17th International Grassland Congress. SIR Publishing, Wellington, New Zealand, pp. 15–20
- Rosario, E.L. 1977. *Influence of fertility level on yield determining physiomorphological characteristics of some sugarcane varieties*. Philippine Journal of Crop Science 2, 19–30.
- Sato, K. 1980 *Growth responses of some gramineous forage crops to daylength and temperature*. Journal of Japanese Society of Grassland Science 25, 311–318.
- Stobbs, J.H. (1973a). *The effects of plant structure on the intake of tropical pastures*. I. Variation in the bite size of cattle. Australian Journal of Agricultural Research 24, 809–819.
- Thornton, B. and Millard, P. (1997). *Increased defoliation frequency depletes remobilization of nitrogen for leaf growth in grasses*. Annals of Botany 80, 89–95.
- Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). (2011.) *Apuntes del curso de botánica.*, Chapingo. Mex.
- Ungar, E.D. (1996). Ingestive behaviour. In: Hodgson, J. and Illius, A.W. (eds) *The Ecology and Management of Grazing Systems*. CAB International, Wallingford, pp. 185–218
- Wood, S, Sebastian K., Scherr, 3 (2000). *Soil Resource condition*. In: *pilot analysis of global ecosystems: Agroecosystems*. Pg. 45-54. IFPRI.
- Whiteman. P.C. (1980). *Tropical Pasture Science*. Oxford University Press.
- Yang, M., Li. D. Li. W. (2007). Leaf gas exchange characteristics and chlorophyll fluorescence of three wetland plants in response to long term soil flooding.

CAPÍTULO VII
ECOFISIOLOGÍA DE LAS
PASTURAS

independientemente del tipo de suelo, clima, especie y manejo de las pasturas o tipo de animal pastante. En este tema relacionado con la ecofisiología de las pasturas se aborda exclusivamente la relación clima-pastura, en especial, la temperatura, radiación solar (cantidad y calidad) y su efecto en el rendimiento y calidad del forraje, particularmente bajo condiciones tropicales.

7.2. Condiciones ambientales que definen la adaptación y productividad forrajera

Beinroth (2011) asienta que las zonas tropicales están cubiertas en amplias superficies con praderas de pastoreo, donde las pasturas gramíneas y leguminosas, juegan un papel predominante en la producción animal de estos ecosistemas cálido-húmedo. Estas pasturas cubren entre el 20 y 30 % de la superficie terrestre cubierta de vegetación arbórea. (Bend, 1953). A la par, las savanas cubren el 40 % de la superficie de este continente (T. Mannerje J. and D.F. Nichols, 1975).

El medio ambiente para toda planta está definido principalmente por el clima y suelo de una región geográfica determinada, a la cual se suma los factores biológicos que caracterizan a un medio ambiente particular. También se incluye el manejo de las plantas (cultivos) quienes determinan su productividad en general. Dentro de una comunidad vegetal, praderas, por ejemplo, tienen gran influencia, particularmente en su producción de forraje, el género y la especie en cuanto a su carga genética para definir su rendimiento y finalmente interviene el clima y la fertilidad del suelo, en especial al contenido y disponibilidad de los nutrientes esenciales que requiere una especie en particular.

Cuadro 20. Bancos de germoplasma mundial que conserva las principales semillas forrajeras.

<i>Andropogon</i>	<i>Chloris</i>	<i>Hemarthia</i>
<i>Axonopus</i>	<i>Cynodon</i>	<i>Hyparrhenia</i>
<i>Boutrichloa</i>	<i>Digitaria</i>	<i>Melinis</i>
<i>Urochloa</i>	<i>Echinochloa</i>	<i>Panicum</i>
<i>Cenchrus</i>	<i>Eragrostis</i>	<i>Paspalum</i>
<i>Pennisetum</i>	<i>Setaria</i>	<i>Urochloa</i>

Fuente: Kretsmer and. Pitman (1994)

A esta lista que suman 18,306 géneros, además de que se han agregado nuevas especies y variedades que amplían la lista de ecotipos para las distintas condiciones específicas dentro de las zonas especiales vía cruzamiento y selección entre especies. Dentro de estas especies señaladas sobresalen el género *Urochloa* que abarca una de las 100 especies que se adaptan a las diferentes condiciones que van desde el trópico seco hasta muy húmedos, incluso soportan periodos de inundaciones, sequías prolongadas (hasta 5 meses), toleran suelos ácidos tales como *Urochloa humidicola* y *Urochloa decumbens*, entre las más notorias.

Las especies más ampliamente utilizadas de *Urochloa* sobresalen *Urochloa decumbens*, *Urochloa brizantha*, *Urochloa humidicola*, *Urochloa mutica*, *Urochloa dytioneura*, *Urochloa arrecta*, *Urochloa distachys* y *Urochloa ruzizienensis*, y algunas de ellas toleran inundaciones en mayor o menor grado, según la duración y profundidad del manto de agua. A esto se suma su tolerancia al pastoreo y su rápida recuperación, la calidad de la pastura, persistencia, entre otras diferencias, según los diversos ecotipos y especies. En los últimos años gracias a los programas de mejoramiento genético impulsados por el CIAT con el género *Urochloa*, actualmente ya se

encuentran disponibles a nivel comercial nuevos materiales híbridos de excelente calidad, resistencia o tolerancia al ataque de la mosca pinta o salivazo, y adaptación a diversos ecosistemas, dentro de los más destacados tenemos; Mulato I (*B.ruziziensis* X *B.brizantha*), Mulato II, (*U. ruziziensis* X *U.brizantha* X *U. decumbens*), *Cayman* (*U.ruziziensis* X *U. brizantha* X *U. decumbens*), *Camello* (*U. ruziziensis* X *U. brizantha* X *U. decumbens*), *Cobra* (*U.ruziziensis* X *U.brizantha* X *U. decumbens*), *Meztizo Blend* (*U. ruziziensis* X *U.brizantha* X *U. decumbens*). Y están por ser liberados más materiales de esta misma línea de híbridos. Otra familia de pasturas de amplio uso en los trópicos del mundo, en especial en Latinoamérica, es el género *Cynodon*, (*Bermuda Cruz* I, *Bermuda de la Costa*, *Tifton*, *Alicia* y otros más), *Cynodon nlemfluensis*, *Cynodon plectostachyus* (Estrella Africana). Otro grupo de pastos que tuvo una gran demanda en los trópicos es la *Digitaria*, como *Digitaria erinatha* (*Pangola*), *D. pentzii*, *D. milanjana*, *D. smutsii*, entre las más comunes. Asimismo, son importantes los géneros *Megathyrsus maximun* (*Guinea*) y, actualmente, un buen número de variedades dentro de las cuales se puede destacar por su uso en la región tropical de México; *Mombaza* y *Tanzania*, *Megathyrsus antidolate*. Otro género del cual existe actualmente un buen número de variedades del género es *Pennisetum* como: *Elefante*, *Taiwan*, *Kin grass*, *Mott*, *Camerun*, *Pasto cubano* o *CT.115*, además de *Kikuyo*, *Pennisetum clandestinum*.

Cuadro 21. De los 6 principales géneros que más dominan en las praderas tropicales son:

GÉNERO	Total
<i>Urochloa</i>	15
<i>Cenchrus</i>	835
<i>Cynodon</i>	310
<i>Digitaria</i>	525
<i>Megathyrus</i>	1,660
<i>Pennisetum</i>	873
<i>Total</i>	4,218

Fuente: Kretsmer y Pitman (1994)

Estos 6 géneros que suman 4,218, equivalen al 23 % del total (18,306 géneros registrados y conservados en los principales bancos de germoplasmas forrajeros del mundo).

7.2.1. Clima

El clima es el principal factor que, en el largo plazo, es el que más define las condiciones ambientales en que crecen las plantas en general y las pasturas en lo particular (Shaw, 1994). Pero son las condiciones

atmosféricas día a día la base. Así, es el clima que puede determinar la adaptación general y el nivel de producción de las plantas, en una región en particular. El clima afecta a factores tales como la tasa de crecimiento, así como la tasa de supervivencia de las plantas tropicales en general, ubicada entre el trópico de cáncer (23°27' en el Hemisferio Norte y Sur). Así, las especies tropicales, incluyendo las pasturas, están adaptadas a altas temperaturas y radicación solar, abundancia de lluvias todo el año (trópico húmedo), (Af Köppen) o con un periodo seco (Am₁) o con larga época sin lluvia (Aw) que va de 4 a 7 meses al año. Para cada condición del régimen lluvioso exigen pasturas adaptadas a sus ambientes específicos.

Así, las condiciones climatológicas tropicales, especialmente altas temperaturas y el régimen lluvioso (y con ello el régimen de humedad del suelo) son los principales entre factores que definen qué especie de pasturas y plantas, en general, son las más apropiadas para su cultivo. Las altas temperaturas, radiación solar, precipitación y humedad relativa del aire que son típicos en los climas cálidos–húmedos, si bien favorecen una alta producción de forrajes, ventaja principal de los trópicos, producen a su vez una pastura de menor calidad nutricional al poseer una baja digestibilidad, consecuencia de un alto contenido de fibra y menor contenido de proteína.

Cuadro 22. Calidad nutricional (digestibilidad) de los pastos tropicales en comparación a los templados

Especie	Media	Rango	Media	Rango
Tropical	56	52-50	62	59-64
Templado	71	62-75	71	68-74
M.S. Materia Seca				

Fuente: Minson, 1990

7.3. Relación Clima-Pastura

Recordando que el término “forrajes” incluye cultivos agrícolas utilizadas en la alimentación animal, como el maíz, sorgo, plantas de alto porte, como el pasto elefante y otras de corte para darse en verde o secos, ensiladas inclusive como rastrojos y aquellas especies propias para el pastoreo que se caracterizan por ser de bajo porte y por presentar el rebrote o recuperación después de cada defoliación provocada por el animal o por el corte. Desde el punto de vista del clima y su efecto en el crecimiento de las plantas en general y de los forrajes en particular, los principales componentes climatológicos son radiación solar (en cuanto a su intensidad, su calidad fotosintética y el fotoperiodo), la temperatura, lluvias (intensidad, frecuencia, periodo de lluvias, que define la época húmeda y seca, la humedad del aire y en especial el régimen hídrico del suelo que abastece de agua, nutrientes y permite el desarrollo radicular a las plantas en general y a las pasturas en particular)

7.3.1. Radiación solar

Es ampliamente aceptado, que el mayor factor del clima que más regula el crecimiento vegetal, es la radiación solar tanto en su intensidad, calidad y duración diaria (fotoperiodo). La importancia de la radiación solar sobre las plantas es través del fenómeno fisiológico llamado fotosíntesis. Esto es, mediante las vías de fijación y/o metabolismo del carbono (CO_2) capturado del aire que rodea a la planta. Estas vías son el metabolismo de las especies C_3 , C_4 y la del ácido craucicáulico (CAM). Las dos primeras se dan en las plantas en general, particularmente en las especies forrajeras tanto gramíneas y leguminosas. Las especies CAM, son típicas de las cactáceas (nopal, magueyes). En general, son especies

C_3 , (tanto agrícolas como forrajeras) la gran mayoría de los frutales, todas las leguminosas, arbustos o rastreras. Para el caso de las especies forrajeras se incluyen las leguminosas templadas (alfalfa, tréboles etc.) o tropicales (laucaena, cacahuatillo, canavalia, kudzú, conchita azul, etc.) También son especies C_3 los pastos templados como Ray-grass (*Lolium*), Navajitas (*Bouteloa*), Cenchrus y otras más. Son especies C_4 la gran mayoría de las pasturas tropicales como, pasto elefante (*Pennisetum*), Guinea (*Urochloa*), estrella africana (*Cynodon*), pangola (*Digitaria*) Jaragua (*Hyparrhemia*), Pará (*Urochloa mutica*), sorgo (*Sorghum*), entre otras muchas especies tropicales. Una característica importante de algunas pasturas C_4 , es que cuando las condiciones de temperatura y luminosidad son favorables, es decir no son muy elevadas, pueden funcionar como especies C_3 , pero si estos factores son extremos se comportan como especies C_4 y son clasificadas como C_3/C_4 . Una diferencia marcada entre especies C_3 (templadas) y C_4 (tropicales) es que las primeras son de altura pequeña, mientras las pasturas C_4 suelen alcanzar un porte alto.

Esta diferencia en altura ocasiona que la lignificación de la planta (tallos y hojas) en las especies templadas suelen ser menores (o sea tienen mayor digestibilidad) pero con menor rendimiento/ha, no así en las especies tropicales que presentan mayor altura y lignificación y menor digestibilidad, si bien con mayor rendimiento de materia seca/ha. Además de la intensidad luminosa, señala Ugarte (2011), es importante considerar la calidad de la luz, esto es en el contenido de la llamada ondas fotosintéticas como la radiación azul y roja. Entre más rica sean estas ondas luminosas, mayor probabilidad de elevada fotosíntesis y producción de fotosintatos en sus hojas y de su abundante distribución y uso en toda la planta y con ello más elevada la producción de forraje (materia seca). Otro factor relacionado con la calidad de la radiación solar es la

proporción que hay entre la luz roja y la llamada luz roja lejana. Así a mayor luz roja lejana regula tanto la emergencia y establecimiento de las plántulas como al macollaje en los pastos y la producción de estolones en las gramíneas rastreras y en las leguminosas, como se ha comprobado en el trébol blanco. (Ugarte, 2011).

Un factor de la mayor importancia en el crecimiento de las pasturas en lo general y del rebrote en lo particular es la presencia del agua en el suelo vía las lluvias o riego. Así, el agua edáfica desempeña funciones muy importantes en el rendimiento de forraje, en la rapidéz de recuperación después del corte o pastoreo y en regular la velocidad en que crece la planta. Así el papel del agua comienza en el suelo, ya que en principio el suelo húmedo permite a las raíces crecer tanto en profundidad y en su amplitud, ocupando un mayor volumen. En suelo con escasa humedad, las raíces crecen pequeñas y exploran un reducido espacio edáfico. A la par, la presencia de suficiente agua del suelo, permite, por un lado, que los nutrientes se diluyan y se muevan de un punto a otro, donde atraídos por la fuerza de succión que ejercen las raíces hacen que acerquen a estas para ser tomadas por los pelos absorbentes y raicillas y penetran a la planta donde son distribuidos a todos los tejidos que lo requieran llevados por la corriente (flujo) de transpiración, vía el floema. Adicionalmente, la presencia del agua en las células jóvenes de los tejidos, producen el efecto de elongación celular, esto es las células en crecimiento absorben el agua, se hinchan en su interior y se produce el fenómeno de elongación o alargamiento que hace aumentar el tamaño celular, que a su vez hace crecer la planta y con ello el estiramiento general de todos sus tejidos, elevando el rendimiento del forraje.

Otro efecto importante del agua en la planta es regular su temperatura interna. Así, bajo condiciones de un elevado calor en el aire que

rodea a las pasturas, estas para no calentarse demasiado, absorben más agua vía la corriente de transpiración y en lo general el agua edáfica suele ser más fresca, que al irrigar los tejidos los refresca, evitando así daños por las altas temperaturas del aire que los rodea. Sin esta regulación térmica, las plantas entran en estrés calórico que, si no se corrige, caen en postración, se deshidratan y mueren. Adicionalmente es importante recordar que el agua en la planta, no solo coadyuva en la absorción nutrimental, si no es mediante su disolución como penetra en las raíces, atraviesa la Banda de Caspari y llega al sistema del floema y mediante la corriente de transpiración asciende y contacta a todas las células que requiere de nutrientes específicos donde son absorbidos y aprovechados. A la vez, el exceso de nutrientes no utilizando, son transportados (bajadas hacia las raíces) vía xilema, que al llegar en los puntos (radicales) donde el xilema se conecta con el floema son nuevamente reciclados y reinician su recorrido por el floema. Todo este movimiento circulatorio en las plantas se da si hay suficiente agua (hidratación) en todos sus tejidos. Por ello, es necesario resaltar que tanto el crecimiento inicial de las pasturas (establecimiento) como el crecimiento posterior (recuperación) después de un corte o pastoreo están fuertemente ligada con la presencia de agua en suelo y particularmente en las plantas.

Por lo cual, el balance entre la presencia de agua en el suelo (humedad), los requerimientos de agua de las plantas y la evapotranspiración inducido por las temperaturas del aire que rodea la pradera forman el llamado flujo transpiratorio, es parte fundamental para entender que la producción de forraje de una pradera y su recuperación después de que se cortó o pastoreó. Es déficit hídrico afecta más rápidamente al área

foliar que al área radical y tallos. Al elevar la proporción raíz/tallo y hojas, es decir la relación entre la absorción y la transpiración de agua y abasto de nutrientes aumenta la velocidad del rebrote, el rendimiento y la calidad del forraje, incluyendo la frecuencia de corte o pastoreo. En esta relación entre la planta forrajera y el agua edáfica, existe una marcada diferencia entre las especies de climas templadas (C_3) y de climas tropicales (C_4). En general se ha observado que las especies forrajeras C_3 habituadas a climas templadas tienen una menor capacidad de transpiración en relación a las C_4 , las cuales presentan mayor eficiencia transpirativa porque se formaron y evolucionaron en climas cálidos donde la transpiración es mayor. Y es este factor, uno de los fenómenos fisiológicos, que explican parte del porque las especies templadas C_3 , tienen dificultades en adaptarse y rendir menos forraje, que las especies tropicales C_4 , cuando las C_3 son llevadas a los climas cálidos del trópico, donde aun habiendo suficiente humedad y nutrientes en el suelo, su menor capacidad de transpiración merma su crecimiento y suelen desaparecer en el tiempo.

7.3.2. Efecto de la sequía e inundación sobre el crecimiento de las pasturas

a) *Efecto de la sequía:* En grandes regiones de las áreas tropicales se ha detectado que el déficit de humedad es la mayor limitación en la producción de pasturas. Conforme la humedad disponible declina, el déficit de agua interna que se desarrolla en la planta alcanza el estado de marchites permanente cuando las raíces no pueden extraer suficiente humedad del

suelo para mantener el turgor celular. Para muchas plantas el punto de marchites permanente suele iniciarse cuando el potencial hídrico del suelo es alrededor de -15 bars. Conforme el turgor de la planta declina, se observa un cierre estomacal progresivo provocando reducción en la tasa de consumo de CO_2 y por consecuencia se disminuye la fotosíntesis. Para un rango de pastos tropicales C_4 , se ha demostrado que el cierre estomatal causa que la fotosíntesis neta cesa cuando el potencial hídrico foliar es por debajo de -12 bars, en ambientes controlados (Ludlow y Ng, 1976). Si bien en condiciones de campo este valor se alcanza hasta las -19 bars o más. Sin embargo, el estrés hídrico provoca además de que la fotosíntesis neta sea cero, también impide la aparición y expansión de nuevas hojas y de continuar la sequía las hojas tienden a morir, secándose primero las hojas viejas posteriormente las hojas jóvenes, y desde la punta de la hoja hacia la base (Ludlow, 1975).

Durante los períodos de sequía las plantas dejan de crecer, por lo que cuando reciben agua, si bien pronto se rehidrata y recuperan sus funciones fisiológicas, induciendo la fotosíntesis, las plantas tienden a quedar de menor tamaño (en relación a las que no sufren sequía) porque no hubo elongación celular, su rendimiento de forraje es menor porque las hojas no crecieron y porque muchos tejidos, principalmente el follaje se murió y los tallos quedaron de menor porte. A mayor sequía las plantas se vuelven más chaparras. Si la sequía es muy severa puede provocar la muerte de la planta.

Cuadro 23. Resistencia a sequía de plantas forrajeras tropicales

Resistentes a sequía (4-5)	Resistencia media (3)	Susceptibles a sequía (1-2)
	Gramíneas	
<i>Andropogon gayanus</i>	<i>Urochloa decumbens</i>	<i>Urochloa mutica</i>
<i>Cenchrus ciliaris</i>	<i>Chloris gayana</i>	<i>Cynodon nlemfuensis</i>
<i>Cynodon plectostachyus</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Melinis minutiflora</i>
<i>Hyparrhenia rufa</i>	<i>Digitaria eriantha</i>	<i>Pennisetum clandestinum</i>
<i>Megathyrsus antidotale</i>	<i>Megathyrsus coloratum</i>	<i>Pennisetum purpureum</i>
<i>Sorghum almum</i>	<i>Megathyrsus maximum</i>	<i>Setaria anceps</i>
	<i>Paspalum dilatatum</i>	<i>Echinochloa polystachya</i>
	<i>Paspalum notatum</i>	
	<i>Paspalum plicatulum</i>	
	<i>Megathyrsus maximum</i>	
	Var. Tanzania	
	Leguminosas	
<i>Stylosanthes guianensis</i>	<i>Alysicarpus vaginalis</i>	<i>Centrosema pubescens</i>
var. <i>Intermedia</i>	<i>Calopogonium mucunoides</i>	<i>Desmodium heterophyllum</i>
		<i>Desmodium intortum</i>
<i>Stylosanthes hamata</i>	<i>Clitoria ternatea</i>	<i>Desmodium uncinatum</i>
var. <i>Verano</i>	<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Desmodium intortum</i>
	<i>Macroptilium atropurpureum</i>	<i>Lotononis bainesii</i>
<i>Stylosanthes scabra</i>	<i>Macroptilium lathyroides</i>	<i>Pueraria phaseoloides</i>
	<i>Macrotyloma axillare</i>	
	<i>Neonotoma wightii</i>	
	<i>Stylosanthes guianensis</i>	
	cv. <i>guianensis</i>	

La escala 1 al 5 indica: 1 muy sensible a sequías; 5 muy resistente.

Fuente: Humphrey (1981)

b) Tolerancia de las pasturas al exceso de agua e inundación: Muchas áreas de los trópicos, especialmente las húmedas (Af y Am), ocupadas con praderas o con potencial para pasturas, sufren en forma estacional u ocasional excesos de agua (anegamiento) o inundación. El anegamiento es cuando el suelo presenta una completa saturación en todos los poros de su perfil con agua, mientras inundación se refiere cuando el suelo se cubre de una lámina de agua en su superficie. La saturación del perfil del suelo por un amplio tiempo provoca condiciones anaeróbicas, reduciendo el contenido de oxígeno y elevando el de CO₂, siendo estos los mayores efectos. Otros cambios como el incremento de la solubilidad del magnesio, fierro y aluminio pueden ser importantes, al acentuar la acidez del suelo y ocasionar toxicidad a las plantas que allí crecen. Las especies forrajeras varían ampliamente en su tolerancia al anegamiento e inundación. La deficiencia de oxígeno bajo inundación se ha demostrado que limita severamente el consumo de agua y nutrientes por las raíces, y paradójicamente, con abundancia de agua, el marchitamiento y la desecación rápidamente se desarrollan, al igual que la falta de nutrientes. Las plantas pueden morir por sed y por hambre (Bergman, 1959). De igual manera que la falta de translocación de carbohidratos y auxinas a las raíces se acentúa, incluso cesa y que su acumulación en la parte baja del tallo puede coadyuvar en la formación de raíces adventicias en ciertas especies (Kramer, 1951).

Los mecanismos fisiológicos que explican las vías respiratorias y las enzimas asociadas a la tolerancia e intolerancia al exceso de agua, ha sido explicada por Crawford (1969) y Mc Manmon y Crawford (1971). Estos investigadores detectaron que las raíces de las especies intolerantes a la inundación y la falta de oxígeno, tiende a acelerar glicólisis y el producto

final es el etanol, el cual es tóxico a las células de la planta. En las especies tolerantes, la inundación induce un bloqueo parcial a la vía de respiración normal, el proceso de glicólisis a etanol no es acelerado y el oxaloacetato es convertido en malato. Asimismo, la enzima málica que transforma el malato no está presente y la acumulación de malato no es tóxico a las células de la planta y esto le permite al pasto adaptado a vivir dentro del agua.

La tolerancia al exceso de agua en condiciones de campo está afectada por muchos factores que incluye la edad de la planta, de la presencia de yemas en crecimiento activo o en dormancia, la de defoliación previa, duración y profundidad de la inundación, temperatura y contenido de oxígeno del agua, si el agua está estancada o en movimiento (corriente). De estos, la profundidad y duración de la inundación son particularmente importantes. Las pasturas tropicales presentan un amplio rango de adaptación al exceso de agua, siendo en general de alto medio. También se ha detectado que las leguminosas en promedio son más tolerantes que los pastos. Anderson (1970), encontró que *Macroptilium lathyroides* toleró bien el exceso de agua y fue menos afectada por 21 días de inundación que *M. atropurpureum*, *Centrosema pubescens* y *Stylosanthes guianensis*. Se observó que *Macroptilium lathyroides* mantuvo el crecimiento de su aérea y raíces a tasas similares que las plantas sin exceso de agua y siempre mantuvo sus nódulos radiculares, mientras que las otras especies, el crecimiento de las raíces y la parte aérea fueron marcadamente menor y los nódulos disminuyeron. Es paradójico que las plantas no adaptadas, estando inmersas en agua mueran de sed. La explicación está en que las plantas adaptadas a excesos de agua desarrollan ciertas modificaciones en su anatomía radicular que les permita sobrevivir. Una de estas modificaciones es el aerénquima.

Cuadro 24. Tolerancia de plantas forrajeras tropicales a la inundación

Buena (4-5) Tolerancia	Tolerancia (3) moderada	Tolerancia (1-2) pobre
Gramíneas		
<i>Urochloa mutica</i>	<i>Pennisetum clandestinum</i>	<i>Urochloa ruziziensis</i>
<i>Megathyrsus coloratum:</i>	<i>Pennisetum purpureum</i>	<i>Megathyrsus maximum</i>
<i>Var. Makarikaiense</i>	<i>Urochloa decumbens</i>	<i>cv green panic</i>
<i>cv Bambutsi</i>	<i>Cenchrus ciliaris</i>	<i>Megathyrsus antidotale</i>
<i>cv Kabulabula</i>	<i>Chloris gayana</i>	<i>Melinis minutiflora</i>
<i>Paspalum plicatulum</i>	<i>Megathyrsus maximum</i>	<i>Urochloa mosambicensis</i>
<i>Paspalum dilatatum</i>	<i>Cynodon plectostachyus</i>	<i>Chloris gayana</i>
<i>Digitaria decumbens</i>	<i>Hyparrhenia rufa</i>	
<i>Setaria anceps</i>		
<i>Echinochloa polystachya</i>		
<i>Andropogon gayanus</i>		
<i>Melinis minutiflora</i>		
Leguminosas		
<i>Macroptilium lathyroides</i>	<i>Calopogonium mucunoides</i>	<i>Macroptilium atropurpureum</i>
<i>Lotononis bainesii</i>	<i>Centrosema pubescens</i>	<i>Neonotonia wightii</i>
<i>Desmodium heterophyllum</i>	<i>Macrotyloma axillare</i>	<i>Stylosanthes humilis</i>
<i>Pueraria phaseoloides</i>	<i>Desmodium uncinatum</i>	<i>Lablab purpureus</i>
<i>Desmodium intortum</i>	<i>Stylosanthes guianensis</i>	<i>Cajanus cajan</i>
<i>Desmodium uncinatum</i>		<i>Leucaena leucocephala</i>
		<i>Alysicarpus vaginalis</i>
		<i>Clitoria ternatea</i>

Los valores del 1 al 5 indican: 1 pobre tolerancia; 5 buena tolerancia.

Fuente: Whiteman (1980), Humphrey (1981)

7.4. Relación Animal-Pradera

Es indiscutible que en una pastura bajo pastoreo exista un impacto del animal sobre las plantas al igual que un efecto de la pradera sobre el animal pastante.

7.4.1. Efecto del animal sobre la pradera

Paladines (1972) menciona que el animal afecta a la pradera en los siguientes aspectos:

- Provocando compactación del suelo.
- Disminuyendo la aireación.
- Disminución de la infiltración del agua y aumentando la escorrentía superficial.
- Lesiones a las plantas por pisoteo y el mordisco del animal con desperdicio del material vegetativo.
- Alteración de las estructuras del suelo particularmente si está húmedo.
- Daños iniciales a las plantas donde caen las deyecciones y orina.
- Cambio en la composición botánica y alteración del balance entre especies por el pastoreo selectivo.

a) Compactación del suelo por pisoteo

El pisoteo de los animales tiene efectos directos en el crecimiento de las pasturas e indirectos en la estructura del suelo el cual influye subsecuentemente en el comportamiento de la pradera. Estos efectos son modificados por la especie animal y su comportamiento en pastoreo. El animal pastante influye en el medio ambiente de la pradera en su actividad de

pisoteo, al caminar, al echarse, por el mordisco y al arrancar el follaje. Y por el efecto las deyecciones de los animales. El impacto del pisoteo de los bovinos sobre el suelo ejerce una presión o carga de compactación de $1.3 - 2.8 \text{ kg cm}^{-2}$; y el de borregos es de $0.7 - 0.9 \text{ kg cm}^{-2}$ (Spedding, 1971). Este efecto se hace más evidente en la capa superficial de 0 a 10 cm. de profundidad (Pott y Humphrey, 1983 y Chandler y Silva, 1960).

El efecto de la compactación del suelo se considera de gran importancia para la productividad de la pradera, al causar un impedimento en la penetración de las raíces, debido a la dureza del suelo, falta de oxígeno al interior frente a una mayor concentración del CO_2 radicular, que no puede escapar del suelo y a la escasez de agua en el subsuelo por difícil percolación (Lugo, 1960; Hopkins y Patrick, 1969). La compactación también afecta la germinación de las semillas de las pasturas (Rivera, 1974 y Echeverría, 1970). En general, puede decirse que la compactación del suelo afecta negativamente el desarrollo de las plantas forrajeras y tiene a disminuir el rendimiento del forraje. El factor que más afecta la compactación es la carga animal, la intensidad de pastoreo, el tipo de suelo, particularmente si es arcilloso y la humedad edáfica.

Cuadro 25. Efecto del pisoteo sobre la compactación del suelo y velocidad de infiltración del agua en suelo de aluvión en Teapa, Tabasco

Carga animal (cab ha ⁻¹)	Compactación del suelo (Kg cm ² -1)	Velocidad de infiltración del agua (cm hr ⁻¹)
Testigo	3.135	=
2.0	6.039	32.33
3.3	6.259	31.25
4.0	8.135	30.13

Fuente: Moreno García (1976)

b) El efecto directo del pastoreo

El efecto directo del pastoreo en la pradera es evidentes en cuanto al mordisco y rasgamiento que sufre el pasto por el animal; en casos extremos el tallo y las raíces son arrancados. Recordando que el bovino no corta, sino que muerde y jala al pasto hasta separarlo de la planta. En esto juega papel importante el hábito de crecimiento del pasto. Mientras el daño por pastoreo es mayor en tallos de porte alto debido a la remoción de sus yemas de crecimiento que se encuentran en cada entrenudo del tallo, dificultando y alargando el tiempo de recuperación puesto que induce a que el rebrote se de desde la corona de la raíz a ras del suelo. Este daño no se da en igual magnitud en los pastos de hábito rastrero, aquí la recuperación es mas rápida porque su condición de planta postrada que crece a ras de suelo, por un lado, siempre escapan hojas remanentes que, al realizar fotosíntesis, facilitan una más rápida recuperación y, por otra, sus yemas de crecimiento también escapan al mordisco del animal y pronto inician su rebrote. A esto se suma, que los carbohidratos de reserva, que aportan la energía para formar los nuevos rebrotes, y que se acumulan en la base del tallo y en la parte superior de las raíces, también quedan intactos y ello agiliza la formación de nuevos tallos y hojas. Aspectos que no se dan en la misma magnitud en pastos erectos. Estas condicionantes (tejido foliar fotosintético remanente después del pastoreo o corte, yemas intactas y presencia de reservas de carbohidratos) explican en mucho porque los pastos rastreros se recuperan más rápidamente que los pastos erectos. A esto se suma que muchas de las pasturas gramíneas postradas suelen echar raíces en cada nudo en contacto con el suelo, lo que le permite tener un gran área radicular que absorben agua y nutrientes en un mayor volumen de suelo, característica que no se da en los pastos erectos que poseen un solo sistema radicular

en un único punto del suelo y que se ven obligados a profundizar en la búsqueda de agua y nutrientes. Esta ventaja de los pastos rastreros se acentúa más si son de carácter rizomatosos, los cuales permanecen bajo suelo, escapando al pisoteo, quemas y sequías severas.

7.5. El rebrote

Una característica de las pasturas es su capacidad de rebrote, es decir, de recuperarse después de sufrir una defoliación por corte o pastoreo. El rebrote es un proceso fisiológico de algunas plantas, que les permite producir nuevos tallos y hojas cuando se ha removido su follaje. Estas características son muy importantes para las pasturas, que les permite recuperarse rápidamente después de ser cortada o pastorada. Esto es una condición particularmente en las praderas, base de recuperación. Por ello, se abordará la fisiología del rebrote en las pasturas.

7.5.1. Factores responsables del rebrote

Para que el rebrote se dé es indispensable la presencia de las condiciones ambientales como suelo, agua y clima que permita la acumulación de energía (reserva de carbohidrato), que suelen depositarse en las raíces y la base de los tallos. Esta energía almacenada es la que permite a la planta iniciar el proceso fisiológico para la formación de nuevos tallos y hojas. Un segundo factor es la presencia de yemas residuales que escapan al corte o pastoreo. Estas yemas que contienen el tejido meristemático que al desarrollarse da inicio a una nueva planta. Si no hay yemas residuales funcionales, no hay rebrote.

Otros factores comunes que impulsan el rebrote son la humedad del suelo, la presencia de los nutrientes requeridos por las plantas y la

radiación solar que permite que las hojas residuales que escaparon al corte o pastoreo, realicen fotosíntesis y aumenten la disponibilidad de energía requerida para formar nuevos tejidos (tallos, hojas y raíces). Por ello, son importantes algunos conceptos relacionados al manejo de las praderas. Estas son altura de corte o pastoreo y la intensidad y frecuencia con que se corta o pasta la pradera. Así, un buen manejo de la pastura recomienda cortar o pastar, en las plantas erectas no más debajo de 10 a 15 cm o en pastos rastreros no menos de 8-10 cm, que permita dejar hojas y troncos de tallo donde existan tanto reservas de carbohidratos como hojas en condiciones de realizar fotosíntesis, además de poseer las yemas germinales. En general, a mayor energía guardada y abundancia de hojas remanentes junto a la existencia de yemas germinativas es más rápido el rebrote y vicerversa.

Coadyuva también en mucho la fertilización y la presencia de humedad del suelo junto con días claros con alta radiación solar. En general, la experiencia en el manejo de las praderas apoyado por la investigación, ha demostrado que las especies rastreras se recuperan más rápido que las erectas, debido a su bajo porte suelen escaparse más hojas residuales y yemas de crecimiento en los estolones y guías y en las llamadas corona de las raíces, que en los pastos erectos.

7.5.2. Términos técnicos relacionados con el rebrote

Un parámetro técnico utilizado en el manejo de las pasturas es el índice de área foliar (IAF) que es la relación entre la superficie cubierta por hojas y la superficie del suelo. Ya que el área foliar es la parte aérea la que capta la radiación solar y condiciona la fotosíntesis. El IAF depende de distintos factores como:

- Tamaño de macollos o ramificaciones (guías o estolones).
- Número de hojas presentes en cada macollo o ramificación
- La disponibilidad de agua y nitrógeno.
- La longevidad de los órganos foliares.
- La intensidad y calidad de la luz solar.
- La temperatura del aire.

Otros factores técnicos de importancia en el manejo de las praderas son:

- Altura de corte.
- Altura al corte.
- Frecuencia de corte o pastoreo.
- Días a floración.
- Daño por pisoteo animal.
- Selectividad (preferencia) por el animal pastante.
- Carga animal.
- Especie animal.
- Sistema de pastoreo (rotación o continuo).
- Época del año (secas o lluvias; fría o caliente, riego).

7.5.3. Otros factores que determinan el rebrote

Una de las características de las plantas forrajeras y de otros cultivos perennes que se usan para la alimentación de los animales en pastoreo es el rebrote, esto es de la capacidad de los forrajes de producir nuevos tallos y raíces después del pastoreo, cuyos remanentes vuelven a emerger pasado uno días o semanas posterior a la defoliación, recuperando su área foliar, a la par de formar nuevas raíces, tallos y hojas que le permiten estar en condiciones de crecer y soportar una nueva defoliación. De aquí la importancia de los periodos de descanso posterior a la defoliación por corte animal, estas características de las pasturas, es la base del llamado pastoreo rotacional. Este rebrote se debe a que los puntos del crecimiento (meristemas) y la reserva de carbohidratos se ubican en la base

de los tallos; y la corona, en las raíces. Así, las reservas de carbohidratos proporcionan la energía necesaria para impulsar la emergencia de nuevas raíces, tallos y hojas, durante el periodo de descanso y recuperación.

En el rebrote también coadyuvan la presencia de los tallos y hojas remanentes que quedan después del pastoreo o corte. Por ello, se recomienda que la remoción del follaje (altura de corte) no debe ser a ras del suelo, sino debe dejarse tallos y hojas que impulsen el rebrote. La altura de corte varía con las especies es mayor en las plantas erectas y más bajas en las rastreras. También juega papel importante en el rebrote el contenido nutrimental y la humedad del suelo, la radiación solar y la temperatura atmosférica. Existen también otras plantas de uso forrajero que no poseen las características de rebrotar después del corte, tal como el maíz, entre otros, que son solo para corte, que se usan como forraje verde, ensilados o rastrojos.

7.5.4. Efectos de la defoliación

La remoción del follaje, incluyendo los tallos, ocasionado por el pastoreo y corte mecánico, induce daños a las plantas, tales como:

- Disminución del área foliar y con ello de la fotosíntesis.
- Suspensión y reducción de la actividad radicular, disminución de su crecimiento y menor absorción de agua y nutrientes.
- Mayor uso de las reservas de carbohidratos sin reposición. Si estas reservas son altas, habrá un rebrote rápido y vigoroso; si son bajas, el rebrote será lento y débil. En esto juega un papel importante la cantidad remanente de hojas que quedan después del pastoreo o corte.

Otros efectos del pastoreo es el pisoteo, que compacta la capa superficial del suelo, rompe los tejidos de las plantas en el mordisco y en su

selectividad. También es importante si el pasto es de porte alto o rastro. Si es alto, generalmente carece de hojas en su base y de puntas de crecimiento para el rebrote. Esto indica que su recuperación será lenta, ya que las yemas o meristemos del crecimiento están en la unión entre el tallo y raíces, y depende de sus reservas de carbohidratos. Si el pasto es rastrero, generalmente muchas hojas basales remanentes se escapan al mordizco del animal, cuyas hojas realizan fotosíntesis, que sumadas a sus reservas de carbohidratos inducen una recuperación (rebrote) rápido y vigoroso.

Bibliografía

- A. Sotomayor-Rios and W.O D Pitman edetors. (2011). *Tropical forage plants. Development and use*. CRC. Boca Raton Fla.
- Anderson, E. A. (1970). *Effect of flooding on tropical grasses*. Proc. 11th Grass. Congr., p. 591.
- Beinroth, B. H. (2011). *Land Resources for forage production in the tropics*. In. *Tropical forage plants*. Developmentand use CRC Boca Raton.
- Bend, J. (1953). *The savanna vegetation of northern tropical*, Tropical America Ecology.
- Bergman, H. F. (1959). *Oxygen deficiency as a cause of disease in plants*. Bot. Rev.25, pp. 417–485.
- Crawford, R. M. M. (1969). *The physiological basis of flooding tolerance*. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 82, pp. 111-114
- Chandler V. J. Silva S (1960). *Effects of Nitrogen fertilization and grass species on soil physical condition in some tropical pastures*. J. Agric. Unit. P. R. 44, pp. 77-76.

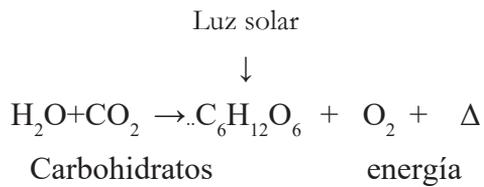
- Echaverría, M.S. (1970). *Efecto de la compactación del suelo y profundidad de siembra sobre la germinación del zacate Banderilla (Bouteloa cortipendula) y zacate Buffel (Pennisetum ciliaris)*. Tesis profesional. ITESM. Monterrey, N.L.
- Humphrey, L.R. (1981). *Environmental adaptation of tropical pasture plants*. MC-Millan Pub. Lld. London.
- Hodgson, J. y Da Silva, S.C. (2000). *Sustainability of grassland systems: Goal, concept and methods En: Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. Edited by: G. Lamaire, J. Hodgson A. de Moraes; P.C. de F. carbalho y C. Nabinger Cabipublishing.
- Hadley, M. (1993). *Grassland for sustainable ecosystems*. In: Riveros, F. (1993) *Grassland for our World the 17 th International Grassland Congress*. SIR Publishing, pp 21-27.
- Hodgson, J. y Da Silva, S.C. (2000). *Sustainability of grassland systems: Goal, concept and methods En: Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. Edited by: G. Lamaire, J. Hodgson A. de Moraes; P.C. de F. carbalho y C. Nabinger CABIPUBLISHING.
- Hopkins, R.M. and WH. Patrick. (1969). *Combined effect of oxygen content and soil compaction on root penetration Soil. Sci.* 108: 408-413.
- Jose de San José. (2011). *Contribution of animal productions in the tropics*. In: A. Sotomayor-Rios and W. P. Pitman. Annual Report.
- Kramer, P.J. (1951). *Plant Physiol. (Lancaster)* 26: 722-726
- Krestsmer, A. E. Jr. and Pitan A. E. (1994). *Tropical and Subtropical Forage, In. Forages, The Science and Grassland Agriculture* 5^a ed. Barnes, R. F, Miller, D. A. and Nelson, C. J. Eds. Iowa State University.
- Lugo, L., M.A. (1960). *Pore size and bulk density as mechanical soil factors impeding root development*. J. Agric. Univ. Puerto Rico, 12:40-44.

- Ludlow, M.M. (1975). *Effect of water stress on the decline of leaf net photosynthesis with age*. In: *Environmental and biological control of photosynthesis*. R. Marcelle (Ed.). W. Junk, The Hague. pp. 123-134.
- Ludlow, M.M. and T.T. Ng. (1976). *Aust. J. Plant Physiol.* 3: 401-404.
- Mc Manmon, M. and R. M. M. Crawford (1971). *New Phytol.* 70: 299-303.
- Moreno, G.H. (1976). *Producción de carne en Pasto alemán (Echynocloa polistachia) fertilizado bajo diferente carga animal en tropico húmedo*, Tesis Maestría en ciencias. Colegio Superior de Agricultura Tropical, Cádenas Tabasco.
- Pitman. W. D. (2011). *Environmental constrain to tropical forage plant adoption and productivity en: A. Sotomayor-Rios y W. Pitman*.
- Paladines, O. (1972). *Métodos para los estudios sobre utilización de las praderas*. Mimeo. CIAT, Cali, Colombia.
- Pott, A. and L.R. Humphrey. (1983). *J. Agric. Sci.* 101: 1-7.
- Rivera, B.M. 1974. *Efecto de la compactación en la emergencia de zacate Buffel (Cenchrus ciliaris) sembrado con semilla escarificada*. Tesis profesional. ITESM. Monterrey, N.L.
- Shaw, R. H. (1994). *Encyclopedia of Agricultural Science*. Volumen 3. Amtezen. C.J. Ed. Academic Press.
- Sotomayor-Rios and C. Shank (2011). *Constraint and development in the Enhancement of tropical forage grasses of economic importance*. In *Tropical forage plant*.
- Spedding, C.R.W. (1971). *Grassland Ecology*. Oxford Univ. Press.
- T'Mannetje J. and D.F. Nicholls, (1975). *Beef production from pastures in granic soil*. In *commonwealth scientific and Industrial Research Organization (CSIRO). Division of tropical agronomy. Annual report 1973-1975*.
- Ugarte, C. (2011). *Ecofisiología de las plantas forrajeras* Nota Técnica; INTA EEA
- Whiteman. P.C. (1980). *Tropical Pasture Science*. Oxford University Press. U.K.

CAPÍTULO VIII
LA FOTOSÍNTESIS Y LAS VÍAS
FOTOSINTÉTICAS

LA FOTOSÍNTESIS Y LAS VÍAS FOTOSINTÉTICAS

El proceso fotosintético que realizan las hojas de las plantas consiste en que la clorofila (contenida en los cloroplastos) al recibir la energía solar descompone la molécula de agua que contiene liberando (separando) el H₂ del O₂ y, a la par, incorpora la energía solar capturada (energía cuántica) y lo integra con el H₂ y CO₂, formando un carbohidrato (C₆H₁₂O₆) que es un producto rico en energía química, y a la par libera O₂ a la atmósfera.



Así, la fotosíntesis al formar los carbohidratos ricos en energía química que, al ser metabolizada por la propia planta, la energía contenida es liberada y puede ser utilizada por sus diferentes órganos para sus procesos fisiológicos específicos que realizan.

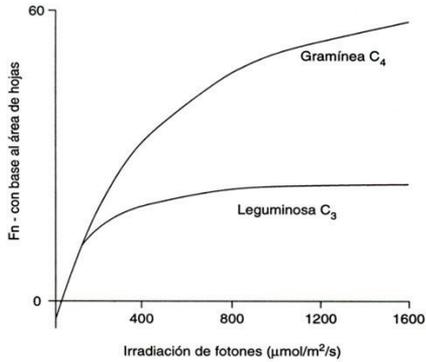
Cuadro 26. Conversión de la energía solar total a energía química por plantas forrajeras

Clima y localidad	Especie pastura	Tasa de máxi- mo cre- cimien- to (g m ² día ⁻¹)	Energía solar to- tal (cal cm ² día ⁻¹)	Conversión de energía solar en %	
				Estima- da con ta- sa máxima de creci- miento	Esti- mada con base en la pro- duc- ción real
Templado					
Aberystwyth In- glaterra	<i>Lolium perenne</i>	16.6	290.0	5.4	3.0
Subtropical					
Georgia EUA	<i>Cynodon dactylon</i>	21.2	530.0	3.8	1.8
Alabama, EUA	<i>Cynodon dactylon</i>	13.3	510.0	2.5	1.6
Queensland, Australia					
	<i>Paspalum plicatulum.</i>	20.3	550.0	3.5	=
	<i>Paspalum plicatulum.</i>	=	560.0	3.1	1.8
	<i>Digitaria decumbens</i>	19.3	580.0	3.1	1.4
Tropical					
Puerto Rico	<i>Pennisetum plicatu- lum</i>	22.4	500.0	4.2	4.9
El Salvador	<i>Pennisetum plicatu- lum</i>	39.2	400.0	9.3	5.4
Trinidad, Antillas	<i>Digitaria decumbens</i>	26.4	430.0	5.8	3.1
La Habana, Cuba	<i>Digitaria decumbens</i>	21.6	400.0	5.1	2.4
Tabasco, Méx.	<i>Urochloa mutica</i>	23.6	400.0	=	=
	<i>Paspalum plicatulum</i>	1.0	=	=	=
	<i>Digitaria mutica.</i>	11.8	=	=	=

Fuente: Almeida (1981)

Figura 24. Fotosíntesis neta (Fn) en *Pennisetum purpureum* (Gramínea C₄) y *Calopogonium muconoides* (leguminosa C₃).

Diferencias entre gramíneas (C₄) y leguminosas (C₃) tropicales



Fuente: Wilson y Ludlow (1991)

Cuadro 27. Clasificación de especies forrajeras por tipo de vía fotosintética C₃ y C₄

Especies C ₄	Especies C ₃
<p>La mayor parte de las gramíneas tropicales:</p> <p>Caña de azúcar, todos los pastos: maíz, sorgo, elefante, taiwan.</p> <p>Algunas malezas como: Quelite, coquillo, atriplex</p>	<p>Algunas gramíneas templadas: pastizales y especies de pastos templados, Rye grass, festucas, azuche.</p> <p>Todas las leguminosas templadas: Leguminosas templadas: alfalfa, tréboles, chícharo gandul, melilotos.</p> <p>Todas las leguminosas tropicales: Kudzú, frijol terciopelo, canavalia, clitoria, sesbania, stylosanthes, chipilin (<i>crotalaria sp.</i>) chaya, matarratón (<i>glicicidia sp.</i>).</p>

Fuente: Wilson y Ludlow (1991)

8.1. Vías fotosintéticas entre especies de plantas

En términos sencillos, existen tres tipos de vías de fotosíntesis que se realizan en diferentes especies vegetales.

Especies C3. Aquellas que en cada flashazo fotosintético produce un carbohidrato de 3 carbonos: C-C-C. Esta vía se le conoce como vía del glicolato o de Calvin-Benson.

Especies C4. Aquellas que en cada flashazo fotosintético se produce un carbohidrato de 4 carbonos: C-C-C-C. Llamado vía Hatch-Slack.

Especies CAM. Aquellas que producen su fotosíntesis vía el ácido crausicáulico (CAM) que se da en las cactáceas, magueyes, entre las principales.

Hay también especies vegetales que, bajo condiciones favorables de temperatura, agua en suelo y atmósfera funcionan como C3, y con ambiente de alta insolación, calor y escasas de agua funciona como C4, tal es el caso de los pastos tropicales y otras como las *Chenopodiaceae* algunas navajitas (*Bouteloa spp*) y la verdolaga (*Portulaca spp*).

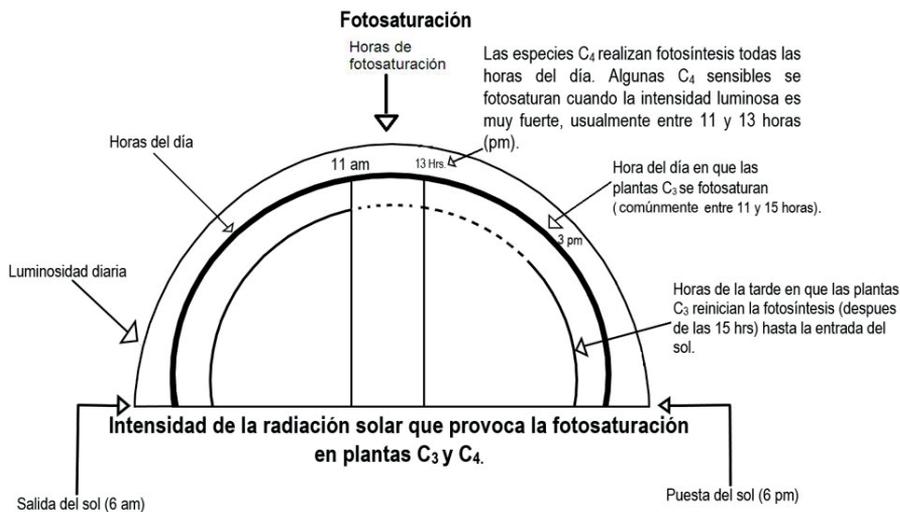
Las especies CAM son aquellas que viven en condiciones semidesérticas con alta escasas de agua, donde no pueden abrir sus estomas durante el día luminosa para que entre el CO₂ y O₂ del aire para la fotosíntesis, porque perderían su agua interna y por ello absorben la radiación solar del día y lo almacenan y abren sus estomas por las noches y dejan penetrar el CO₂ y O₂ y así realizar su fotosíntesis durante la noche, tal es el caso de los nopales y agaváceas tequilaneas, mezcaleras, y el henequen para fibras, entre las principales. Una especie que llama la atención es la verdolaga que actua como especie C₄ o CAM, según el ambiente en que crezca. Realizan el metabolismo C₄ todos lo tipos de pastos tropicales y en varias familias dicotiledonias. La diferencia es que las C₄ son

capaces de realizar altas tasas de fotosíntesis bajo altas temperaturas y radiación solar en relación a las C_3 debido a que pueden absorber CO_2 aún en bajas concentraciones de CO_2 en el aire que les rodea, niveles tan bajos que las especies C_3 suspenden su fotosíntesis por escases de CO_2 y alta radiación solar. Así las C_4 pueden mantener altas tasas de fotosíntesis, porque sus estomas permanecen abiertas en condiciones de alta radiación solar, temperaturas y baja disponibilidad de agua en suelo, condiciones que no soportan las C_3 y estas suspenden su fotosíntesis y por lo tanto su crecimiento. Y esto explica, en parte, porqué las C_4 rinden más forraje (materia seca) que las especies C_3 .

Así, las plantas C_4 no pierden o pierden poco su energía fotosintética almacenada por fotorrespiración, sea porque carecen de fotorrespiración o esta se da a muy bajos niveles, lo que permite que el CO_2 se transforme y almacene como carbohidratos, en vez de perderse por fotorrespiración. Esto significa que las especies que poseen ambas vías fotosintéticas C_3 y C_4 , ocasiona que bajo condiciones favorables de temperatura frescas y baja intensidad de radiación solar (por ejemplo, antes de las 10 de la mañana y después de las 4 de la tarde) y con buena humedad del suelo estas especies C_3/C_4 , funcionan como C_3 únicamente, pero cuando la luz solar se hace muy intensa al igual que la temperatura, y hay suelo con baja humedad, se comportan como especies C_4 . Por su parte, las especies C_3 solamente funcionan bien bajo temperaturas moderadas (frescas), con baja intensidad de luz solar, pero como en los trópicos el calor y la radiación solar son elevados, las especies C_3 se fotosaturan, esto es, dejan de realizar fotosíntesis (como se da en las regiones tropicales entre las 11 de la mañana y 3 de la tarde, y solo la reanudan después de las 4 p.m. en términos generales. Lo que no sucede en especies C_4 que prácticamente hacen sus fotosíntesis todo el día luminoso, desde

que sale y se oculta el sol día tras día, como se da en las zonas tropicales. También se ha comprobado que existe una marcada diferencia en la digestión entre las especies C_3 y C_4 , además en su potencial de producción de forraje. El efecto de la fotosaturación que presentan las especies forrajeras C_3 , se ilustran en la siguiente figura (25).

Figura 25. Fotosaturación en plantas C_3 y C_4 (dibujo propio)



Cuadro 28. Características foliares de pastos *Megathyrsus* C₄, C₃/C₄ y C₃ que determinan la digestibilidad

Tipo de <i>M e g a -</i> <i>thyrus</i>	Digestibili- dad de la MS (%)	Contenido de la pared celular (%)	Proporción del tejido en la sección transver- sal de la hoja (en %)				
			MES.	V.H.	H.V.	EPI	ESC
C ₄	69	50	43	20	8	27	1.7
C ₃ /C ₄	70	42	48	18	6	26	1.7
C ₃	76	33	66	10	3	22	0.5

MES: mesófilo; V.H.: vaina del haz; H.V.: haz vascular

EPI: epidermo; ESC: esclerénquima

Fuente: Wilson et al. (1983)

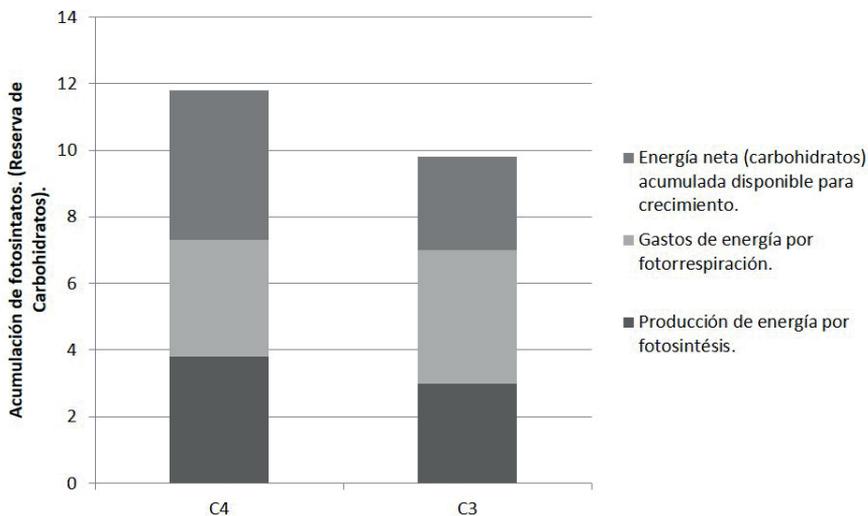
Cuadro 29. Potencial de producción de forrajes en pasturas tropicales y templadas

Especie	Latitud local	Periodo de crecimien- to (días)	Producción anual T MS h ⁻¹	Tasa de crecimiento g m ⁻² d ⁻¹
C ₄			<u>41.8</u>	<u>11.6</u>
<i>Pennisetum purpureum</i>	El Salvador, 14°N	365	85.2	23.2
<i>P. clandestinum</i>	Australia, 25°S	365	30.0	8.2
<i>Megathyrsus</i>	Puerto Rico, 18°N	365	48.8	13.4
<i>Megathyrsus</i>	Nigeria, 7°N	365	23.4	7.1
<i>Digitaria eriantha</i>	Cuba, 23°N	365	39.4	10.8
<i>D. eriantha</i>	Australia, 27°S	365	24.4	6.6
C ₃			<u>27.1</u>	<u>6.2</u>
<i>Lolium perenne</i>	Inglaterra, 52°N0	365	29.0	7.9
<i>Lolium perenne</i>	Nueva Zelanda, 40°S	365	26.6	7.3
<i>Medicago sativa</i>	Estados Unidos, 38°N	365	32.5	13.0
<i>Trifolium pratense</i>	Nueva Zelanda, 40°S	365	26.4	7.2
<i>Stylosanthes guyanensis</i>	Ghana, 7°N	365	21.1	5.8

Fuente: Eagles y Wilson (1982)

Otro proceso fisiológico de gran importancia a la adaptación de la especie C_3 y C_4 es la fotorrespiración. En términos generales, la fotorrespiración es un proceso en que las plantas consumen parte del carbohidrato sintetizado y con ello su disponibilidad de energía se reduce. Esto significa que la planta disminuye su almacenamiento de carbohidratos, porque lo pierde en su respiración acelerada y esto puede significar que reduzca su crecimiento, en horas de mayor fotorrespiración, lo que no sucede en especies de plantas C_4 que poseen un baja fotorrespiración aun en horas de alta radiación solar y altas temperaturas del aire, no así en las plantas C_3 cuya fotorrespiración es muy alta bajo intensa insolación y temperatura.

Figura 26. Gastos de energía por fotorrespiración entre especies C_4 y C_3 . Esquemática propia.



Las especies C_3 que evolucionaron en pH alcalino toleran poco los suelos ácidos, en particular debajo de pH menor a 5. Otros factores edáficos que intervienen en el proceso fotosintético de las plantas forrajeras (y en otras especies), es la presencia de agua (humedad) en el suelo, así como el pH. Así las especies C_3 requieren de suficiente humedad en suelo y planta para realizar fotosíntesis, si sufren sequía asociada a alta temperatura e insolación dejan de fotosintetizar. El otro factor edáfico que daña la permanencia de los forrajes C_3 en los trópicos es el pH ácido del suelo. Así, además del clima es el suelo ácido y la sequía que impiden que las especies C_3 , pastos y leguminosas, se adapten al suelo. Y esto sin considerar las plagas y enfermedades comunes en las regiones tropicales y que son mortales a los forrajes no adaptados al clima tropical.

Resumiendo las causas, porqué las especies forrajeras templadas (C_3) de muy alta calidad nutricional, en especial, las leguminosas como la alfalfa, no se adaptan a las condiciones tropicales, se debe a factores climatológicos (altas temperaturas e insolación, intensas lluvias junto a prolongadas sequías), al suelo (pH ácidos, limitada fertilidad, deficiencias nutricionales y a veces las quemadas de pastizales que destruyen la materia orgánica) principalmente. Condiciones que obligan al uso de especies forrajeras, que además de tener alto rendimiento de forraje, con calidad nutricional aceptable, se adaptan al clima y suelo tropical y resistencia a factores bióticos, obligan a los investigadores y ganaderos a introducir o crear variedades que soporten las variables condiciones edafoclimáticas de los trópicos. Y uno de estos géneros son: *Urochloa*, *Pennisetum*, *Cynodon* y *Megathyrsus*, en sus diferentes ecotipos y variedades.

8.2. Otros efectos de la fotosíntesis C_4 : Significación para las plantas que la poseen

El conocimiento de la fotosíntesis C_4 está lejos de ser completo. Queda mucho por clarificar sobre la evolución del proceso y su significación para las plantas. La taxonomía de la fotosíntesis C_4 es interesante: las plantas C_4 se encuentran en varios grupos de pastos y *Cyperáceas* tropicales, y en varias familias de dicotiledóneas. Un hecho curioso es que varias familias (y aun ciertos géneros) contienen individuos de tipo C_3 y C_4 . Su significación tiene varios aspectos. Las plantas que poseen fotosíntesis C_4 son capaces de alcanzar tasas fotosintéticas muy altas y, a causa de la alta afinidad de la PEP carboxilasa por el CO_2 y de las reacciones en extremo exotérmicas de síntesis de PEP, son mucho más capaces que las plantas C_3 en absorber CO_2 a partir de concentraciones bajas. Esto quiere decir que pueden mantener altas tasas fotosintéticas cuando sus estomas se encuentran casi cerrados, o estos están abiertos, pero hay bajas concentraciones de CO_2 en el aire que las rodea, lo que es una ventaja para las plantas que viven en climas secos y calientes.

Las plantas C_4 no pierden o se gasta muy poco CO_2 por fotorrespiración, o bien carecen del metabolismo fotorrespiratorio o lo tienen en un nivel muy bajo, lo que permite que el CO_2 producido es fijado de nuevo por las células del mesófilo, sea almacenado para el crecimiento. La mayoría de las malezas agresivas y algunos de los cultivos más productivos son plantas C_4 . No obstante, algunas plantas C_3 igualan a las C_4 en productividad y muchas plantas C_4 no son competitivas en todas las situaciones por ejemplo el clima semitemplado o de altura. Así, el metabolismo C_4 no confiere ventajas especiales automáticamente, ni en todos

los climas cálidos, ni es tampoco siempre “es más eficiente” o “mejor” que la fotosíntesis C_3 , como se dice a menudo. De hecho, el punto quizás más importante de la fotosíntesis C_3 es que es menos eficiente; es decir, usa más energía lumínica para fijar CO_2 que la fotosíntesis C_4 . Esto quiere decir que las plantas C_4 , la mayoría tropicales o de origen tropical, usan algo del exceso de luz que reciben para operar el ciclo del carbono, concentrando CO_2 en las células de la vaina del haz, donde puede ser fijado más rápidamente. Se acostumbraba a considerar a la fotosíntesis como un mecanismo absoluto, invariable; ahora está claro que no es así. La fotosíntesis del carbono, es simplemente otro ejemplo de la gran variabilidad y adaptabilidad de las plantas a su ambiente.

8.3 Diferencia en la calidad nutricional de las pasturas C_3 y C_4

En su artículo Arroquy e Imaz (2015) analizan las diferencias entre las especies C_3 y C_4 en cuanto a la producción de forraje y calidad nutricional.

Cuadro 30. Composición química de Gatton panic (*Megathyrus maximum* cv. Gatton) durante la estación de crecimiento (n = 42) y la estación seca (n = 81)

Verano		Invierno	
Proteína	6-12 %	Proteína	<5%
Fibra (FDN)	65-70%	Fibra (FDN)	>70%
Consumo Máximo	2,5 % peso	Consumo Máximo	<2% Peso
Cambio de peso	>450 g/d	Cambio de peso	-200 a 150 g/d

Fuente: Laboratorio de Forrajes INTA EEA Santiago del Estero, Argentina (Arroquy e Imaz, 2015)

Cuadro 31. Diferencias en composición química estacionales, el elevado contenido de fibra y la baja concentración de proteína limitan la productividad animal.

	Estación	
	Crecimiento	Seca
Proteína bruta	11,2 ± 0,6	5,1±2,5
Fibra detergente neutro	61,7± 2,4	77,6±6,6

Fuente: Laboratorio de Forrajes INTA EEA Santiago del Estero, Argentina (Arroquy e Imaz, 2015)

8.3.1. Valoración nutricional, composición química, estructura y digestibilidad

Las gramíneas C_4 a la misma edad son generalmente de menor digestibilidad que las gramíneas C_3 , debido a sus diferencias químicas y estructurales, a lo que se le suma las condiciones de crecimiento de altas temperaturas (Minson, 1990). En las especies C_4 , el sistema fotosintético C_4 es más eficiente en la fijación de carbono que el de las C_3 , y sus estructuras anatómicamente diferentes presentan mayor resistencia a la digestión. Los cambios en estados de desarrollo de la planta tienen un impacto sustancial sobre la pared celular vegetativo a reproductivo o la de acumulación de materia seca. En un planteamiento de utilización eficiente de pasturas a pastoreo o la obtención de reservas forrajeras de calidad, una elevada proporción de macollos en estado reproductivo reducen el valor nutricional de la dieta consumida o la reserva de carbohidratos gastado o almacenado (Minson, 1990). En este sentido, la reducción de la digestibilidad del forraje representa una de las mayores pérdidas en el aprovechamiento pasturas. La composición química y la digestibilidad de la pastura dependen de la proporción sus componentes y su calidad

(Cuadro 32. Arroquy datos no publicados). Señalan que estos componentes varían con el manejo del pastoreo/corte y con la especie entre otros. Las pasturas que mediante el manejo puedan mantener una proporción mayor de hoja mantendrán una mejor calidad (Cornacchione, 2008).

Cuadro 32. Composición química de las fracciones de *Meagathyrus máximum* durante la estación de crecimiento

Composición química de las fracciones de <i>Panicum máximum</i> durante la estación de crecimiento.				
Mes	PB, %	FDN, %	FDA, %	DMS, %
<i>Hoja verde</i>				
Diciembre (Mayo)	14.3	58.8	29.4	72.1
Enero (Junio)	11.7	53.9	26.6	75.9
Febrero (Julio)	12.1	56	28.4	73.4
Marzo (Agosto)	11.8	58.7	29.9	71.4
<i>Tallo</i>				
Diciembre	5.5	66.4	35.2	64.3
Enero	5.5	68.4	39.7	58.3
Febrero	9.1	69	39.7	58.3
Marzo	4.9	68.8	34.1	65.8
<i>Inflorescencia</i>				
Diciembre	-	-	-	-
Enero	10.4	68.4	36.5	62.6
Febrero	11.1	64.6	35.7	63.7
Marzo	11.9	59.5	29.9	71.4
<i>Material muerto</i>				
Diciembre	2.9	73.6	54	39.1
Enero	5.2	65.3	45.3	50.8
Febrero	5.6	68.4	49.9	44.6
Marzo	2.7	78.6	52.3	41.4

Nota: Diciembre-marzo: época de lluvias para Argentina (H. Sur)

Pese a la variación entre cultivares dentro de una misma especie, en general estas diferencias se mantienen debido a que las especies de mejor calidad tienen mayor proporción de hoja durante el período de crecimiento.

A medida que avanza la madurez o el desarrollo como también sucede en las gramíneas templadas aumenta la acumulación de forraje cosechable y disminuye la calidad del forraje. En ambientes cálidos, en comparación con climas templados, las etapas de desarrollo fenológico son significativamente más cortas, por lo tanto, la caída en calidad de estas especies es más vertiginosa. La reducción de calidad no solo se produce por los cambios de estado fenológico, sino también debido al aumento de tamaño y proporción de la hoja o tallo y al concomitante envejecimiento tisular aún dentro del mismo estadio de crecimiento (Agnusdei et al., 2009; Ávila et al., 2010). En este sentido, a mayor tamaño foliar mayor es la proporción de pared celular, mayor contenido de FDN indigestible y menor digestibilidad de la materia seca. El mayor tamaño de órganos de las gramíneas C_4 por cuestiones adaptativas se contraponen con los rasgos deseables de calidad del forraje (Wilson, 1997). Además, por sus características morfológicas la calidad desciende más marcadamente que en especies tropicales. Si bien se acepta que los cambios en composición química (lignificación; relacionada con la lámina media y la pared celular primaria) limitan la digestibilidad, el arreglo estructural de los tejidos y el engrosamiento de la pared celular secundaria con la madurez (Wilson y Mertens, 1995; Wilson y Hatfield, 1997) también lo hacen en magnitudes equivalentes. La arquitectura de los tejidos genera problemas de accesibilidad, debido a tamaños de poros muy pequeños, reduciendo la digestión de la pared celular un fenómeno de superficie de las enzimas liberadas por las bacterias ruminales fibrolítica (Coleman et al., 2004). En general, las asociaciones entre composición química y digestibilidad no son totalmente ciertas, debido que la pared celular secundaria puede variar de 0 a 90 %, y esta porción es claramente limitada por la arquitectura de la pared y no por la composición química. Ambas

limitaciones, químicas y estructurales se conjugan en las limitaciones de digestibilidad de la pared celular.

8.3.2. Consumo de forraje

El consumo es la variable más importante que determina la productividad animal. Por lo tanto, al momento de valorizar un forraje es importante prestar atención a las características asociadas con el consumo y como estas son afectadas por el manejo (pastoreo, reservas forrajeras), especies, y estrategias de suplementación correctiva de las pasturas para optimizar la utilización de las mismas. En promedio el consumo de forraje es menor en la C_4 que en las C_3 (Minson, 1990), y estas diferencias promedio se deben primariamente a una mayor proporción de pared celular y su concomitante reducción de la tasa y extensión de la digestión, tasa de pasaje del residuo indigestible e incrementos en los requerimientos de rumia. El consumo es función de la tasa de consumo y del tiempo. Varios factores interactúan influyendo sobre el consumo voluntario como por ejemplo la densidad volumétrica del alimento o pastura, facilidad de consumo, facilidad de masticado, palatabilidad, facilidad de digestión y pasaje que una vez que el alimento se encuentra en el rumen interactúan con las necesidades y los deseos (el consumo voluntario) del animal (Weston, 1982). En la mayoría de los sistemas de alimentación, la digestibilidad de la materia seca es utilizada para predecir la cantidad de energía metabolizable del alimento y como predictor del consumo voluntario (Holmes et al., 1966). Aunque esta relación es muy variable al momento de predecir el consumo. Por las limitaciones que representa la predicción de consumo con base en la digestibilidad de la materia seca, (Oba y Allen, 1999) observaron que la digestibilidad de la FDN o la indigestibilidad de la FDN es un parámetro que presenta alta correlación

con el consumo voluntario. En este sentido, (Oba y Allen, 1999) observaron que por cada unidad de aumento en el contenido de FDN digerible el consumo aumenta a razón de 0,177 kg d⁻¹. Otro parámetro comúnmente utilizado para predecir el consumo es la FDN, aunque también puede ser variable. La FDN indigerible permite detectar las variaciones en la calidad de la fibra por modificaciones en el arreglo estructural de las células (empaquetamiento de células). Desde un punto de vista nutricional, la distribución de la fibra por unidad de área tiene implicación en la ruptura del material durante la masticación, en la tasa de digestión y en la tasa de pasaje, las cuales determinan el nivel de consumo.

Al respecto, (Wilson, 1994; Wilson y Mertens, 1995; y Wilson y Kennedy, 1996) el arreglo estructural de las células es tan importante como la composición química en la determinación de la digestibilidad y el consumo. Por otra parte, el comportamiento ingestivo de animales a pastoreo influye sobre el consumo y su estudio puede ser utilizado como predictor del consumo a pastoreo. Está influenciado por características anatómicas y estructurales de la planta, y los animales seleccionan claramente hojas respecto a tallos. La arquitectura de la canopia (estructura o composición de la parte superior de la pradera) influye sobre el consumo y consecuentemente sobre la productividad animal a pastoreo. Particularmente, la accesibilidad al forraje, la capacidad de prehensión, la capacidad de selección y el tamaño de bocado influyen sobre la respuesta animal en las pasturas, y la arquitectura de las C₄ es más limitante en el pastoreo que en C₃. El consumo y la productividad están estrechamente asociados con la disponibilidad y la calidad del forraje ofrecido. En este aspecto, bajo pastoreo, limitaciones de cantidad, calidad y otros aspectos asociados al pastoreo pueden limitar la productividad. La densidad de forraje, y

más particularmente la densidad de hojas, tiene alta implicancia sobre la determinación de las tasas de consumo y el consumo. A mayor proporción de hoja accesible los animales aumentan el tamaño de bocado (Stobbs, 1975). Aunque la densidad de hojas es importante, la manera en la cual la hoja es presentada y la posibilidad que tiene el animal de seleccionar hoja separada de tallos y material muerto pueden alcanzar una importancia equivalente a la densidad de hoja (Burns et al., 1991). (Forbes y Coleman, 1993) y numerosos estudios reportaron que la biomasa de masa verde de hoja es el mejor predictor para maximizar el tamaño de bocado con una disponibilidad de 1100 kg MS de biomasa de hoja. Otro aspecto que repercute en el consumo es la heterogeneidad vertical. Las C_4 tienen mayor densidad de forraje en el estrato inferior (más de la mitad del forraje), mientras que las C_3 generalmente tienen una densidad volumétrica más uniforme entre estratos verticales (Holderbaum et al., 1992). La calidad del forraje en el estrato inferior es menor y representa la mayor proporción de forraje (tallos, material muerto). El forraje de mayor calidad se concentra en los estratos superiores, de menor densidad, lo que puede bajo determinadas circunstancias de pastoreo limitar el tamaño del bocado. Algunos estudios muestran que la digestibilidad del forraje de pasturas megatérmicas (tropicales) puede aumentar hasta aproximadamente 7 puntos desde el estrato inferior al estrato superior (Fisher et al., 1991). El animal mediante la selección puede ingerir una dieta de mejor calidad que el forraje total ofertado. Cuando la disponibilidad de forraje total y particularmente de fracciones de la planta nutricionalmente mejor es limitante, se reduce el consumo voluntario y, por ende, el estatus productivo que puede alcanzar el ganado. Aunque en parte compensan seleccionando el forraje de mejor calidad.

8.4. Diferentes Especies Forrajeras C_3 , C_4 y Cam

Especies CAM de uso forrajero



Nopal forrajero



Matorral semidesértico

Especies C_3 semidesérticos (pastizal)



Pastizal común



Pastizal navajita

Especies C_3 leguminosas, de clima templado húmedo



Medicago sativa



Trifolium sp

Especies C_3 gramíneas de clima templado



Lolium spp



Poaceae

Especies C_3 leguminosas tropicales



Arachis pintoi



Macroptilium atropurpureum



Stylosanthes humilis



Centrosema pubescens



Clitoria ternatea



Pueraria phaseoloides



Stylosanthes guianensis



Canavalia ensiformis



8.4.1. Otras especies de pastos

Especies C_4 gramíneas tropicales (de alto porte)



CANÑA

Saccharum officinarum



MERKERÓN

Pennisetum purpureum



Megathyrsus maximus
Ammaximus masimusb



Hyparrhenia rufa



Cenchrus



Echinochloa polystachya

Pastos C_4 de porte intermedio



Paspalum plicatulum



Setaria sphacelata



Urochloa mutica



Paspalum notatum

Pastos C₄ de bajo porte



Cynodon plestoctachyus



Digitaria eriantha

Pastos C₄ rastreros



Axonopus compressus



Cynodon dactylon

Leguminosas arbustivas (C_3)



Cratylia argentea



Brosimum alicastrum



Gliricidia sepium



Bibliografía

- Agnusdei, M.G, Nenning, F.R., DI Marco, O.N., Aello, M.S. (2009). Variaciones de calidad nutritiva durante el crecimiento vegetativo de gramíneas megatérmicas de diferente porte y longitud foliar (*C. horis gayana* y *Digitaria decumbens*). *Rev. Arg. Prod. Anim.* 29: 13-25.
- Almeida, M.R. (1981). Productividad primaria. *Rev. Mex. Prod. Animal.* 13: 35-42.
- Arroquy, J.I., Ricci, P., López, A., Juarez Sequeira, A., Rearte, D. (2015). An optimal liveweight gain in winter improves growing performance and reduces CH₄ in tropical beef cattle systems. *Climate-Smart Agriculture 2015. Global Science Conference. March 16-18, Le Corum.*
- Arroquy, J.I., R. C. Cochran, T.G. Nagaraja, E.C. Titgemeyer, And D.E. Johnson (2005). Effect of types of non-fiber carbohydrate on in vitro forage fiber digestion of low-quality grass hay. *Anim. Feed Sci. Technol.* 120: 93-106.
- Arroquy, J.I., R.C. Cochran, T.A. Wickersham, D.A. Llewellyn, E.C. Titgemeyer, T.G. Nagaraja, And D.E. Johnson (2004). Effect of type of supplemental carbohydrate and source of supplemental ruminal degradable protein on low-quality grass hay utilization by beef steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 115: 247-263.
- Arroquy, J.I., Cornacchione, M., Daviu, D., Avila, M., Kunst, C. (H). (2009). Efecto del tipo de reserva forrajera sobre la calidad del material conservado de gramíneas megatérmicas. *Rev. Arg. Prod. Anim. (Supl. 1).*
- Arroquy, J.I., Cornacchione, M., AVILA, M., Colombatto, D., Kunst, C. (H). (2010). Producción de gas in vitro de henos y ensilados de gramíneas megatérmicas. *Rev. Arg. Prod. Animal (Supl. 1).*

- Ávila, R.E., DI Marco, O.N., Agnusdei, M.G., Mayoral, C. (2010). Digestibilidad de la fibra y materia seca de dos gramíneas megatérmicas (*C hlorisgayana* y *C enchrusciliaris*) de diferente porte: Relación con la edad y largo foliar. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 30:1-13.
- Burns, J.C., Pond, K.R., Fischer, D.S. (1991). Effects of grass species on grazing steers: II. Dry matter intake and digesta kinetics. *J. Anim. Sci.* 69:1199-1204.
- Coleman, S.W., Moore, J.E., Wilson, J.R. (2004). Quality and utilization. En: *Warm-season grasses (C4)*
- Chase, JR., C.C., Hibberd, C.A. (1987). Utilization of low-quality native grass hay by beef cows fed increasing quantities of corn grain. *J. Anim. Sci.* 65, 557-566.
- Cochran, R.C., Köster, H.H., Olson, K.C., Heldt, J.S., Mathis, C.P., Woods, B.C. (1998). Supplemental protein sources for grazing beef cattle. In: *Proc. 9th. Florida Ruminant Nutr. Symp., Gainesville, FL.* Pp.124-136.
- Cornacchione, M. (2008). Informe de avance: Proyecto introducción y evaluación de forrajeras. Informe interno INTA.
- De Leon, M. (2008). Producción y utilización de pasturas. 30° Congreso Arg. de Producción Animal, Potrero de Los Funes, San Luis.
- Eagles, C.F. and D. Wilson (1982). Photosynthetic efficiency and plant productivity. In: M. Rechigl, Jr. (Ed). *Handbook of Agricultural Productivity.* CRC Press. Boca Raton, Fla. p. 213-247.
- Farmer, C.G. (2002). Effects of various frequencies of supplementation and urea inclusion in protein supplements on low-quality forage use, ruminal metabolism, and performance of beef cattle. Ph. D. dissertation, Kansas State University.

- Fisher, D.S., Burns, J.C., Pond, K.R., Mochrie, R.D., Timothy, D.H. (1991). Effects of grass species on grazing steers. I. Diet composition and ingestive mastication. *J. Anim. Sci.* 69:1188-1198.
- Forbes, T.D.A., Y Coleman, S.W. (1993). Forage intake and ingestive behavior of cattle grazing old world bluestems. *Agron. J.* 85: 808-816.
- Fumagalli, A. E., Arroquy, J.I., Saravia, J.J. (2010). Engorde de vacas de descarte con forraje de gramíneas subtropicales de baja calidad más suplementación. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 30 (Sup. 1).
- Holmes, J.H., Franklin, M.C., Lambourne, L.J. (1966). The effects of season, supplementation, and pelleting on intake and utilization of some subtropical pastures. *Proceeding Aust. Soc. Anim. Sci.* 6:354-363.
- Holderbaum, J.F., Sollenberger, L.E., Quesenberry, K.H., Moore, J.E., Jones, C.S. (1992). Canopy structure and nutritive value of limpogross pastures during mid-summer to early autumn. *Agon. J.* 84: 11-16.
- Klevesahl, E.A., R.C. Cochran, E.C. Titgemeyer, T.A. Wickersham, C.G. Farmer, J.I. Arroquy, D.E. Johnson (2003). Effect of a wide range in the ratio of supplemental rumen degradable protein to starch on utilization of low-quality, grass hay by beef steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 105: 5-20.
- Köster, H.H., Cochran, R.C., Titgemeyer, E.C., Vanzant, E.S., Abdelgadir, I., ST-Jean, G. (1996). Effect of increasing degradable intake protein on intake and digestion of low-quality, tallgrass-prairie forage by beef cows. *J. Anim. Sci.* 74, 2473-2481.
- Kunst, C. (H). (2009). Evaluación de reservas forrajeras de especies megatérmicas adaptadas a climas subtropicales. Tesis de grado. UNSE. Pp. 1-63.
- Minson, D.J. (1990). *Forage in Ruminant Nutrition.* Academic Press.

- Oba, M. AND ALLEN, M. (1999). Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82: 589-596.
- Stobbs, T.H. (1975). Factors limiting the nutritional value of grazed tropical pastures for beef and milk production. *Trop. Grassl.* 9:141-149.
- Troughton, A. de J.A. and L. A. Donalson (1972). *Probing Plant, structure* McGraw-Hill Book, Co.
- Vázquez, G.J. (1983). Clima y suelo en la producción forrajera y bovina en el trópico. Conferencia magistral. X ciclo internacional de conferencias sobre Ganadería Tropical. Asoc. Ganad. De Criadores DE Cebú, Morelia, Mich. 15-18 mayo.
- Weston, R.H. (1982). Animal Factors affecting feed intake. En: *Nutritional limits to animal production to pastures*. CAB.
- Wickersham, T.A., R.C. Cochran, E.C. Titgemeyer, C.G. Farmer, E.A. Klevesahl, J.I. Arroquy, D.E. Johnson, And D.P. Gnad. (2004). Effect of postruminal protein supply on the response to ruminal protein supplementation in beef steers fed low-quality grass hay. *Anim. Feed Sci. Technol.* 115: 19-36
- Wilson, J. R. (1990). Influence of plant anatomy on digestion and breakdown. In: AKIN, D.E.; Ljungdahl, L.G.; Wilson, J.R.; Harris, P.J. *Microbial and plant opportunities to Improve the utilization of lignocellulose by ruminants*. Elsevier Science Publ. Co. p. 99-117.
- Wilson, J.R. (1994). Cell wall characteristics in relation to forage digestion by ruminants. *J. Agric. Sci.* 122: 173-182.
- Wilson, J.R. y Hatfield R.D. (1997). Structural and chemical changes of cell wall types during stem development: consequences for fibre degradation by rumen microflora. *Aust. J. Agric. Res.* 48: 165-180.

- Wilson, J.R., Y Kennedy, P.M. (1996). Plant and animal constrains to voluntary feed intake associated with fibre characteristics and particle breakdown and passage rate in ruminants. *Aust. J. Agric. Res.* 47: 199-225.
- Wilson, J.R., Mertens D.R. (1995). Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. *Crop Sci.* 35:251-259.
- Wilson, J.R. y Ludlow, M.M. (1991). The environment and potential growth of herbage under plantations. En: H.M. Shelton y W.W. Stür (Eds.) *Forage for plantations crops. ACIAR Proceeding N° 32.* ACIAR. p. 10-24.
- Wilson, J.R., R.H. Brown and W.R. Windham (1983). *Crop Sci.* 23: 141-146.

CAPÍTULO IX
LA GANADERÍA TROPICAL EN
LATINOAMÉRICA

LA GANADERÍA TROPICAL EN LATINOAMÉRICA

9.1. Características

La ganadería bovina en el mundo se caracteriza por dos grupos genéticos:

Bos taurus: que se formaron y evolucionaron en climas fríos de Europa, principalmente donde los antiguos pobladores los domesticaron y seleccionaron para producir carne, leche y crías, alimentadas con pasturas de buena calidad nutricional principalmente, que al paso de los siglos conformaron las razas actuales de alto nivel de rendimiento y reproducción.

Bos indicus, que por el contrario, estas razas se formaron en climas cálidos húmedos y fueron seleccionados principalmente para el trabajo. Por tales razones, estas especies son de baja productividad en leche, carne y crías y se adaptan bien a condiciones cálidas-húmedas, consumiendo pasturas de baja calidad nutricional y de disponibilidad estacionaria. A la par, toleran plagas típicas de esas regiones como la garrapata, tábanos y enfermedades como la anaplasmosis y piroplasmosis, que suelen ser mortales a las razas europeas. Soportan bien las altas temperaturas y alta humedad ambiental, típica de las regiones tropicales (Af, Am, AW). De Alba (2011), señala que, la ganadería tropical en la gran mayoría de los países del mundo, particularmente en las naciones desarrolladas es una actividad socioeconómica importante por producir alimentos básicos para la población.

La ganadería tropical suele nutrirse fundamentalmente a base de forraje, en especial en los bovinos de pastoreo. Lo que indica el papel tan destacado que desempeñan las especies forrajeras en la producción de carne y leche y sus derivados, como se da en las regiones cálidas-húmedas de Latinoamérica. Durante varios siglos, la ganadería que se desarrolló

en Latinoamérica, se alimentó con pasturas nativas de bajo rendimiento de forraje y baja calidad nutricional, a partir de especies nativas como las gramas (*Paspalum notatum* y *Paspalum conjugatum*), diversos ecotipos de *Cynodon spp.*, *Sporobolus spp.*, *gordura (Melinis spp.)*, entre otras especies nativas. El ganado utilizado eran razas criollas de España y Portugal traídos por Cristóbal Colón y otros conquistadores portugueses, principalmente y eran animales de bajo rendimiento, en carne, leche y crías. A mediados del siglo pasado (1960), empezó a llegar el ganado cebú en sus diferentes razas, que, por su tamaño, características, adaptación y porte, se difundió rápidamente por todos los países tropicales. Sin embargo, no mejoró sustancialmente la productividad ganadera, porque esas razas cebuinas también presentaban bajos índices de producción y reproductivos, que posteriormente fueron sustituidos por cruzamiento con razas lecheras y carnicas europeas con mayores niveles de productividad y reproductividad. Crías que al cruzarse con las existentes en los trópicos provocaron mayores niveles de producción especialmente en leche, carne y crías. A la par, tales cruza, exigían el uso de forrajeras de mayor rendimiento y calidad nutricional y que produjeran forraje por más tiempo y tolerarán los cortes con cierta frecuencia y su rebrote sea vigoroso. Y que además fueran perennes.

Como estas exigencias no las tenían las pasturas nativas, a partir de 1960 empezaron a introducir especies llamadas mejoradas, la mayoría de África tropical como el Guinea (*Megathyrus maxiinum*), Estrella Africana (*Cynodon plectostachius*), Pangola (*Digitaria eriantha*), Bermuda Cruza Uno (*Cynodon dactylon*), Jaragua (*Hyparrhemia rufa*) y los ecotipos de *Peniseum purpureum* (elefante) como el Pasto cubano, entre los principales. Así, para maximizar el rendimiento y acelerar su recuperación después del corte o pastoreo, se impulsó la fertilización intensiva promovida por los investigadores de Puerto Rico. Caro-Costas, Vicente Chandler

y colaboradores, entre los principales en las décadas 60 y 80. Llegando estos a cosechar hasta 30 t MS ha⁻¹ bajo corte con el pasto elefante, bajo riego y/o buen temporal y altamente fertilizados.

A la par, la investigación cubana empezó a trabajar con el manejo de praderas usando la tecnología de Voisin aplicando el pastoreo rotacional, la carga animal ajustada a la disponibilidad de forraje y periodos de ocupación y descanso, recurriendo también la fertilización para acelerar su recuperación. Estos 4 componentes: razas bovinas encastadas de Cebú-europeo, uso de pastos introducidos de mayor rendimiento, el pastoreo rotacional y la fertilización de las pasturas, indujo un sustancial incremento de la producción de leche, carne y crías que impulsó en mucho la ganadería tropical, a los niveles actuales y ello provocó que la producción y la productividad bovina tropical se convirtiera en una actividad económica e industrial, más rentable y competitiva.

Debido al encarecimiento de los fertilizantes, y su prioridad en su aplicación, en los cultivos, la fertilización ha perdido importancia en su uso en las praderas, por lo cual ha renacido el manejo de la fertilidad natural del suelo y su mejora mediante la adición de residuos animales (particularmente las excretas y orinas) en sustitución a la fertilización química. A la par se incrementó la asociación con leguminosas, que mejora tanto la fertilidad del suelo si se aplica como abono o de la calidad del forraje si se usa como alimento del ganado.

Sin embargo hay que señalar que a pesar de la extensa investigación realizada sobre el aprovechamiento de leguminosas forrajeras tropicales, en Australia, en la Universidad de Florida USA, el programa de forrajes del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), ubicada su sede en Cali Colombia, la adopción del empleo de leguminosas asociadas con pastos o como cultivo puro (bancos de proteína) ha sido poco aceptada

por los ganaderos y son escasas las unidades de producción del trópico que emplean esta tecnología en pastoreo. Las causas son diversas pero las principales serían: Baja persistencia de la leguminosa, bajo pastoreo, dificultad en su manejo, disponibilidad de semilla de especies promisorias regionalmente, y algunas otras más. En la actualidad los investigadores de Forrajes y de otras áreas, están haciendo énfasis sobre el empleo de árboles y arbustos forrajeros tropicales, llamado sistema silvopastoril.

Así, el mejoramiento de la productividad de la ganadería tropical, obligó a la búsqueda de mejores especies forrajeras apoyadas con un mejor manejo de la pradera que permitiera que el ganado encastado cebú-europeo expresaran su mayor productividad sea leche, carne o crías.

Por ello se enfatiza que la producción del ganado tropical depende en gran medida de la productividad de las pasturas. Así, Holfman et al., 2008 señalan que el incremento en la producción de carne se estima ha sido de un 15 % a un 74 % y la producción de leche desde un 6 % a 15 %. Como la productividad de las pasturas depende en gran medida de las oscilaciones anuales del clima y de la fertilidad del suelo y esto a su vez afecta la productividad ganadera, luego entonces la productividad tanto de las praderas como de la ganadería, estarán afectados por el cambio climático tanto en forma directa (por el efecto que las oscilaciones del régimen térmico, sobre las pasturas y los animales) como indirecto por los periodos de lluvia y sequía que se anuncian vendrán asociadas al cambio climático.

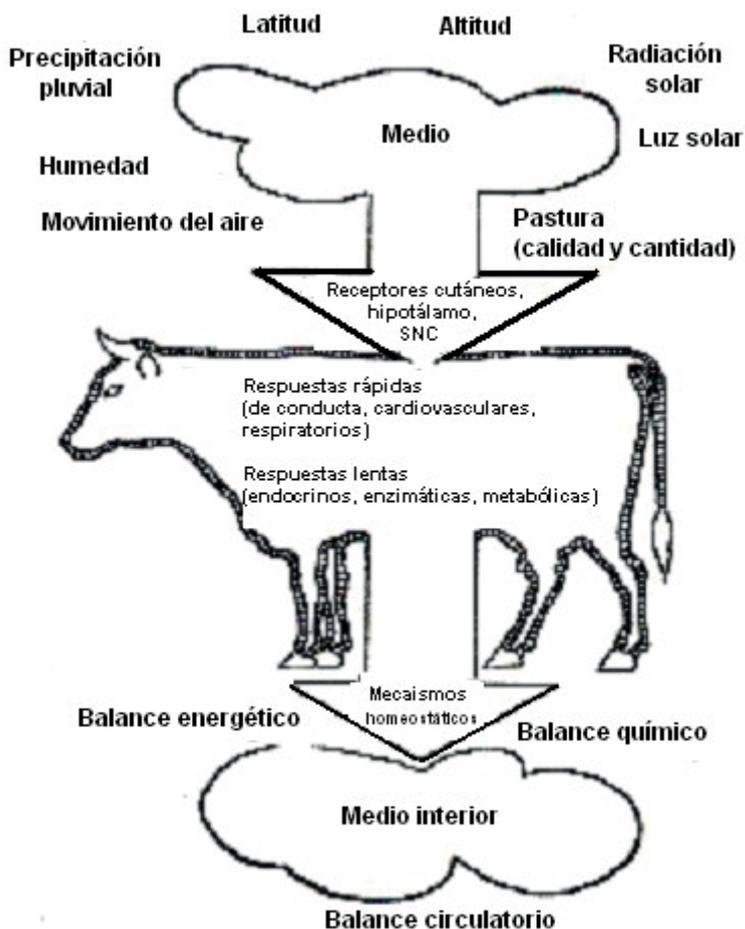
Así, se presagia que estos cambios del clima serán extremas, que afectará tanto al ganado como a las pasturas y con ello la producción de leche, carne y crías. Los modelos climatológicos del cambio climático generadas, anuncian que las regiones secas serán más secas, y las de alta precipitación

más lluviosas (IPPC, 2010). Como se pronostica que las precipitaciones serán muy variables, ocasionarán entre otras consecuencias, frecuentes y prolongadas, inundaciones, erosión y lavado interno de los suelos, en muchas regiones. A la par, habrá otras regiones con posible escases de lluvia con prolongadas sequías, ambas afectarán no solo la producción de pasturas sino también dañarán la producción de alimentos agrícolas, incluyendo la leche y carne del ganado. En América Latina, se estima que alrededor del 11.3 % de las tierras cultivables presentan actualmente drenajes pobres, principalmente por la fisiografía irregular del terreno, niveles freáticos altos o agua superficial estancadas (Wood et al., 2000).

Estas extensas superficies sufrirán intensas y prolongadas inundaciones y solo cultivos como arroz y algunas especies forrajeras como *Brachiarias* spp, podrán producir. Por ello, entender como las especies forrajeras responden a la inundación, es importante para aprovechar, estas condiciones adversas en la producción de alimentos y forraje. (Yang et al., 2007). Estudiar como las especies vegetales responden a condiciones favorables como extremas del clima, suelo, plagas, enfermedades, entre otras, como las inundaciones, pueden servir como base a un programa de mejoramiento de forrajeras que busque mantener o elevar la producción de alimentos. Este régimen de lluvia y temperaturas altas, determinan también la raza del ganado, en especial bovinos, que se adapten mejor y con ello su productividad de carne, leche, índice reproductivo y longevidad. A la par, también determina el tipo de manejo que habrá de darse a las pasturas y al ganado mismo, para elevar sus índices productivos en particular leche, carne, crías y el abasto permanente de forrajes y complementos alimenticios (Whiteman, 1980).

9.2. Relación clima tropical-bovinos

Figura 27. Influencias de factores bioclimáticos de los bovinos expuestos al medio ambiente tropical.



Fuente: Hafez (1972)

Adicionalmente, la combinación de humedad y temperatura del aire, que en los trópicos son elevados la mayor parte del año, crean dos condiciones que afectan tanto la adaptación de razas animales de mayor productividad muy superiores a las razas bovinas bien adaptadas a tales condiciones, como las cebuinas y sus cruza.

El otro factor ambiental que limita la adaptación y productividad bovina es que la combinación de temperaturas elevadas y la alta humedad ambiental crean condiciones favorables para la proliferación de plagas y enfermedades que suelen ser mortales a las razas europeas como son la piroplasmosis, anaplasmosis (transmitido por las garrapatas), tuberculosis, derringue, gusano barrenador, tábano, moscas de establo, que además crean un ambiente molesto en los establos. También debemos señalar que la intensa radiación solar ocasiona en los bovinos europeos que poseen una piel blanca, sin pigmentación (melanina) que los proteja de esta elevada luminosidad, la cual provoca dos efectos; le ocasiona daños a la piel despigmentada y a los ojos con un tipo de cáncer. El otro efecto dañino es que las razas europeas poseen una capa de pelo muy espesa (densa), su pelaje es oscuro, que por un lado se calientan mucho por la radiación solar y por el otro, retienen el calor absorbido por la densidad del pelaje, que en su conjunto calientan más el cuerpo animal, lo que les induce a sufrir un mayor estrés calórico, que reduce el consumo de alimentos, tardan menos horas en pastoreo bajo el sol, buscan sombras y beben más agua. Adicional, el estrés calórico reduce los índices reproductivos y con ello la producción de cría y el crecimiento animal, lo que no sucede con los cebuinos tropicales, adaptados a tales condiciones tropicales. Un efecto adicional de la radiación solar se relaciona con el número y funcionalidad de las glándulas sudoríparas las cuales, cuando se calienta el cuerpo animal, entran en funcionamiento y sudan, con

lo cual eliminan el calor corporal y con ello se refrescan. Así, las razas cebuinas tienen muy alta densidad de glándulas sudoríparas y estas son muy funcionales, no así las razas europeas que tienen pocas y de muy baja eficiencia para perder calor. Esto ocasiona que las razas europeas sufran más el calor y las cebuinas no (Hafez, 1972).

También hay que destacar que algunos ganaderos emprendedores del sureste de México especialmente en los Estados de Veracruz, Tabasco y Campeche, están desarrollando explotaciones principalmente en terrenos inundables o de pantano utilizando el Bufalo de agua, algunos con el objetivo de la producción de leche para la elaboración de quesos y otros para la producción de carne, existiendo en la actualidad comercio que se dedican a la venta de cárnicos del bufalo, con una buena aceptación de los consumidores.

Otro efecto adicional relacionado con las altas temperaturas y la intensa radiación solar, está relacionado en que las pasturas crecen a mayor altura, producen mayores rendimientos por hectárea y año de forraje, pero tienen menor digestibilidad que las pasturas templadas y esto afecta la alimentación animal induciendo frecuentes deficiencias nutrimentales que obliga a la suplementación mineral permanente lo que suele no presentarse en las pasturas templadas a menos que el bovino tenga alto rendimiento de leche, carne o crías. Un efecto más del clima a través de la luminosidad es la duración de las horas, luz o fotoperiodo que induce la floración en las pasturas y con ello la producción de las semillas. En general el fotoperiodo en regiones tropicales es de día largo, y varía relativamente poco durante el año (no más de 2 horas, en promedio anual).

Incluso también factores de la fisiología animal, como los puntos neurológicos del ganado que controlan los centros de saciedad (que se

da cuando el animal tiene el estómago vacío y ello lo induce a comer y el centro de repleción (llenado) que hace que el animal deje de comer (Denmend et al., 1995; Dove, 1996). En el hábito de pastoreo del animal en praderas abiertas, en particular las horas de pastaje bajo sol, influye la intensidad de la radiación solar sobre el cuerpo animal, el color, densidad y tamaño del pelaje, color de la piel y presencia y funcionalidad de las glándulas sudoríparas que regulan la temperatura corporal. Recordando que cuando la temperatura interna se eleva mucho, el bovino deja de pastar y busca la sombra y el consumir agua fresca y con ello refrescar su cuerpo (Vázquez, 1983). Así, la intensidad de la radiación solar, la temperatura del aire (más intensas en el trópico) explican porque el ganado tarda más tiempo pastando en clima templado que en las regiones tropicales (Gordon y Lascano, 1993). Para disminuir este efecto directo de la luz solar sobre el ganado se esta usando el sistema silvopastoril que permita que el animal a las horas de mayor insolación y calor busque protegerse bajo los árboles asociados en las praderas y ahí puede pastorear.

9.3. Efectos del animal pastante sobre las praderas

Es indudable que la conducta del animal pastante tiene grandes efectos sobre la pradera. En esto se incluye el volumen diario de forraje que consume, la selectividad que realiza (preferencia a las hojas sobre el tallo o seleccionar a ciertas especies más que otras como gramíneas sobre leguminosas, busca más plantas jóvenes que maduras. (Gordon and Lascano 1993; Ungar 1996; Cosgrove, 1997). A la par, el ganado tiene otros efectos importantes relacionados con el pisoteo que afecta al suelo (compactación) y a las plantas forrajeras ya que el bovino no corta

el pasto, lo arranca en cada mordisco, dañando físicamente a la pastura. Es por ello, que el ganado en el tiempo altera la composición de las praderas, su permanencia (en cuanto a que induce una disminución de la especie más apetecida y el crecimiento de otras de menor consumo) incluso permite la aparición de malezas invasoras tal como lo señalan Gordon y Lascano (1993), Stobbs (1973 a).

A este efecto dañino del ganado hace necesario el uso de técnicas de manejo sustentable de la pradera como son empleo de especies adaptables al ecosistema, rotación de pastoreo, carga animal, tiempo de pastaje, altura de pastura, fertilización, el riego en épocas de sequía. También debe recordarse que hay cierta influencia de la especie animal pastando principalmente en cuanto a bovinos, equinos, ovinos y caprinos. Donde, el más importante es el ganado bovino, por su mayor uso, volumen de consumo de forraje y efecto de pastoreo, entre otros. (Thornton, B. Millard and U. Bausenwein, 2000).

Bibliografía

- B. Thornton, P. Millard and U. Bausenwein. (2000) Plant Science Group, Macaulay Land Use Research Institute, Craigiebuckler, Aberdeen, UK.
- Cosgrove, G.P. (1997) Animal grazing behaviour and forage intake. In: Gomide, J.A. (ed.) *Proceedings of the International Symposium on Animal Production Under Grazing, Vicosá, Minas Gerais, Brazil, November 1997*, pp. 59–80.
- Demment, M.W., Peyraud, J.-L. and Laca, E.A. (1995) .Herbage intake at grazing: a modelling approach. In: Journet, M., Grenet, E., Farce,

- M.-H., Theriez, M. and Demarquilly, C. (eds) *Recent Developments in the Nutrition of Ruminants*. INRA, Paris, pp. 121–141.
- Dove, H. (1996) The ruminant, the rumen and the pasture resource: nutrient interactions in the grazing animal. In: Hodgson, J. and Illius, A.W. (eds) *The Ecology and Management of Grazing Systems*. CAB International, Wallingford, pp. 219–246.
- De Alba, M. J. (2011). *El libro de los bovinos criollos de América*. bba. editores. C.P. México.
- Duru, M., Justes, E., Langlet, A. and Tirilly, V. (1993). *Comparaison des dynamiques d'apparition et de mortalité des organes de fétuque élevée, dactyle et luzerne (feuilles, talles et tiges)*. Agronomie 13, 237–252.
- Gordon, I.J. and Lascano, C. (1993). Foraging strategies of ruminant livestock on intensively managed grasslands: potential and constraints. In: *Proceedings of the XVIIth International Grassland Congress*. SIR Publishing, Wellington, New Zealand, pp. 681–689.
- Holfman F., P. Angel y E. Perez (2008). *Impacto de la adopción de forrajes mejorados en fincas de pequeños productores en Centroamérica, Cali, Colombia*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Nairobi, Kenya: International.
- Hafez, E.S.E. (1972). *Adaptación de los animales de granja*. Editorial Herrero, S.A. México.g
- IPPC (2010). Meeting report National Center for Atmospheric Research Boulder. Colorado, USA. 25-27. Expert Meeting on Assessing and Combining multi model clima projections.
- Stobbs, J.H. (1973a). The effects of plant structure on the intake of tropical pastures. I. Variation in the bite size of cattle. *Australian Journal of Agricultural Research* 24, 809–819.

- Ungar, E.D. (1996). Ingestive behaviour. In: Hodgson, J. and Illius, A.W. (eds) *The Ecology and Management of Grazing Systems*. CAB International, Wallingford, pp. 185–218
- Vázquez, G.J. (1983). Clima y suelo en la producción forrajera y bovina en el trópico. Conferencia magistral. X ciclo internacional de conferencias sobre Ganadería Tropical. Asoc. Ganad. De Criadores DE Cebú, Morelia, Mich. 15-18 mayo.
- Wood, S, Sebastian K., Scherr, 3. (2000). Soil Resource condition. In: pilot analysis of global ecosystems: Agroecosystems. Pg. 45-54. IFPRI. Washington, USA.
- Whiteman. P.C. (1980). *Tropical Pasture Science*. Oxford University Press. U.K.
- Yang, M., Li. D. Li. W. (2007). Leaf gas exchange characteristics and chlorophyll fluorescence of three wetland plants in response to long term soil flooding.

CAPÍTULO X
LAS ESPECIES FORRAJERAS
Y SU ADAPTACIÓN A SUELOS
INUNDADOS CON ÉNFASIS A
UROCHLOA

LAS ESPECIES FORRAJERAS Y SU ADAPTACIÓN A SUELOS INUNDADOS CON ÉNFASIS A UROCHLOA

10.1. Urochloa

Tolera la sequía, pero en suelos arenosos durante la época seca, merma su producción y de forraje. Bajo condiciones favorables de humedad y fertilidad del suelo tropical, soporta muy bien muy altas cargas animales, por periodos cortos y descansos suficientes, por ello requieren del pastoreo rotacional. Los pastos de este género están muy bien adaptados al pastoreo y/o corte racional, ajustado a las condiciones del medio ambiente en que se desarrolla, particularmente al régimen de lluvia y tipo de suelo.

Urochloa humidicola por sus características morfológicas y agresividad es muy útil en el control de erosión, en especial en suelos de ladera, pues produce una excelente cobertura y amarre del suelo.

Su establecimiento más recomendado son vía vegetativa, dado, que su semilla suele ser de escasa germinación, usando los estolones y cepas. Se requiere aproximadamente 1 tonelada de estolones/ha y 2 toneladas de cepa/ha. Es tolerante al salivazo o mosca pinta (*Anaeolamia poslica*), pero se comporta como hospedador de altas poblaciones de esta plaga que, por lo mismo, causa daños a pastos y cultivos aledaños. El *U. humidicola*, cuando sufre daños, se recupera entre 4 a 6 semanas de reposo de la pradera una vez controlando la presencia del salivazo. En cuanto a su valor nutricional, suele ser de 5 a 7 % de proteína cruda (PC), teniendo en cuenta la baja fertilidad del suelo en donde suele crecer y ser un pasto de porte erecto, con tallos lignificados. Datos de Colombia, (Escobar y

Rua, 2017), que el follaje con 6 semanas de crecimiento, un tipo de *U. humidicola* presentó de 5.2 a 8.5 % de PC en época de lluvias y 3.03 a 9.03 % en la estación seca, con una digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) fue de 59 a 66 % en lluvias y 51 a 67 % en secas.

Pierde rápidamente su valor nutritivo después de la floración debido a la lignificación de sus tallos y con ello acentúa su bajo contenido de proteína y su menor consumo voluntario del ganado. A la par, de mermar su contenido de nutrientes, debido que al florecer estos minerales son removidos hacia la semilla. En cuanto a ganancia de peso (GDP) en bovinos, varían entre condiciones en que se desarrolla y van desde 80 kg/cabeza para un total de 240 kg ha⁻¹ año en pastoreo de *U. humidicola*. Si se asocia con la leguminosa *Arachis pintoi* las GPD pueden llegar a 134 kg por cabeza y 402 kg ha⁻¹ año. Las cargas animales que soportan el *U. humidicola* van de 2 a 4 cab ha⁻¹ en promedio, según la fertilidad y humedad del suelo a la temperatura ambiental. Así, las ganancias por animal y por hectárea varían en función de las condiciones edafoclimatológicas locales y el manejo racional de la pradera incluyendo el nivel de encaste del ganado y si el pasto *Urochloa* está solo o asociado con leguminosas. La temperatura del suelo influye también en el estado físico de la planta. Con temperaturas cálidas comunes en los trópicos, el agua se mantiene en su estado natural y se mueve dentro del suelo con mayor fluidez. Bajo suelos fríos, el agua se traslada de un punto a otro con lentitud por debajo de 0°C, el agua se congela y se vuelve inmóvil.

Si el suelo se calienta en exceso, puede matar a los microorganismos que ahí viven. Si por el contrario, la temperatura se enfría mucho, cercano o por debajo de 0°C, también los microbios pueden morir. En ambos casos, suelos muy calientes o muy fríos la vida microbiológica sufren daños y disminuyen o cesan su actividad y con ello la formación de

la materia orgánica. En general, el tipo de fauna edáfica está adaptada a la temperatura normal del suelo y alteraciones drásticas del régimen térmico edáfico, afectan su actividad.

10.2. *Urochloa humidicola* en la ganadería racional, características, producción de forrajeras tropicales en diferentes ambientes

El género *Urochloa* comprende más de 100 especies que se distribuyen en regiones tropicales y subtropicales del mundo. Originarias de África, solamente 7 especies han sido introducidas en América para ser utilizadas como forrajeras (Hare et al., 2015). Entre estas, *U. decumbens*, *U. brizantha* y *U. humidicola* se utilizan en Brasil desde la década del 60. Su importancia es tal que el 85 % de los 40 millones de ha de pasturas de Brasil son de *Urochloa* (Miles, Maass y do Valle., 1998).

Con datos de Escobar y Rúa (2017), se señala que el pasto *U. humidicola* pertenece la familia: *Poaceae*; subfamilia. *Panicoideae*; Tribu: *Paniceae*. Es nativo de África tropical oriental y suoriental. Actualmente abunda en todos los trópicos de América Latina, sudeste de Asia y en regiones costeras de Australia. Posee un ciclo de vida perenne, es de crecimiento erecto, sus estolones son largos, y enraízan con facilidad, lo que lo hace ser un pasto agresivo y hasta invasor. Produce poca semilla viable, con latencia prolongada. Es estolonífero rastrero, posee alta capacidad para enraizar en los nudos de sus tallos en toda su extensión, cubre rápidamente el suelo donde crece y se extiende con facilidad. Su crecimiento es vigoroso, con cobertura densa, agresiva y es poco compatible con otras leguminosas asociados, excepto con el maní forrajero (*Arachis pintoi*, o con *Desmodium ovalifolium*) y otras especies similares capaces de convivir

con el bajo pastoreo rotacional, con periodos de ocupación y descanso en relación a capacidad de recuperación solo o con leguminosas asociadas durante el año, con ajuste de carga animal. Cuando la leguminosa asociada pretenda dominar, se debe incrementar la presión de pastoreo mediante mayor carga animal y periodos de rotación más cortos, para evitar que la leguminosa alcance su edad reproductiva y dominen al *U. humidicola*.

Se adapta mejor en regiones tropicales desde 0 m hasta los 1800 m.s.n.m., con una temperatura de 30°C, lluvias desde 600 a 4,000 mm al año. Pocos pastos, se comportan tan bien como el *U. humidicola* en suelos que van desde fértiles hasta infértiles y ácidos (pH 3.5), del tipo arenoso, francos o arcillosos. Tolera bien los excesos de humedad, incluso la inundación temporal, pero no excesivamente alargadas, ni muy profundar (capa gruesa de agua). Cuando el suelo está saturado de agua, por largo tiempo, el pasto *U. humidicola*, atenúa su agresividad y cede lugar a otras especies más tolerantes a esas condiciones de inundación, extremas y alargadas.

Diversos resultados de investigación del CIAT, Colombia comentan que, por sus cualidades propias del género y la especie, las *Urochloas* son *Poaceas* de uso, principalmente para pastoreo, pero, ha resultado de particular utilidad también en el control de procesos erosivos de suelos, pues produce una excelente cobertura y amarre del suelo. Es agresivo y hasta desplaza la vegetación nativa, pero puede convivir con arvenses y algunas leguminosas. En caso de producir forraje excedente, puede ser ensilado o henificado. Por su parte la persistencia de *U. humidicola* frente a retos del Cambio Climático también se caracteriza por su excelente tolerancia a la sequía, incluso en temporales de sequía intensa y prolongada, razón también por la cual ocupa agresivamente, y favorablemente, los espacios de suelo que van cediendo otras *Poaceas* con las que convive

pero que no soportan tanto la sequía. Esta es una de las cualidades que nos hace pensar que ésta especie debe ser considerada por los expertos, y también por los productores, ante los retos que impone el futuro ambiental ante fenómenos como el Cambio Climático.

10.3. Ventajas y desventajas de urochloa para la ganadería

Es de reconocer, que obviamente como todas las plantas forrajeras, *Urochloas* tienen características a su favor y también en su contra. Una de las cosas que más le resta aceptación es que pierde muy rápidamente su calidad nutricional una vez que se sobrepasa su punto óptimo de cosecha (significa que en la medida que más madura más rápido pierde su valor nutritivo) esto, en realidad ocurre con todas las plantas forrajeras, pero sucede con *U. humidicola* que sus contenidos de proteína cruda descienden dramáticamente a niveles sumamente bajos –3 % más o menos– con el exceso de madurez).

Tampoco le favorece que su tejido foliar sea tan duro, y que su terminación en el ápice sea puntiaguda, porque esto le resta palatabilidad, y poca gustosidad especialmente en ovinos, aparte de que puede causar toxicidad en equinos por exceso de oxalatos causando hiperparatiroidismo, o fotosensibilidad también en equinos (aunque esto es menos común). Su agresividad para colonizar terreno le puede desfavorecer cuando se desea asociar a otras *Poaceas* o con *Fabaceas*, de hecho, solo *Desmodium ovalifolium* o *Arachis pintoi* (Maní forrajero) se han podido establecer junto con *humidicola*, pero otras leguminosas terminan siendo dominadas por este pasto. Se dice también que esta especie (*U. humidicola*) es alelopática, es decir, inhibe el desarrollo de otras o influye en su crecimiento y sobrevivencia, y esta característica se le atribuye porque tiene la capacidad de inhibir la nitrificación (que puede ser esta

la explicación para que muy pocas leguminosas se puedan asociar a *U. humidicola*), lo que para genera contraposiciones, ya que para muchos es una característica indeseable y para otros al contrario es deseable, puesto que no solo inhibe el desarrollo de leguminosas forrajeras, sino también de malas hierbas (es decir que ayuda al control de “malezas” por naturaleza en los potreros, anulando así el control químico con químicos que son perjudiciales al suelo). Y otra más de sus desventajas está en que es susceptible a ataques de insectos como roya de los pastos (*Uromyces setariae italicae*), y también al gusano medidor (*Mocis latipes*). La semilla que produce es atacada por una especie de chinche que la consume cuando está en formación (estado pastoso).

Igualmente, la semilla es atacada por la Chisga (un canario silvestre) típico de arrozales, además que la semilla que produce no es de fácil germinación, e incluso, la semilla comercial puede salir con dormancia (demora en germinar) lo que puede hacer que no brote hasta 6 meses después de su siembra, por lo que es más común que se siembre utilizando material vegetativo, que es un método de siembra más engorroso. En compensación, habrá que citar también sus fortalezas, *U. humidicola* tiene un amplio rango de adaptabilidad, pues se sabe que se ha establecido exitosamente desde 0 hasta 2400 msnm, sin embargo, su mejor adaptación se da desde 400 hasta 1800 msnm. Es un pasto que tolera sequías intensas y prolongadas ya que posee un mecanismo de regulación es una especie C_4 bastante eficiente, lo que le permite establecerse y desarrollarse en casi todo tipo de suelos, desde arenosos con drenaje excesivo (pero con baja productividad), pasando por suelos francos (donde más produce), hasta suelos arcillosos, muy compactos y de ineficiente drenaje (donde tampoco da su mejor productividad y en caso de que el suelo permanezca encharcado por más de 4 semanas comienza

a marchitarse y a ceder terreno frente a otras especies que se adaptan mejor a condiciones de pésimo drenaje), pero muy pocas especies como *U. humidicola* para adaptarse tan bien como ella a suelos infértiles o sub-fértiles, pobres de materia orgánica y biocenosis.

Por su crecimiento estolonífero, rastrero y desarrollo agresivo, es una especie que se puede establecer mucho más rápido que otras, aunque si apenas va a ser introducida y se dispone de poca semilla o material vegetativo, o se realiza una siembra sobre tapiz (sin erradicar la vegetación nativa u otras gramíneas ya establecidas, ni hacer arado de suelos) puede que su establecimiento sea más lento de lo deseado, ya que le toma de 3 a 4 meses anclarse bien para comenzar a expandirse por todo el potrero, sin embargo, este hábito de crecimiento es una de sus características más fuertes, y es lo que le permite cubrir densamente un suelo (lo que es positivo ya que produce bastante biomasa para alimentar animales de pastoreo), y se ancla firmemente al suelo formando un tejido con sus estolones que le dan un fuerte amarre al suelo contribuyendo así a reducir hasta anular completamente la erosión, además de que por esta misma razón es un pasto que soporta perfectamente bien altas cargas instantáneas de ganado en pastoreo, y especialmente, las cosechas a ras de suelo, por lo que incluso los más expertos agrostólogos indican que mientras más rasante se coseche rebrota mejor.

Y no hay que dejar de mencionar que esta especie ha resultado naturalmente tolerante a insectos que la agronomía o agricultura convencional considera como “plagas” de los cultivos, por ejemplo, la *Aneolamia*, insecto conocido como mosca pinta, salivazo o la chinche de los pastos, que para muchos ganaderos genera preocupación ya que cuando sus poblaciones son altas las plantas se secan y reducen su productividad hasta en un 100 %, a lo cual *U. humidicola* no es ajena, ya que debido a esta tolerancia la

pastura puede alojar por largas temporadas altas poblaciones del insecto y después que las demás especies con las que convive ya han sido acabadas por el insecto también *U. humidicola* termina siendo afectada, pero la ventaja de *U. humidicola* es que a pesar de este daño severo se recupera en las siguientes 4 a 6 semanas, lo que no ocurre con otras especies. Es altamente resistente a hormigas cortadoras de hojas (*Acromyrmex spp.* y *Atta spp.*).

Las experiencias de ganaderías que pastorean en *Urochloas* son satisfactorias pues la primera respuesta esperada y cumplida es la abundancia en oferta de forraje cuando se empiezan a aplicar las leyes del PRV (Pastoreo Racional Voisin), teniendo en cuenta que para cada sistema de pastoreo habrá diferentes tiempos de evolución, siendo más favorables para las ganaderías donde se trabajan sistemas de producción implementando PRV el puesto que en este considera aspectos como medio ambiente, patrones climáticos, tipo de suelo y su fertilidad, estado de biocenosis, etc. que se trabajan holísticamente, obteniendo positivos resultados en cuanto a producción de forraje prácticamente desde el inicio de su implementación, mientras que para otros sistemas de pastoreo pueden ser mucho más tardados, o habitualmente mucho más costosos y menos sustentables a largo plazo. En PRV siempre ocurre que en un tiempo menor a 6 meses la nueva oferta en kg/ha de forraje verde tiene aumentos exponenciales en su capacidad de producción, pero para lograr esto mismo con otros sistemas de pastoreo tomarán más tiempo y será más gradual, pero en estos la pastura casi siempre tiene vida limitada (se degrada con el tiempo), mientras en PRV siempre se logra que la pastura se mantenga productiva a largo plazo (perenne).

La respuesta en cuanto a la recuperación (tiempos de reposo y ciclos de pastoreo), dependen de cada una de aquellas condiciones que influyen sobre el crecimiento y desarrollo de la pastura, coincidiendo que cuando

son óptimas tales condiciones de manejo y ambiente, los períodos de reposo son más cortos (entre 30 y 40 días) que cuando las mismas no son tan favorables y los períodos de reposo se hacen más largos (hasta 90 o más días), teniendo variaciones incluso entre una rotación y otra de acuerdo a como se hayan dado estas condiciones entre las dos cosechas sucesivas. Dentro de dichas investigaciones, y con el ánimo de hacer integraciones productivas entre la ganadería y los sistemas silvopastoriles, se ha trabajado con la *U. humidicola* como especie gramínea para asociarla con especies arbóreas como la *Acacia mangium* (*Acacia Mágica*), que al igual que las *Urochloas* coinciden en que se han desarrollado en condiciones muy difíciles sobre todo en suelos de baja calidad para cultivos forestales propiamente dichos, como para su integración con la ganadería, en SPV.

De la gran diversidad de especies forrajeras tropicales, sobresalen el género *Urochloa* por su adaptación, producción de materia seca y rendimiento animal (carne, leche y crías) de las diferentes especies y razas que lo consumen, en especial los bovinos. Asimismo, de existir más de 100 géneros de *Urochloas* sobresale la *Urochloa humidicola* por su adaptación a suelos saturados o inundados, además de tolerar bien largos períodos de sequía presenta una rápida recuperación, una vez que empiezan las lluvias. Adicionalmente, suele brindar un forraje de buena calidad y consumo según el manejo que reciba, en especial fertilización, carga animal y períodos de ocupación y descanso. Por tales cualidades este documento se enfoca al estudio de *Urochloa*, con particular atención en su adaptación a suelos inundados. Cabe señalar que, en México, existen alrededor de 1.7 millones de hectáreas que año tras año se inundan y ello afectan a los productores porque estas tierras quedan improductivas y solamente con el establecimiento de pasturas adaptadas al exceso de agua como las *Urochloas* en especial *Urochloa humidicola*, pueden obtener el beneficio de su ganadería.

Bibliografía

- Bolívar, D.M. (1998). *Contribución de Acacia mangium al mejoramiento de la calidad forrajera de Brachiaria humidicola y la fertilidad de un suelo ácido del trópico húmedo*. Tesis Mag. Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Experiencia profesional y archivos propios de los autores en Colombia Archivos propios de Cultura Empresarial Ganadera (CEG) Internacional R. Roche, J. Menéndez y J.E. Hernández (1990). Artículo: “Características morfológicas indispensables para la clasificación de especies del genero *Brachiaria*”. En: Revista Pastos y Forrajes, Vol. 13, No. 3.
- Escobar, M. & Rúa, M. (2017). *Brachiaria humidicola en la Ganadería Racional*. Publicaciones de Cultura Empresarial Ganadera (CEG) Internacional. 2017, Colombia.
- Hare, M.D., Pizarro, E., Phengphet, S., Songsiri, T. And Sutin, N. (2015). *Evaluation of new hybrid brachiaria lines in Thailand*. 1. Forage production and quality. Tropical Grasslands Volume 3: 83-93.
- Jarma, A., Angulo, M. et al., (2012). *Aspectos fisiológicos y bromatológicos de Brachiaria humidicola*. Ces. Med. Vet. Zootec. Vol.7 N°1.
- Miles, J.W., C.B. Do Valle, I.M. Rao And V.P.B. Euclides (2004). *Brachiaria-grasses*. p. 745-783. In: L.E. Moser, B.L. Burson, and L. E. Sollenberger (eds.) *Warm-season (C4) grasses*. Agron. Monogr. 45. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
- Miles, J.W.; B.L. Maass, Do Valle, C.B. con la colaboración de V. Kumble. *Brachiaria: biología, agronomía y mejoramiento* (1998). Embrapa-CIAT. Publicación CIAT N° 295. ISBN 958-9439-95-0.
- Pérez B., R. y Lascano, C.E. (1992). *Pasto Humidicola (Brachiaria humidicola)* Rendle Schweickt. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Boletín técnico No. 181 - Código: 08-2.2-181-92.

CAPÍTULO XI
PRODUCCIÓN DE LECHE
Y CARNE CON ESPECIES
FORRAJERAS TROPICALES

PRODUCCIÓN DE LECHE Y CARNE CON ESPECIES FORRAJERAS TROPICALES

Cuadro 33. Producción de carne en pastoreo con diversas especies forrajeras tropicales

Pastos	Carga animal (cab ha ⁻¹)	Ganancias de peso (g cab ⁻¹ día ⁻¹)	Producción de carne (kg ha ⁻¹)	Autor
Guinea	3.0	422	461	Garza, 1979
Guinea + kudzú	3.0	496	542	
Guinea	3.0	442	372	Garza, 1979
Guinea + kudzú	3.0	500	420	
Elefante	3.7	442	456	Peralta, 1991
Elefante + kudzú	4.0	496	554	
Pastos nativos	-	246	90	
Megathyrus maximun	-	383	182	
Andropogon gayanus	-	378	361	
Urochloa decumbus	-	397	263	
<i>Urochloa brizanta</i> + kudzú	-	644	704	

Cuadro 34. Producción de carne de diferentes pastos tropicales con y sin fertilización en el trópico mexicano

Especie	Carga animal cab ha ⁻¹	Ganancia de peso		Fertilización	Observaciones/Localidad	Referencias
		g an ⁻¹ día ⁻¹	Kg ha ⁻¹ año			
<i>M. maximum</i>		487	185	0	Cotaxtla, Veracruz, participación 1200 mm. Pastoreos de julio-enero	Garza, 1979
<i>P. markeri</i>		403	173	0		
<i>H. rufa</i>		186	199	0		
<i>D. eriantha</i>		421	327	0		
<i>E. polystachya</i>		493	356	0		
<i>U. mutica</i>		683	309	0		
<i>U. brizantha</i>	2	474	345	0	Hueytamalco, Puebla. Precipitación 2300 mm anuales	Treviño et al. 1976
<i>C. dactylon</i>	2	461	343	0		
<i>C. plectostachyus</i>	2	394	287	0		
<i>U. brizantha</i>	4	438	637	150 kg N ha		
<i>C. dactylon</i>	4	437	636	150 kg N ha		
<i>C. plectostachyus</i>	4	400	583	150 kg N ha		
<i>M. maximum</i>	2	584	465	0	Playa Vicente, Ver. Precipitación 2300 mm., 364 días de estudio.	Garza, 1979
<i>M. maximum</i>	4	537	834	150 kg N ha		
<i>D. eriantha</i>	3	-	300	0	Cotaxtla, Veracruz, precipitación 1200 mm. Promedio de dos años.	Garza, 1979
<i>D. eriantha</i>	5-6	-	574	100		
<i>C. plectostachyus</i>	2.56	383	358	0		
	3.04	433	481	100		
	3.8	288	538	200	Chontalpa, Tabasco. Precipitación suelos de aluvión.	Meléndez et al. 1980
	4.7	329	537	300		

Fuente: Compilado por Enríquez Q. (2001)

Cuadro 35. Producción de leche en praderas tropicales

Especie	Carga animal		Producción por		Fuente
	(Vacas ha ⁻¹)		Vaca(L día ⁻¹)	Hectárea (L)	
Urochloa dictyoneura	=		8.1	=	Lascano y Avila 1991
<i>U.dictyoneura</i> + <i>C. acutifolium</i>	=		9.5	=	
<i>U.dictyoneura</i> + <i>C. macrocapum</i>	=		10.0	=	
	=		9.2	=	
<i>Andropogum gayanus</i>	=		7.8	=	
<i>A. guyanus</i> + <i>acutifolium</i>	=		9.0	=	
<i>A. guyanus</i> + <i>C., macrocarpum</i>	=		8.1	=	
	=		8.3	=	
Bermuda	4		6.0	7560	Garza y Portugal 1978
Pangola	4		6.0	7560	
Guinea	4		5.9	7434	
			x=5.9		
Estrella Africana (1990)	2.9		7.7	2.23 ⁽¹⁾	Meléndez et al., 1980
(1991-92)	2.4		9.5	22.8	
Estrella + <i>A. pintoii</i> (1990)	2.9		3	25.5	
(1991-92)	2.4		10.8	25.9	
Estrella + <i>D. ovalifolium</i> (1990)	2.9		7.6	22	
(1991-92)	2.4		9.4	22.6	
			x= 8.9		
Bermuda (pastoreo intensivo)	4		8.8	10,284 ⁽²⁾	Treviño et al., 1976
Bermuda pastoreo semiintensivo	4		8.37	9,308 ⁽³⁾	
			x= 8.6		

(1): Producción/ha/día; (2): 292 días lactancia; (3): 278 días lactancia.

C: Centrocema, D: Demodium, A: Arachis.

Cuadro 36. Producción de carne en praderas con gramíneas y leguminosas tropicales

Pradera	Ganancia animal¹
	g¹ día⁻¹
<i>U. decumbens</i> - <i>D. ovalifolium</i>	182
<i>U. decumbens</i> - <i>P. phaseoloides</i>	358
<i>U. brizanta</i> - <i>D. ovalifolium</i> <i>P. phaseoloides</i>	277
<i>A. scoparius</i> - <i>P. phaseoloides</i>	122
<i>U. decumbens</i>	123

Fuente: (Siles et al., 1995)

Cuadro 37. Producción de carne en praderas tropicales

Especie	Días de pastoreo	Animales		kg ha⁻¹ año⁻¹
		ha⁻¹	Animal g día⁻¹	
* <i>D. eriantha</i>	364	3.3	390	468
* <i>D. eriantha</i> + <i>Leucaena</i>	364	3.3	488	585
+ <i>C. plectostachyurs</i> + <i>Leucaena</i>	393	2.9	460	523
+ <i>C. plectostachyurs</i>	393	1.6	269	169

*/ Garza et al., (1979), +/Sánchez et al., (1986)

Cuadro 38. Producción de carne por hectárea en praderas tropicales en la Costa de Chiapas

Pasto	Ganancia peso (g día⁻¹ cab⁻¹)			Producción de carne			Kg ha⁻¹
	Lluvias (5 cab/ha)	Secas (3 cab/ha)	— X	(kg ha⁻¹)			
				Lluvias (5 cab/ha)	Secas (3 cab/ha)	— X	Kg/ha Total
B. cruzado	542	384	488	544.7	188.9	279	733.6
Pangola	495	303	403	475.2	157.2	229	632.4

Fuente: Palomo, Vázquez y Román (1979)

Cuadro 39. Producción de leche en vacas alimentadas con heno de jaragua (*Hyparrhenia rufa*) suplementada con urea o con follaje de *E. peoppigiana* o de *G. sepium*

Parámetro	<i>Erythrina peoppigiana</i>	<i>Gliricidia sepium</i>	Urea
Ración 1 (kg MS vaca⁻¹ día⁻¹)			
Heno de jaragua 2	3.95	3.95	4.57
Melaza	1.71	1.71	2.15
Semolina de arroz	1.94	1.94	2.28
Suplemento proteico	1.63	1.63	1.12
Producción de leche (kg/vaca/día)	7.3	7.4	6.7
Composición de leche (%)			
Grasa	3.4	3.4	3.5
Proteína	2.9	2.9	2.8
Sólidos totales	11.9	11.8	11.9
Ingreso (US\$ vaca⁻¹ día⁻¹)			
Bruto	1.9	1.92	1.74
Neto	1.08	1.10	0.88

Raciones isonitrogenadas e isoenergéticas

Bibliografía

- Alarcón, Z.B., J. Pérez P., G. Barcenás R. y G. Mendoza M. (1994). Acceso de toretes en engorda a bancos de proteína de Kudzú (*Pueraria phaseoloides*) bajo pastoreo de estrella de África (*Cynodon plectostachius*). XIV Congreso panamericano de ciencias veterinarias. Acapulco, México. p. 245.
- Enríquez, Q.J.F. (2001). *Los forrajes del trópico húmedo de México: conocimiento actual e investigación futura*. En: J. Pérez P., A. Hernández G. y A. Gómez V. Los forrajes en México, presente y futuro. XXII Aniversario Colegio de Posgraduados. Montecillo, Méx. pp. 1-24.
- Garza, T.R. (1979). *Producción de carne en el trópico húmedo de México*. En: L.E. Tergas y P.A. Sánchez (Eds). *Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos*. CIAT. pp. 309-320.
- Garza, T.R., G. Portugal y S. A. Aluja (1978). *Tec. Pec. Mex.* 32, pp. 17-22.
- Lascano, C., Estrada, J. and Avila, P. (1989). *Animal production of pastures based on Centrosema spp. in the eastern plains of Colombia*. In: Proceedings of the XVIth International Grassland Congress, Nice, France. AFPF, Versailles, France, pp. 1177-1178.
- Meléndez, N.F., J.A. González M. y J. Pérez P. (1980). El pasto estrella africana. Boletín CA-7. Colegio Superior de Agricultura Tropical. Cárdenas, Tabasco, p. 99.
- Peralta, M.A. (1991). *Praderas tropicales para la producción de leche: situación actual y perspectivas*. Memoria. Seminario Internacional sobre lechería tropical. Villahermosa, Tabasco. Pp. 91-108.
- Pezo, D., M. Ibrahim (1996). *Sistemas silvopastoriles: una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos*. En: FIRA, Banco de México (Ed.)

1er Foro Internacional sobre pastoreo intensivo tecnificado en zonas tropicales. Veracruz, Méx. pp. 39.

Palomo, S.J., J. Vázquez, G. y A. Román M. (1979). *Producción de carne en trópico húmedo y en pradera de bermuda cruce uno (C. dactylon x C. nlemfuensis) con fertilización y tres cargas animales*. VII Reunión Anual ALPA. 14: 87-88. Panamá, Panamá.

Siles, N. A. Vallejos, A. Ferrufino y J. Espinosa. (1995). *Pasturas Tropicales*. 17(3): 27-31

Sánchez, A. R., C. F. Carrete y J. A. Eguiarte. (1986). *Tec. Pec. Mexc.* 40: 69-82.

Treviño, S.M., T.R. Garza y D.C. Robles (1976). *Producción anual de carne por hectárea en grama nativa Axonopus Paspalum en pastoreo rotacional, con fertilización al pastizal y suplementación al ganado*. *Tec. Pec. Méx.* 30: 7-11.

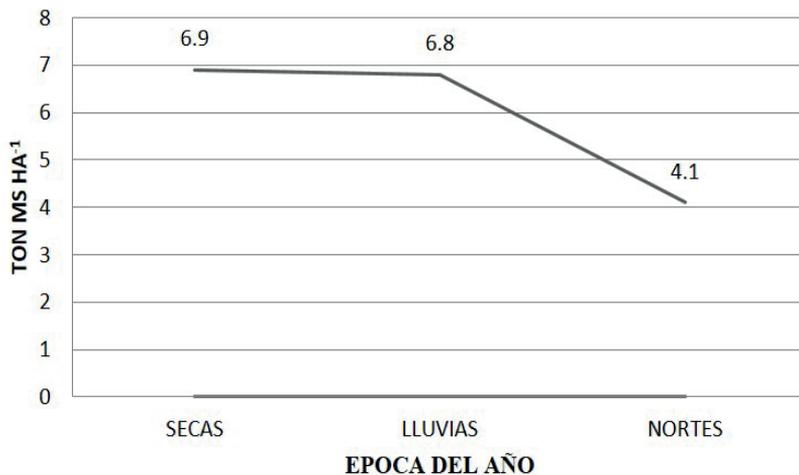
CAPÍTULO XII
LA PRODUCCIÓN DE
FORRAJES EN LA TIERRAS
BAJAS DEL TRÓPICO HÚMEDO
DE MÉXICO

LA PRODUCCIÓN DE FORRAJES EN LA TIERRAS BAJAS DEL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO

El comportamiento de los forrajes tropicales, así como el ganado que pastorea en las tierras bajas de Tabasco y norte de Chiapas muestra unos comportamientos diferentes a lo que sucede en otros ecosistemas no indudables.

En primer término, hay que señalar que en la region del golfo de Mexico, y más específicamente en los Estados de la region sureste de Mexico, se diferencias tres épocas del año; Lluvias que contempla en general los meses de junio a octubre, nortes que comprende los meses de noviembre a febrero y la temporada de seca que va de febrero a mayo, lógicamente dentro de esta amplia region hay diferencias en la duración de cada época. En cada una de estas existen diversas variantes climáticas que lógicamente influyen directamente en el comportamiento de plantas animales. Variables climáticas como cantidad de lluvias, temperaturas promedio, duración del día y vientos que tienen un efecto directo.

Gráfica 1. Rendimiento en t MS ha⁻¹ del pasto Chetumal (*Urochloa humidicola*) en un suelo con drenaje semi deficiente en Tabasco

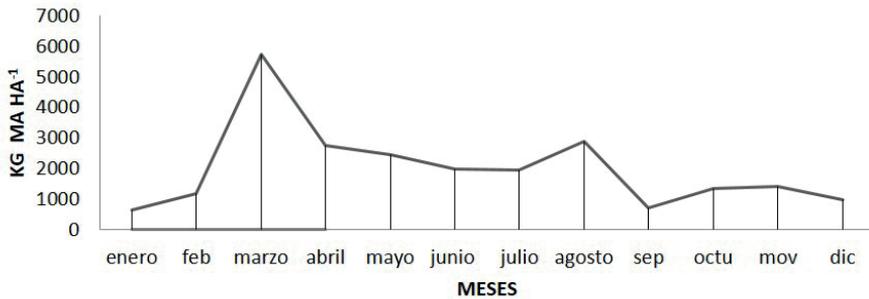


Fuente: Meléndez (1999).

Uno de los pastos más populares entre los ganaderos del trópico fue Estrella de África (*C. plectostachyus*), en la Gráfica 1 vemos que esta especie forrajera está en un suelo con bajo nivel de encharcamientos durante la época de nortes, presenta su producción de forraje más baja del año, mientras que en la temporada de lluvias y nortes prácticamente se presenta un mismo rendimiento de MS, pero si analizáramos la eficiencia diaria de producción de forraje diaria, se vería que Estrella de África produce más forraje por día en la época de secas que en lluvias (Gráfica

2), esto se atribuye a tres causas: la humedad retenida por el suelo, las temperaturas y la duración del día con más horas luz.

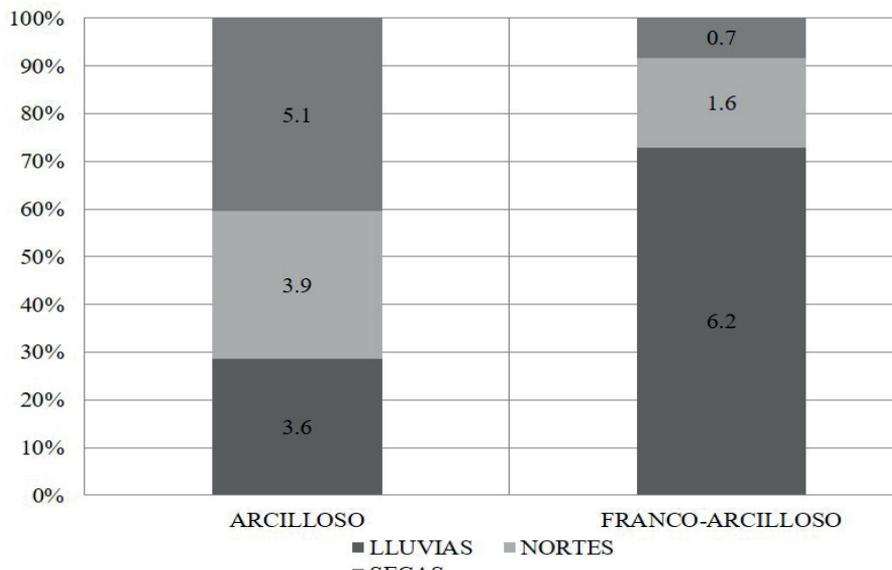
Gráfica 2. Distribución mensual de la producción de forraje de Estrella de África



Fuente: Meléndez et al. (2000).

Otra especie que se considera una maleza pero que en la actualidad varios ganaderos han optado por aprovecharla en pastoreo a pesar de su bajo valor nutritivo, ante la dificultad que presenta su erradicación es el denominado Camalote (*Paspalum fasciculatum*). En la Gráfica 3 se ve que en suelos con texturas que predominan las arcillas este pasto en la época de Nortes presenta sus producciones de t MS ha⁻¹ más altas, mientras que en texturas de suelos que no se inundan el pasto presenta la mayor producción de forraje durante la temporada de lluvias.

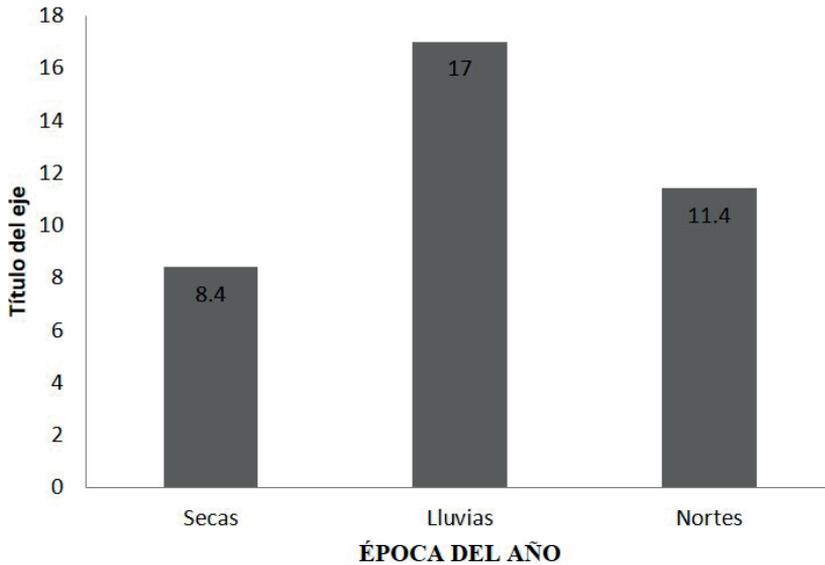
Gráfica 3. Producción de forraje de camalote (*Paspalum fasciculatum*) por época del año (t ha⁻¹) en dos tipos de suelos.



Fuente: Sánchez (2008).

Un pasto típico de cultivar en terrenos de inundaciones intermitentes es *Bigalta* (*Hemarthria altissima*), la cual presenta sus rendimientos de forraje durante la época de Lluvias, con un buen nivel de producción durante los Nortes (Gráfica 4), que es la época donde hay temperaturas más bajas, saturación del suelo de humedad, y días cortos.

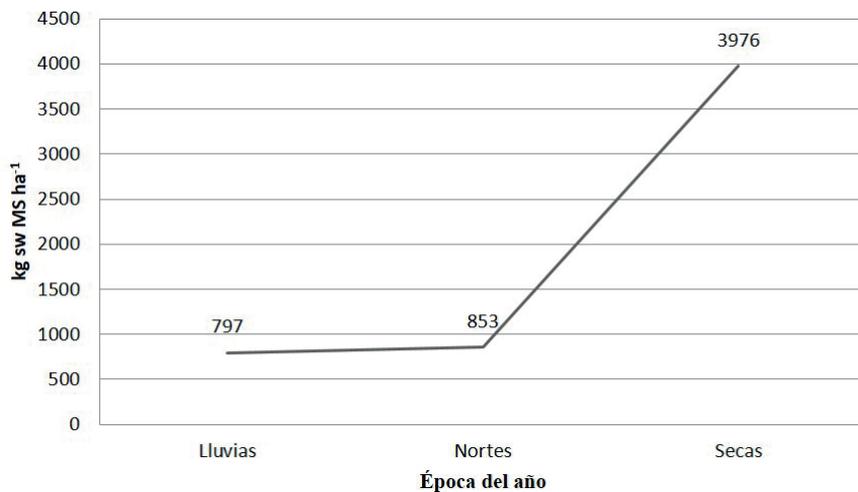
Gráfica 4. Producción de forrajes por época del año del pasto Bigalta



Fuente: Castro (1990)

Una especie forrajera natural, muy apreciada por los ganaderos de la zona del golfo de Mexico, y que es típica de los terrenos inundables es el denominado Azuche o Yacomel (*Hymenanchne amplexicauli*), como se puede ver en la Gráfica 5, es un pasto típicamente de uso y producción de forraje estacional, pues casi el 70 % de su producción se tiene durante los primeros meses de la época de secas.

Gráfica 5. Producción de forraje de pasto Azuche (*Hymenanchne amplexicaulis*) por época del año.



Fuente: Meléndez (1999).

El comportamiento de los animales de engorda en pastoreo, como podemos ver hay variaciones entre pastos y su comportamiento por época de año, también teniendo un efecto la textura del suelo. Así podemos ver (Cuadro 40) como en el pasto alemán los animales por el lodo tienen las más bajas ganancias de PV por animal por día, mientras que en las épocas de lluvias y secas las ganancias fueron similares. En pasto Egipto o Para es en nortes cuando tiene sus mejores ganancias de PV y las bajas en secas, mientras que el Bigalta presento similares ganancias por animal en las tres épocas, en Pasto Estrella se aprecian las mayores ganancias en secas y las más bajas en la época de nortes.

Cuadro 40. Ganancias de P.V en gramos por animal/día de toretes de engorda de 3 pastos por época del año.

ÉPOCA	ALEMÁN	PARA	BIGALTA	ESTRELLA
LLUVIAS	580	697	460	528
NORTES	180	740	437	321
SECAS	571	340	470	844

Fuente: Meléndez (1999)

Cuadro 41. Principales gramíneas que utilizan en tierras inundables del trópico mexicano.

Nombre(s) común(es)	Nombre Científico	Estatus	Requerimiento de Humedad
Alemán	<i>Echinochloa polystachya</i>	Nativo	Alto y permanente
Azuque o Yacomel	<i>Hymenanchne amplexicaulis</i>	Nativo	Alto y permanente
Lamedora o Lamedora	<i>Leersia hexandra</i>	Nativo	Alto y permanente
Gramma Amarga	<i>Paspalum conjugatum</i>	Nativo	Encharcamientos no permanentes
Camalote	<i>Paspalum fasciculatum</i>	Nativo	Encharcamientos no permanentes
Pajon de sabana	<i>Paspalum plicatum</i>	Nativo	Inundación intermitente
Remolino, Frente de Toro, Bahía	<i>Paspalum notatum</i>	Nativo	Encharcamientos no permanentes
Egipto o Para	<i>Urochloa mutica</i>	Introducido naturalizado	Alto y permanente
Bigalta	<i>Hemarthria altissima</i>	Introducido	Inundación intermitente
Alicia	<i>Cynodon dactylon</i>	Introducido	Puede soportar inmersiones de 2 meses
Estrella de África	<i>Cynodon plectostachyus</i>	Introducido -naturalizado	Encharcamientos no permanentes
Tanner	<i>Urochloa arrecta</i>	Introducido	Alto, pero prefiere temporal
Cayman	<i>U. ruziziensis X U. brizantha X U. decumbens</i>	Introducido	Encharcamientos no permanentes
Humidicola o Chetumal	<i>U. humidicola</i>	Introducido	Encharcamientos no permanentes
Cacahuatillo	<i>Arachis pintoi</i>	Introducido	Encharcamientos no permanentes
Frijol de agua	<i>Macroptilium lathyroides</i>	Nativo	Alto y permanente
Kudzu	<i>Pueraria phaseoloides</i>	Introducido	Encharcamientos no permanentes

Fuente: Meléndez et al. (2000).

12.1 Características de la especies forrajeras de áreas inundables

Pasto alemán.

Nombre científico: *Echinochloa polystachya*. (Kunth) Hitchc.

Familia: *Poaceae*, subfamilia: *Panicoideae*, tribu: *Paniceae*

Sinónimos: *Echinochloa spectabilis* (Nees ex Trin.) *Pseudochinolaena polystachya* (H.B.K.) *Iplismenus polystachyus* Kunth.

Existen dos cultivares de este pasto: el Coapim, que fue introducido en el Continente Australiano en 1900, y el Amity (CPI 61147), colectado en el Delta del Orinoco en Venezuela e introducido a Australia. En el estado de Tabasco hay otro cultivar, al cual se le denomina Alemán Azul o Camalote de Agua, el cual tiene tallos más largos y crece en sitios donde las láminas de agua son mayores, o bien, en la orilla de ríos, arroyos o lagunas. Sin embargo, se desconoce si es un *E. polystachya*. Asimismo, hace más de 30 años, el Colegio Superior de Agricultura Tropical (CSAT) el cual se ubicaba en el Municipio de H. Cárdenas Tabasco, introdujo y evaluó un cultivar proveniente del estado de Florida, EE. UU. (Bravo, 1980).

Características morfológicas: *E. polystachya* es una especie cultivada que próspera del nivel del mar hasta los 100 m de altitud, en las áreas bajas del golfo de México, es una especie perenne, que soporta inundaciones frecuentes y prolongadas. Cuenta con un sistema radicular profundo con abundantes rizomas, los que originan la formación de una cobertura gruesa y compacta que permite que lugares pantanosos se trasformen en pradera. Los tallos de este pasto pueden alcanzar hasta 3 m de altura, de textura suave y de grosor variable dependiendo del estado fonológico de la planta, y presenta largos entrenudos glabros. Los

nudos de los tallos pueden ser glabros o pubescentes de color oscuro. Sus hojas son largas, de 40 a 60 cm, y angostas, de 10 a 25 mm, con pelos en las márgenes. La lígula presenta un borde de pelos amarillos de 4 mm de largo. Las panículas son de 15-25 mm de longitud, densas, con ramas cortas, gruesas y ascendentes. Además, cuenta con espiguillas lanceoladas de 5-7 mm de largo; flósculo superior hermafrodita de 5-6 mm de largo, con arista de 5-7 mm de largo; y el flósculo inferior estaminado con aristas en el lema de 7.17 mm de largo. El cultivar *Amity* difiere del Alemán común en que sus tallos en la floración alcanzan de 100 a 200 cm de largo, con 7 a 10 nudos, son glabros; lígula con pilosidad, de 1-1.5 mm de largo; lámina foliar de 30-36 cm de largo, y de 10-12 mm de ancho; panícula en un eje de 20 a 30 cm de largo; espiguillas de 4.5-5.5 mm de largo y 1.7-2.0 mm de ancho.

Origen: Se localiza en los márgenes de ríos, esteros y partes bajas inundables o pantanos, desde la costa de Luisiana en EE. UU., hasta Argentina en la Costa Atlántica (Hitchcock, 1951). También se encuentra en la mayor parte de las islas del Caribe y actualmente está naturalizado en el sureste de África Tropical, Asia Tropical y noreste de Australia. En México, si bien se ha cultivado ampliamente, se le considera como una especie nativa. Se localiza principalmente en regiones inundables del sureste de México, sobre todo en los estados de Tabasco, Veracruz, norte y costa de Chiapas, sur de Oaxaca y norte de Campeche. Su mejor desarrollo y producción lo tiene en suelos de fertilidad media a alta. En Tabasco tiene un excelente crecimiento en suelos Gleysoles. Se adapta a suelos de pH 4.0 a 8.0 y tiene cierta resistencia a la alcalinidad; es altamente tolerante al mal drenaje, de hecho, es el ecosistema donde tiene su óptimo desarrollo. También se ha determinado que el pasto Alemán puede soportar ciertos niveles de salinidad del suelo (Meléndez 1988).

Su hábitat natural son los humedales, pero puede crecer bajo condiciones de muy alta precipitación (>3000 mm). En general, no hay un buen crecimiento en condiciones de sequía, a menos que haya un nivel freático alto, o el suelo conserve humedad de reserva. Tiene la capacidad de volverse a restablecerse a partir de tallos y rizomas con las inundaciones posteriores. Normalmente, crece en láminas de agua de un 1 m de profundidad, pero puede persistir por períodos cortos en aguas más profundas de hasta 3 m. Crece mejor en áreas saturadas o inundadas estacionalmente, cuando las inundaciones pueden presentarse durante 7 meses o todo el año. Su mejor desarrollo lo presenta bajo un rango de temperaturas de 26°C a 36°C , no tolera las heladas. La producción de semillas es pobre, con muy pocas o ningunas semillas viables. Su época de floración en la región del golfo de México, se presenta cuando los días empiezan a ser cortos, de finales del mes de septiembre a principios del mes de febrero (básicamente durante la temporada denominada de “nortes”). Durante esta época prácticamente el pasto no tiene crecimiento, el desarrollo de tallos y hojas más que todo se debe a la elongación de los diferentes tejidos.

El pasto Alemán es de alta palatabilidad, pero el acceso del ganado puede ser limitado por la profundidad del agua. Los bovinos tienen mejor acceso cuando los niveles de inundación estacional retroceden. Puede ser pastoreado o conservado cuando la superficie del suelo está seca. En estudios realizados en la zona costera de la región de La Chontalpa, Tabasco, se encontró que el pasto Alemán puede soportar ciertos niveles de salinidad del suelo, como puede verse en el Cuadro 42. Con la presencia de niveles de conductividad eléctrica por arriba de 2 mmhos/cm hay reducciones de la producción de forraje de alemán de un 5 a 11 %; con niveles por arriba de 9, la reducción puede ser de un 50 % a 80 %; y ya con niveles de conductividad superiores a 15 mmhos/cm, la planta tiene problemas de persistencia.

Cuadro 42. Rendimiento de pasto Alemán en g de MS maceta⁻¹, en suelos con diversos niveles de salinidad provenientes de la zona costera de La Chontalpa, Tabasco

Localidad	C.E. mmhos cm ⁻¹	g MS maceta ⁻¹
Testigo	1.17	35.8 (100%)
Las Flores 1	9.28	7.6 (21.2%)
Las Flores 2	2.53	33.9 (94.7%)
El Triunfo 1	12.37	18.8 (52.4%)
El Triunfo 2	2.18	28.2 (78.8%)
San Pedro	14.84	2.8 (7.8%)
Encrucijada 3 ^a	0.58	27.1 (75.7%)

Fuente: adaptado de Meléndez et al., 1988. Valores entre paréntesis representan el porcentaje de producción respecto al testigo.

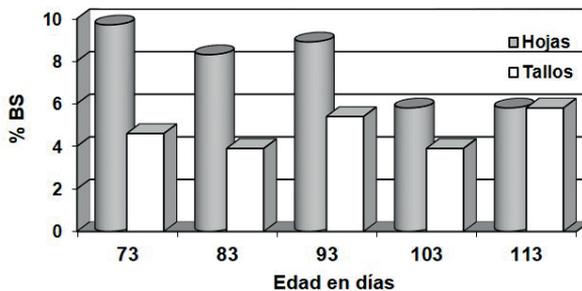
Propagación: Bajo las condiciones en que prospera este pasto en México, la semilla que se produce no es viable, aunque algunas pocas semillas pueden serlo, lo cual no se ha comprobado. Por ello, para establecer el pasto Alemán tradicionalmente se tiene que hacer por medios vegetativos y puede ser usando cepas o estacas. Cuando la siembra se realiza empleando estacas, es conveniente que éstas tengan una madurez de 10 a 12 semanas, el periodo de siembra más conveniente es en los meses de junio a julio o enero y febrero en zonas donde se tienen precipitaciones en diciembre y enero. Esto se debe a que, a partir del mes de septiembre, por condiciones de respuesta al fotoperiodo, el pasto Alemán inicia su floración, la cual se prolonga hasta el mes de enero, y por lo tanto el pasto si bien puede “prender”, su crecimiento es sumamente lento y tardará más tiempo la pradera en tener la cobertura ideal para ser pastoreada. En promedio se requieren 1.5 ton de material vegetativo pero esto estará relacionado al material que se use y la distancia de siembra.

Plagas y enfermedades: Puede ser afectado por salivazo o mosca pinta, cuando no hay una lámina de agua presente en el terreno donde crece. Puede ser dañado por hongos del género *Ustilago trichophora* y por manchas de las hojas provocadas por *Bipolaris spp*, *Cervospora spp* y *Curvularia lunata*, lo cual no es frecuente ni de importancia económica.

Valor nutritivo: El pasto Alemán, es de los forrajes tropicales de buena calidad nutritiva. Su rango de proteína cruda varía de un 13 a 18 %; en hojas muy tiernas es posible encontrar hasta un 22 % de proteína. La digestibilidad de la MS esta entre un 55 a 63 %, se le considera una especie forrajera muy palatable.

Como la gran mayoría de los pastos tropicales, las hojas normalmente tienen contenidos mayores de proteína que los tallos (Gráfica 6); incluso a edades de 70 a 90 de rebrote este pasto puede presentar valores de proteína por arriba del 8%, en plantas más jóvenes es posible obtener mayores contenidos de proteína, pero el forraje tendrá más agua y los rendimientos de MS ha⁻¹ serán más bajos.

Gráfica 6. Contenido de proteína de pasto Alemán a diferentes edades.



Fuente: Bravo (1980)

En el Cuadro 43 se puede apreciar el contenido de algunos de los principales nutrientes en el pasto Alemán.

Cuadro 43. Contenido nutrimental de pasto Alemán.

Nutrimento-Unidades	Valor
Fibra Detergente Neutro - % MS	68.3
Lignina - % FDN	4.7
Proteína Cruda - % MS	9.3
Proteína Soluble - % PC	29.6
N no proteico - % P Sol	74.8
Proteína Fibra DN - % CP	25.6
Almidón - % azúcares no estructurales	38.4
Cenizas - % MS	12.3

Fuente: adaptado de Juárez et.al., 2002.

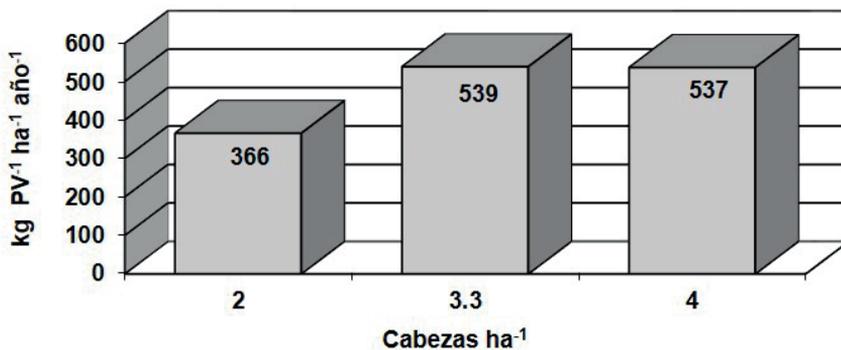
Rendimiento de forraje: Este pasto puede producir en Sudamérica entre 8 y 12 t MS ha⁻¹ anualmente y para Australia de 10 a 20 t ha⁻¹ de producción de forraje. Cuando este pasto se desarrolla en condiciones apropiadas y es fertilizado, puede alcanzar producciones de alrededor de 20 t MS ha⁻¹ por año en las zonas más húmedas del Sureste de México. Sin embargo, el hábitat natural donde se desarrolla muchas veces puede limitar el aprovechamiento óptimo bajo condiciones de pastoreo.

Producción animal: El pasto Alemán es una especie que se puede clasificar como un forraje de muy buena calidad nutritiva y con posibilidades de altos niveles de producción de forraje. El problema principal que se tiene, así como sucede con otros pastos que se desarrollan en suelos con láminas de agua constante, o que están sujetos a condiciones de exceso de humedad por largos periodos, o a suelos saturados de humedad

(lodo), es el manejo de los animales en pastoreo, ya que esta condición puede provocar estrés en los animales, y muchas veces perjuicio a las plantas y al mismo suelo por los efectos mecánicos del pastoreo. En praderas o localidades donde las láminas de agua son profundas durante la época de lluvias o nortes, el mejor y más eficiente aprovechamiento de la pradera en pastoreo es durante la época de sequía, que es cuando el animal puede realizar mejor su actividad de pastoreo, debido a la condición presente del suelo y si bien no hay lluvia, en el suelo muchas veces hay reserva de humedad que le permite al pasto tener altas tasas de crecimiento del forraje.

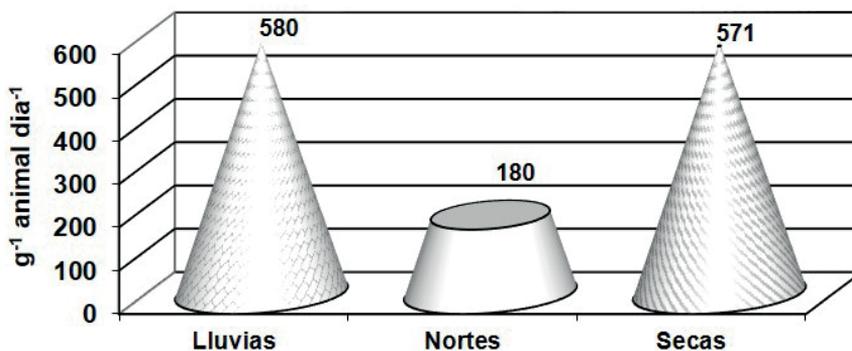
Sobre la producción de carne, se tiene que las ganancias de peso vivo más elevadas fueron de 539 kg ha⁻¹ por año (Gráfica 7) con una carga de 3.3 cabezas ha⁻¹, según un estudio realizado en zonas bajas del estado de Tabasco (Moreno, 1976).

Gráfica 7. Ganancias de peso ha⁻¹ año⁻¹ de novillos en pastoreo de Alemán en diversas cargas animal



Es muy importante la producción de los animales en pastoreo, por época del año. Durante la época de nortes en muchas zonas del golfo es cuando se tienen las inundaciones más fuertes de los terrenos, además de que hay otros factores climáticos que tienen un efecto negativo sobre el crecimiento de los pastos, como son las bajas temperaturas, días más cortos y la alta incidencia de nubosidad. Es en esta época cuando se observaron las ganancias por animal más bajas (*Gráfica 8*), de 180 g diarios por novillo, en la época de lluvias y nortes son similares, por arriba de los **550 g diarios por novillo**.

Gráfica 8. Ganancia día-1 de peso de novillos por época en pastoreo de Alemán.



Fuente: Moreno (1976)

Pasto azuche

Nombre científico: *Hymenachne amplexicaulis* (Rudge) Nees.

Familia: *Poaceae*, Subfamilia: *Panicoideae*, Tribu: *Panicaceae*.

Sinónimos: *Agrostis monostachya* Poir, *Hymenachne acutigluma* (Steud) Gill, *Panicum amplexicaule* Rudge, *Panicum hymenachne* Desv, *Panicum perdensum* Steud. De acuerdo con Bogdan (1997), el género *Hymenachne* comprende ocho especies. Sin embargo, Cotecoca (1991) señala que está conformado por diez. Otros nombres comunes con los que se le conoce en México son: Yacomel, Azuchil, Zacate de laguna, Manatí, Zacate de agua, y zacate tortuga.

Características morfológicas: El *H. amplexicaulis* es una especie perenne, que emite estolones de hojas verde brillantes, en gran parte glabras, vainas a menudo esponjosas, hojas sobre todo linear-lanceoladas, 10-45 cm de largo y más de 3 cm de ancho, glabras acuminadas y cordadas que se angostan hacia la base de la aurícula, de márgenes escabrosos en la parte superior. Tallos glabros y gruesos (más de 12 mm) de espesor, hasta de 3.5 m de largo, decumbentes que pueden flotar en el agua y con raíces (adventicias) en los nudos inferiores, el interior es esponjoso con aerénquima estrellado de nudos glabros, vainas con pulvínulos evidentes, lígula constituida por una membrana delgada de 1 a 2.5 mm de largo de color café. Aurículas abrazantes con pelos papilosos en el margen. Panícula tipo espiga, densa y solitaria, mide de 10 a 50 cm de largo, por 1 a 2 cm de grueso, con ramillas cortas y ascendentes, interrumpidas en la parte inferior, pedúnculo glabro, frecuentemente incluido en la vaina superior, espiguillas de 3.5 a 5.5 mm de largo, densamente aglomeradas, lanceoladas, acuminadas con un pedicelo corto; primera y segunda glumas escabrosas en los nervios, la primera de 1 a 1.7 mm de largo, ovada 3-nervada y, a veces, caudada; la segunda de 2.8 a 3.9 mm de largo, 5-nervada, separada de la primera por una raquilla prolongada hasta de 0.5 mm de largo; lema estéril de 3.6 a 4.6 mm de largo, 5-nervada, escabriúscula en los nervios y con un acumen largo; lema fértil de 2.5 a 3.5 mm de largo, papirácea y acuminada, con márgenes delgados no enrollados; palea

libre en el ápice (Cotecoca, 1991). *H. amplexicaulis* se liberó oficialmente en 1988, en Australia, con el número de registro A-24a-1, como cultivar, Olive. Dicho cultivar fue introducido de Venezuela a Australia como *Echinochloa imbricata*, pero se sospecha que es originaria de Haití o República Dominicana. No se han encontrado cultivares o variedades reportadas en los Estados Unidos de América, ni en otras partes del mundo.

Origen: *H. amplexicaulis*, es nativo de zonas bajas húmedas del trópico de México, Centro y Sudamérica (Watson y Dalwitz, 1992). En la mayoría de los países de esta región, con excepción de las regiones de latitudes más sureñas de Chile y Argentina, su diversidad natural ha sido escasamente estudiada en aspectos morfológicos, agronómicos y citológicos. Azuche crece en los remansos de ríos, arroyos y terrenos bajos con inundaciones temporales, principalmente. No se ha observado en zonas de marismas, como manglares y con condiciones intermitentes de presencia de sales. Su distribución en México es consignada en las zonas tropicales desde Sinaloa hasta Chiapas, en el Pacífico, y desde Tamaulipas a Quintana Roo, en el Atlántico (Cotecoca, 1991). Enríquez (2005) realizó un estudio en las zonas ganaderas de México, en especial para la región Tropical, el cual tuvo como objetivo coleccionar ecotipos de *H. amplexicaulis* en el país, realizar su caracterización morfológica y hacer una evaluación preliminar de las aptitudes forrajeras en los materiales con mejores atributos. Tanto en la región del golfo como del Pacífico se reunieron un total de 90 ecotipos, y los estados donde se alcanzó el mayor número de colectas fueron Tabasco (34) y Veracruz (24), o sea, 64 % del total de los ecotipos fueron colectados en estos dos estados. Sin lugar a dudas es altamente posible que el número de materiales existentes sea mayor. Otro punto a destacar es que se encontraron más ecotipos en la región del golfo que en la del Pacífico.

Requerimiento Edafoclimatico: El Azuche crece bien en arcillas fértiles, estacionalmente inundadas, aunque la distribución está más determinada por la disponibilidad de agua que por la textura del suelo. Es una especie propia de humedales, que habita en los márgenes de los pantanos, llanuras de inundación de ríos y canales de drenaje, sobre todo en el agua, a 2 m de profundidad, y en ocasiones se extiende en el agua a 4.3 m de profundidad. Puede ser cultivada en zonas que se inundan de forma natural o artificial. En las llanuras aluviales inundadas estacionalmente, se necesita más de 1 m de agua durante la estación húmeda para que pueda persistir. Tiene baja tolerancia a la salinidad y a la sequía, no se extiende más allá de zonas húmedas. Esta ampliamente adaptada a la inundación, debido a su rápida elongación de tallos, producción de nuevas hojas sobre la superficie del agua, presencia de aerénquima y de raíces adventicias. Estas características hacen que Azuche sobreviva y crezca en aguas profundas y produzca una gran cantidad de biomasa, la cual posteriormente estará disponible para el ganado, durante la época seca (Kibbler y Bahnisch, 1999).

En su estudio sobre las colectas de Azuche, Enríquez (2005) reporta que el 94 % de los materiales se recogieron en sitios de una altitud desde el nivel del mar hasta 100 msnm; solo dos ecotipos fueron colectados en la región de los Altos del estado de Chiapas, en el municipio de Comitán, a 619 y 853 msnm. Además, los rangos de precipitación en toda la zona de colectas fueron de 930 a 3332 mm de lluvia anual.

Este pasto se propaga mediante movimientos del material vegetativo flotante por la corriente de agua y se reproduce por la semilla que es trasladada por el agua. Azuche actúa como filtro natural, atrapando sedimentos y nutrimentos, reduciendo pérdidas de éstos, en estanques o corrientes temporales (NWSEC, 2000). *H. amplexicaulis* es un valioso forraje para la estación seca. El pastoreo en otras épocas del año puede tener efectos

nocivos debido al pisoteo y el desarraigo de las plantas. Se estima una capacidad de carga de un animal por 1.5 a 2 ha. En Australia y otras regiones del mundo se emplea para el pastoreo de bovinos y búfalos.

Propagación: En México, hasta donde hay conocimiento, no es una especie que los ganaderos siembren o cultiven directamente, sino que la utilizan en sitios donde crece en forma espontánea y natural. Se puede propagar de manera artificial por semilla y material vegetativo. Por medio vegetativo, la siembra se puede realizar empleando guías o estolones que tengan de 3 a 5 nudos al menos. También se puede llevar a cabo empleando semilla, pero hay que tener en consideración que si bien la semilla tiene una buena germinación, ésta se pierde con rapidez cuando en las regiones tropicales se almacena bajo las condiciones del medio ambiente.

Plagas y enfermedades: Azuche es susceptible al ataque de *Ischnodemus variegatus*, Signoret (*Hemiptera: Blissidae*), plaga de amplia distribución en América Latina. Los daños de la plaga son notorios durante el mes de septiembre. Algunas de las plagas que atacan al cultivo de arroz, en ocasiones también pueden provocar daños a las plantas de Azuche. En Brasil, se han detectado dos hongos parásitos que afectan a este pasto: *Curvularia lunata* y *Phyllachora* sp., los cuales se asocian con manchas en hojas y manchas de alquitrán, respectivamente.

Valor nutritivo: La mayoría de las especies forrajeras tropicales, de importancia para la alimentación animal y adaptadas a condiciones de suelos inundables son, en general, de la ruta fotosintética C_4 . Azuche y Lambedora (*Leersia hexandra*) son plantas C_3 . En Venezuela, González y Piña (1995) mencionan que el pasto Azuche tiene concentraciones de proteína de 19 % y una digestibilidad de 61 % de la MS y 6 % de lignina, después de la floración. Hill (2000) observó una variación en el contenido de proteína cruda de 13 % a 30 %. En Australia, Azuche

registró contenidos de proteína de 11 % y 14 %, sin fertilización, y con 55 kg N ha⁻¹ respectivamente. En México, Meléndez (1999) reporta contenidos de proteína que varían de 8 % a 10 % en plantas de Azuche cosechadas a 60 días de rebrote. Sobre la digestibilidad de la MS, esta puede variar de un 66 % a 80 %. En el Cuadro 44 se presenta un concentrado de la composición química de Azuche, aunque existe gran variabilidad en la información, los datos evidencian claramente que Azuche, por ser una planta C₃, se encuentra entre las especies con mayor valor nutritivo en comparación con especies C₄.

Cuadro 44. Composición química del pasto Azuche

Especie	Estado vege- tativo	MS	PC	DIV	FC	FDN	EE	ELN	Ceni- zas
<i>H. am- plexicau- lis</i>	-----		11						
	Parte aérea	17.3	12.4				1.7		
	Prefloración		10.8		33.6		2.9	43.3	9.4
	-----	13.9	21.2			65.6			
	Hoja		22.6		32.4		2.8	35.0	12.2
	Tallo		8.9		36.7		1.0	41.9	11.5
	Parte aérea		15.8		34.6		1.9	38.3	9.4
	Floración		9.4		22.1		2.3	54	12.2
	Heno floración		7.5		29.2		1.4	49	12.9
	Silo floración		6.9		27.8		1.8	45.6	17.9
	-----		15.1		31.5				11.9
Postfloración		18.6	61.4						

MS = Materia seca; PC = Proteína cruda; DIV = Digestibilidad *in vitro*; FC = Fibra cruda; FDN = Fibra detergente neutro; EE = Extracto etéreo; ELN = Extracto libre de Nitrógeno.

Fuente: adaptado de Camarao et al., 2004.

Rendimiento de forraje: La producción de forraje de los pastos nativos o introducidos en áreas inundables depende de muchos factores, como clima, fertilidad del suelo, especie, subsistencia y profundidad de la inundación, entre los más importantes.

En México, Meléndez (1999) estudió la producción de materia seca de Azuche y reporta rendimientos de 5.6 t MS ha⁻¹ año, cosechado cada 45 días, con una distribución estacional del rendimiento de 70.6%, 14.2% y 15.2%, en las épocas de seca, lluvias y nortes, respectivamente. La producción anual de forraje en Venezuela ha sido reportada en un rango de 8.5 a 16.5 t ha⁻¹ y, durante la época de seca, de 6.4 t ha⁻¹ (Tejos, 1980). González y Piña (1995) obtuvieron rendimientos de materia seca de 6.8 t por año con el pato Azuche, en otro estudio conducido den un humedal de Venezuela reportan una producción primaria de *H. amplexicaulis* de 822 g MS m²⁻¹, observando la producción más baja en el mes de diciembre, y la más alta en agosto (Gordon y Feo, 2007). Un aspecto que hay que destacar y que guarda una estrecha relación con los rendimientos de MS ha⁻¹ relativamente bajos que presenta el Azuche es su alto contenido de humedad.

Producción animal: En Venezuela, se encontró que Azuche mostró una alta preferencia por bovinos, equinos y capibaras, chigüiro o chigüire (*Hydrochaeris hydrochaeris* L.) presentes en la vegetación estudiada (Escobar y González, 1976). En Brasil, las gramíneas que crecen en zonas inundables se aprovechan mediante pastoreo con búfalos de agua, los cuales son capaces de utilizar el forraje flotante; mientras que cuando baja el nivel del agua éstas se aprovechan con bovinos (Camarao *et al.*, 2004). No hay reportes documentados sobre el potencial de producción animal mediante estudios de investigación. La capacidad estimada de carga es de un animal/ha, con una ganancia de peso vivo promedio de 180 kg por animal por año. Es reconocido por los ganaderos de Tabasco,

sur de Veracruz y norte del estado de Campeche que en tiempo de secas, cuando se meten animales a pastorear praderas de Azuche, la producción de leche de las vacas tiene aumentos significativos y los animales tienen muy buenas ganancias de peso vivo.

Pasto Lambedora

Nombre científico: *Leersia hexandra* Swartz.

Familia: *Poaceae*, sub familia: *Ehrhartoideae*, y tribu: *Oryzæae*.

Sinónimos: Pasto de Agua, Hierba de Arroz, Arrocillo Rosado, Lambedora, Lamedora, Southern Cut Grass, Pasto Cortador.

Características morfológicas: Gramínea perenne estolonífera, con tallos huecos, que presenta un enraizamiento progresivo en la base de la planta, en su parte superior erecto y delgado, y tallos con finas líneas longitudinales, de 30 a 120 cm de altura. Sus hojas son de color verde brillante, la vaina de la hoja es gruesa, carnosa, forma una especie de funda en el entrenudo, que está densamente cubierto de pelos blancos, los cuales pueden estar doblados hacia atrás; muestra una lígula de 4 a 9 mm, suave, a veces delgada, rígida y seca, hojas agudas y ásperas en ambos lados, laminadas por la noche o cuando están secas, de 15 a 30 cm de largo y 4 a 6 mm de ancho. De panículas erectas, de 5 a 12 cm, difusas o contratadas, las ramas son delgadas y desnudas en la base, las espiguillas son similares a las del arroz, pero más pequeñas, de un color rojizo o naranja y se superponen en dos series, con una pequeña proyección en forma de callos en la base de la espiguilla, de 2.5 a 4.5 mm, brácteas exteriores de color blanco o púrpura entre los nervios, los cuales se ubican a la mitad del peine floral, el interior de las brácteas mucho más estrecha, aguda, cariósida alargado, las brácteas exteriores de las espiguillas en forma de peine. Las proyecciones que se extienden desde la parte media de los nervios es una característica distintiva de esta especie.

Origen: Prácticamente se distribuye a lo largo de los trópicos y subtropicos del mundo. En México se encuentra en un gran número de estados, en especial en las áreas bajas de la región sureste. Sus límites latitudinales son alrededor de 30° N y S.

Requerimientos Edafoclimático: El pasto conocido como Lamedora es una planta acuática, que crece a lo largo de los márgenes de los pantanos, arroyos, lagunas, lagos, acequias y canales. *Leersia hexandra* forma islas flotantes y puede crecer en el agua hasta 1.8 m de profundidad. La planta también puede ser una maleza en los arrozales y provocar un flujo lento en los canales de riego. Su requerimiento es de suelos pesados con texturas arcillosas que se presentan en áreas de pantano, que por lo general tienen una mediana a alta fertilidad natural. Se desarrolla desde el nivel del mar hasta los 2,200 mm. Sus requerimientos de precipitación varían en un amplio rango que va de 750 a 5,000 mm por año, ya que crece en lugares donde prácticamente el agua y la cantidad de lluvia no son factores limitantes para su desarrollo. Sobrevive muy bien a la sequía, periodo en el que es mejor aprovechado, bajo situaciones de pastoreo, hasta que los pantanos se secan.

Propagación: Este pasto se puede reproducir por semillas, pero también se propaga fácilmente por división de sus rizomas. Los tallos son a menudo rastreros y si se pueden emplear como material de siembra, ya que sus entrenudos tienen una gran capacidad para emitir raíces en los nudos, sin embargo, en la región sureste de México, es muy raro que los ganaderos propaguen esta especie. La utilizan en áreas donde crece y se multiplica de manera natural.

Plagas y enfermedades: No existen reportes ni de enfermedades ni de plagas que ocasionen daños que puedan considerarse de importancia económica.

Otros atributos: Es tolerante al anegamiento y el sobre pastoreo. Se quema para proveer pasto en la estación seca. *L. hexandra* es una de las especies más respetadas de las plantas del pantano para el pastoreo, sobre todo en la estación seca. En los llanos inundables de Colombia y Venezuela es el segundo alimento más importante del roedor gigante, el capibara (*Hydrochoerus apibara*). Otro atributo de gran importancia que se ha encontrado en este pasto es su gran capacidad para absorber metales como los siguientes: Plomo, Zinc, Cobre, Cadmio y sobre todo Cromo, por lo cual se puede emplear para actividades de fito remediación tanto en el agua como en el suelo.

Valor nutritivo: El pasto Lamedora es una especie que crece en forma natural y es aprovechada estacionalmente por los ganaderos de la región Sureste de México, quienes señalan que tiene un alto valor nutricional, por lo cual lo emplean para que sea pastoreado por vacas lecheras en producción o animales que tienen mala condición física, con el objeto de que logren una rápida recuperación de su condición corporal. Es una especie aceptada por el ganado cuando está joven; únicamente es consumida en estado maduro cuando se presenta escasez de forraje. Los bordes afilados de sus hojas pueden hacerlo poco aceptable.

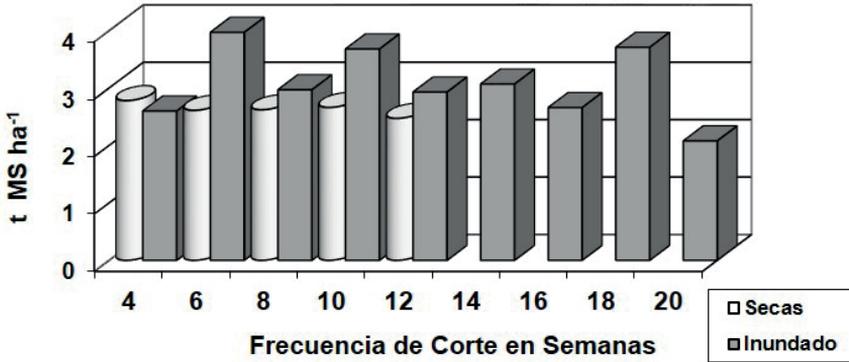
El contenido de proteína cruda de Lamedora en dos estados fenológicos varía notablemente. En una etapa de prefloración presenta 9.27 % de este nutriente y en la etapa de postfloración se eleva a un 16.39 %. Sobre la digestibilidad de la MS, tiene un comportamiento similar al descrito para la proteína cruda. En la etapa de prefloración el pasto presentó un nivel de digestibilidad de únicamente un 44.6 % y para la etapa de postfloración de 60.7 %. Los contenidos de lignina son ligeramente superiores en la prefloración (6.9%) que en la etapa de postfloración (6.5 %), y la fibra cruda puede variar de 28 a 34 %.

Rendimiento de forraje: Como se señaló con anterioridad, el pasto Lamedora se utiliza como planta forrajera en el Sureste de México principalmente cuando comienzan a bajar las aguas de zonas pantanosas, o cuando se empiezan a formar playones en lagunas y ríos; es en este momento cuando los productores introducen sus animales a pastorear, principalmente bovinos. *L. hexandra* presenta una mayor cobertura durante la época en que las aguas empiezan a bajar, ya que es cuando tiene su mejor desarrollo vegetativo, lo cual le permite incrementar ampliamente su biomasa. Cuando esto sucede, el pasto no permite el crecimiento de otras especies en el área que cubre. Durante la época en que las aguas empiezan a subir su nivel, se reducen la altura y cobertura de Lamedora.

Para el aprovechamiento óptimo de este pasto la defoliación, ya sea mediante cortes o por el pastoreo, debe ser a ras del suelo, ya que de esta manera se tendrá un rebrote más vigoroso y rápido que permite obtener mayores rendimientos por unidad de superficie. Para la época de secas, que es cuando generalmente se aprovecha, Lamedora tiene muy poco incremento en la producción de forraje a mayor frecuencia de corte. Durante la época en que el pasto está sometido a la inundación (*Gráfica 9*), se presenta una característica de alternancia de producción: en una frecuencia disminuye,

para la siguiente frecuencia aumenta y después declina, y así sucesivamente se observó hasta las 20 semanas de intervalos de corte.

Gráfica 9. Rendimiento de MS de Lamedora al bajar las aguas en secas y en situación de inundación.



Fuente: Meléndez (2012)

Este pasto presenta bajas producciones de forraje ($720 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) cuando inicia su floración; no obstante, los rendimientos aumentan hasta en un 300 % durante el periodo de postfloración $2,500 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, (Melendez, 2011).

Pasto grama amarga

Nombre científico: *Paspalum conjugatum*. Berg

Familia: *Poaceae*, Subfamilia: *Panicoideae*, Tribu: *Paniceae*

Sinónimos: *P. conjugatum*; Hierba Amarga, hierba Amarilla, hierba Hilo, hierba del río, pasto Antena, pasto Búfalo, pasto Vaquero, yerba Horqueta.

Características morfológicas: Pasto de hábito rastrero, perenne, con largos estolones frondosos que tienen la capacidad de enraizamiento en los nudos. Sus tallos quebradizos son erectos o ascendentes, sus nudos pubescentes o glabros, los estolones por lo general son conspicuamente pilosos, con toda la inflorescencia pueden alcanzar menos de 1 m de altura, y los tallos de los entrenudos generalmente son huecos. Presenta vainas peludas en los márgenes y en el cruce con la cuchilla; lígula truncada, de 1 mm de largo; las hojas caulinares tienen de 5-13 mm de ancho, son de tipo lineal lanceoladas, glabras o escasamente peludas, escabrosas o peluda rígidas en sus márgenes. Su inflorescencia es larga excerta, en un pedúnculo delgado, por lo general con dos racimos, delgados y ampliamente divergentes, a menudo curvos, de un largo 4 a 17 cm, densas, sésiles o subsésiles. Espiguillas solitarias, en dos filas imbricadas, ampliamente ovales a largamente elípticas, ligeramente agudas de 1.4 a 2 mm de largo y 0.9 a 1.3 mm de ancho muy comprimidas. Gluma inferior ausente, la gluma superior y lema inferior estéril igual y equivalente a la espiguilla, delgada y estrechamente aplanados en la flor fértil, los márgenes de la gluma papilosos-ciliados, con pelos finos color blanco. Lema fértil lema de 1,5 mm de largo, pálida, la palea con márgenes membranosos, y enrollados.

Origen: Al pasto Grama Amarga se le considera originario de los trópicos americanos, su distribución natural se localiza del sur de los

Estados Unidos a la República de Argentina. En la actualidad se ha naturalizado en casi todas las regiones tropicales y subtropicales (FAO, 2010). Se le encuentra comúnmente en las zonas cálidas húmedas (riberas de los ríos, caminos y áreas perturbadas), y en áreas abiertas moderadamente sombreadas. En México se le halla en la región sureste donde se tienen áreas de clima tropical húmedo (Climas Am y Af, primordialmente). En la República Mexicana existen miles de hectáreas ocupadas por este pasto, producto de la roza y quema, así como del sobrepastoreo en praderas de pastos introducidos principalmente.

Requerimientos edafoclimáticos: La Grama Amarga presenta su mejor desarrollo en zonas de precipitación de 1,500 a más de 3,000 mm de lluvia anuales, resiste a la sequía en periodos que no excedan los 4 meses. Es común que con deficiencia de humedad en el suelo su follaje se seque y casi no crezca. Prospera en una gran variedad de suelos de textura arenosa a arcillosa, también se desarrolla en suelos de pH ácido y con problemas de exceso de humedad, por lo general cuando esta no es permanente sino intermitente, o el suelo está en condición “guachir-nosa”. Sobre los requerimientos de fertilidad no es muy exigente, pero tiene un mejor desarrollo en suelos de alta fertilidad; soporta quemas severas y condiciones de mediana sombra. En algunas zonas de cultivo se le considera como una maleza agresiva y persistente. Por ser un producto de disturbio es extremadamente resistente al sobre pastoreo.

Propagación: El *P. conjugatum* es un pasto que en México rara vez se siembra, pues aparece de manera natural a través del corte constante de la vegetación, el empleo frecuente y constante de las quemas, y en áreas cultivadas con pastos que son sometidos a condiciones de sobre pastoreo, es decir, el Grama Amarga es común que sustituya a otros pastos como producto del mal manejo o del sobre pastoreo, por lo cual se le

considera o clasifica como una especie o forraje inducido. Es posible que su propagación natural se realice a través de semillas o mediante material vegetativo, lo cual sería por cepas o bien por los estolones; esto último quizás sea lo más frecuente.

Plagas y enfermedades: No se registran ni enfermedades ni plagas que sean de importancia económica.

Otros atributos: Tiene propiedades alelopáticas, soporta algunos niveles de salinidad del suelo y suelos contaminados con hidrocarburos a niveles no muy altos. También tiene cierta habilidad para la captura y fijación de carbono atmosférico.

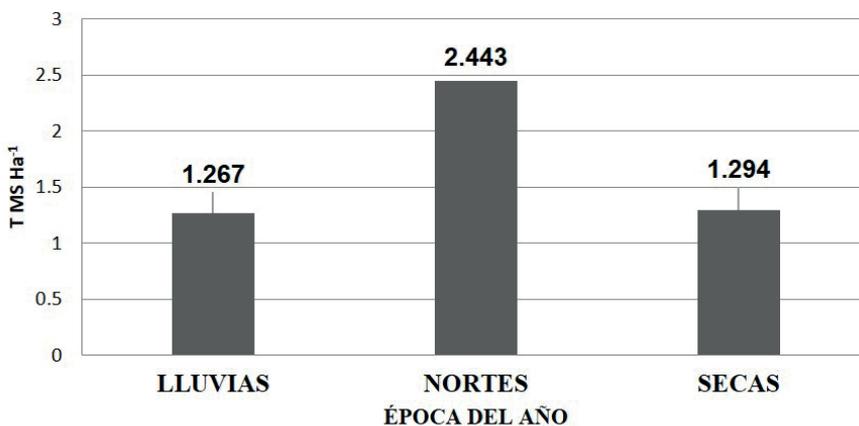
Valor nutritivo: La Grama Amarga es un pasto considerado como un forraje de bajo valor nutritivo. Su utilidad como forraje está limitada por su bajo contenido en proteína que varía de un 6 a 15 % de MS y una baja aceptación por los bovinos. Este pasto se debe pastorear en fases juveniles, ya que el consumo disminuye rápidamente después de la floración (Chavancy, 1951) Se reporta que la palatabilidad es mayor para los búfalos que para los bovinos (FAO, 2010).

Cuando madura el contenido de fibra cruda llega a 28 % en las hojas y 40 % en los tallos. La digestibilidad de la materia orgánica en plantas de un porte de 25 cm fue del 65 % (Loosli *et al.*, 1954). Otro aspecto sobre el uso de este pasto es que cuando ha floreado y es pastoreado las semillas tienden a adherirse a la garganta del ganado y pueden atragantar a los animales. Los contenidos de proteína, varían de 6.8 % a 14.9 % y la fibra entre 26 % y 40.6 %; estos cambios se encuentran en relación estrecha al estado fonológico de la planta y la parte de la misma, por ejemplo, las hojas presentan más concentración de proteína (14.9 %) que los tallos (6.8 %). La digestibilidad de la MS varía de un 55 % a 61 %. El problema con este pasto cuando madura no radica en que no sea muy digestible, sino

en que el consumo de la planta por los animales tiende a ser muy bajo. Una característica favorable del pasto Grama Amarga es que casi siempre tiene una mayor cantidad de hoja que de tallos. Por lo general, en plantas de menor edad hay una mayor proporción de hojas que de tallos.

Rendimiento de forraje: Una característica desfavorable de *P. conjugatum* es su baja producción de forraje, además de que generalmente tiende a ser muy estacional, lo cual se puede ver en la Gráfica 10, donde observamos que la mayor parte de la producción se presenta en la época de nortes (donde se obtiene el 49 % de la producción total anual), mientras que en lluvias y secas prácticamente la producción es similar (25 % del total anual cada época)

Grafica 10. Distribucion de forraje por epoca de Grama Amarga en la Region de La Chontalpa Tabasco.



Fuente: Meléndez (1999)

La estimación de rendimiento de grama amarga varia en condiciones naturales de 3.5 a 6.5 T MS ha⁻¹ anualmente. Sobre la aplicación de fertilizantes

químicos en general, la respuesta a las aplicaciones de fertilizantes principalmente nitrogenados de las pasturas naturales tiende a ser muy pobre. Las conversiones de Kg Ms N⁻¹ aplicado al suelo no llegan a los 20 kg, lo que al precio actual de los fertilizantes químicos en México resulta incosteable sobre todo en el caso de las *Poaceas* forrajeras nativas.

Producción animal: El pasto Grama Amarga es empleado por la mayor parte de los ganaderos del sureste de México para el pastoreo, en especial de ganado de cría; pocos lo utilizan para la engorda de toretes, a no ser que usen suplementos alimenticios, y menos son quienes lo utilizan para el sistema de doble propósito.

En un estudio (Ver cuadro 45) en el que se empleó el pastoreo en un banco de proteína durante unas horas en las leguminosas Cacahuatillo (*Arachis pintoi*) o Siratro (*Macroptilium atropurpureu*), y el resto de tiempo en Grama Amarga, se lograron mejorar las ganancias de peso vivo por animal sustancialmente, sobre todo en la época de nortes, con incrementos en la ganancia, total por animal de un 115 % con Cacahuatillo y 65 % para Siratro, respecto a las ganancias obtenidas por los animales que únicamente consumieron Grama Amarga.

Cuadro 45. Ganancias de peso vivo de animales en pastoreo de Grama Amarga + bancos de proteína

Pradera	Carga U. A	Ganancia por animal en kg Nortes	Ganancias por animal en kg Secas	Ganancia por animal en kg Total
Grama Amarga	1.2	86	38	124
Grama A. + 4 h en Cacahuatillo	1.2	202	64	266
Grama A. + 4 h en Siratro	1.2	117	87	204

Fuente: Córdova y Sánchez (1988).

Pasto Camalote

Nombre científico: *Paspalum fasciculatum* Willd. Ex Flügge

Familia: *Poaceae*, Subfamilia: *Panicoideae*, tribu: *Panicaceae*

Nombres comunes: pasto Venezuela, Gamalote y Gramalote, Navajuela, yerba Venezolana, Gramalote Blanco.

Características morfológicas: Es una gramínea perenne, de tallos decumbentes, los cuales pueden alcanzar una longitud de 1 a 1.5 y un diámetro de 5 a 7 mm. Presenta enraizamiento de los nudos inferiores. Los entrenudos son de una consistencia sólida; las vainas de las hojas pueden ser glabras en la superficie o pilosas, con margen exterior peludo, y la vaina de la hoja presenta pelos ciliados de 3 a 4 mm de largo. Su lígula es una membrana de 0.3 a 0.7 mm de largo, con un color marrón; la lámina de la hoja, de 20 a 70 cm de largo y 10 a 20 mm de ancho. La nervadura central de la lámina foliar se presenta por debajo y la superficie de la lámina foliar es glabra o pilosa. La inflorescencia está compuesta de racimos, presenta un pedúnculo de 3 a 6 cm de largo; el racimo floral consta de 8 a 33 flores distribuidas a lo largo de un eje central unilateral de 16.7 cm de largo, raquis angosto y alado, de 0.8 a 1.4 mm de ancho. Se conforma por espiguillas solitarias, fértiles y pediceladas, de forma aovadas, dorsalmente comprimidas acuminadas, de 3.7 a 4.6 mm de largo. La flor presenta 3 anteras de 2.2 a 2.8 mm de largo con un color anaranjado; el fruto o semilla es un cariósipide con pericarpio adherente de 2 mm de largo. En México su floración y fructificación se presenta en los meses de agosto a octubre.

Origen: Se le ubica en el Continente Australiano, en Norteamérica en Estados Unidos y México, en Mesoamérica, el Caribe y América del Sur, siendo muy popular en Venezuela. En México se le encuentra en forma natural principalmente en estados del sureste como: Oaxaca, Veracruz, Chiapas, Tabasco y zona norte del estado de Campeche.

Requerimientos edafoclimáticos: Esta especie se desarrolla en las regiones que tienen un clima tropical húmedo. Crece en áreas inundadas permanentemente, en suelos que se saturan de humedad, con pH ácido a neutro y textura rica en arcillas de buena fertilidad. Soporta cierto nivel de sequía, no tolera heladas y las temperaturas por debajo de 18° C afectan su crecimiento. Obtiene su mejor desarrollo cuando no está en cuerpos de agua (su hábitat natural), con precipitaciones anuales de 1,700 a más de 3,000 mm. Soporta perfectamente las quemas, severas.

Propagación: El Camalote en México no es una planta que se cultive: esta crece de manera espontánea, e incluso se le considera una especie muy agresiva que desplaza a otras gramíneas forrajeras de mejor calidad nutritiva. Se le considera una maleza, pero en la actualidad en el sureste del país ocupa cada día más superficie en los ranchos ganaderos como especie invasora, y un gran número de ganaderos la están empleando como pastura, ante la dificultad que conlleva controlarla, algunos ganaderos emplean el camalote para alimentar en pastoreo Búfalos. Su propagación es principalmente por estolones, .su semilla también es fértil, por lo tanto, su propagación también pudiera ser por esa vía.

Plagas y enfermedades: Aparentemente no tiene plagas y enfermedades de importancia económica que dañen al Camalote.

Valor nutritivo: La principal limitante de este pasto, sin lugar a dudas, es su bajo valor nutritivo, ya que posee otros atributos sobresalientes, como s ser un buen productor de forraje, muy persistente al pastoreo y resistente al ataque de plagas y enfermedades que atacan a la mayor parte de los pastos que se desarrollan en las regiones tropicales. Cuando está en un estado de semiduro a maduro, el Camalote es poco consumido por los bovinos, ya que en esta etapa es poco palatable;

de preferencia es usado cuando está muy tierno, con el inconveniente de que en esta etapa los niveles de MS son muy bajos. Aun en etapas maduras, este pasto tiene como característica bajos porcentajes de MS, los cuales están en un rango de 16 % a 28 %. Los contenidos de fibra detergente neutro varían de 70 a 80 %, durante la temporada de lluvias en plantas de camalote de 15 días de rebrote se determinó 11 % de proteína, pero a los 60 días decayó a un 4 %. Los rangos de digestibilidad *in situ* en función de la edad rebrote para tiempo de lluvias variaron de 27 a 13 % y en la época de nortes de 38 a 32 %. (Sanchez, 2008).

Rendimiento de forraje: Las producciones de forraje de esta especie son más o menos aceptables, aunque esto está estrechamente relacionado al manejo que se le da al pasto y la fertilidad del suelo donde crece. En un estudio realizado en suelos Vertisoles con un drenaje deficiente y una precipitación anual cercana a los 2000 mm anuales en Tabasco (Meléndez, 1999), se determinaron rangos de producción de forraje que variaron de 5.9 t MS ha⁻¹ a 9.5 t MS ha⁻¹ entre los 30 y 75 días de edad de rebrote. La mayor producción de forraje por ha se presenta en la época de lluvias, seguida de la de nortes la más baja, durante la época de secas. En otro estudio realizado en suelos Gleysoles y con una precipitación sobre los 2,300 mm año⁻¹, se obtuvieron rendimientos de forraje más elevados con Camalote, entre 11.1 t y 13.7 t MS ha⁻¹.

Como se puede advertir en el Cuadro 46 en una comparación de varios pastos, la mayor parte de ellos crece en forma natural en terrenos de drenaje deficiente o inundable de Tabasco. El Camalote, después del Alemán azul, fue el de más alta producción de forraje con 12.4 t MS ha⁻¹ promedio en dos años.

Cuadro 46. Producción total por año y promedio de varios pastos naturales de áreas inundables de Tabasco

PASTO	T MS ha ⁻¹ a		
	Primero	Segundo	Promedio
Pará	2.265	1.121	1.693
Nuevo	10.916	3.205	7.061
Camalote	12.824	12.021	12.423
Azuque	0.937	0.068	0.503
Pelillo	3.639	6.248	4.943
Alemán azul	19.061	19.085	19.073

Fuente: Meléndez (1999).

Producción animal

Hay antecedentes de que puede funcionar bien para la alimentación del Búfalo de agua. En las sabanas inundables de la República de Venezuela, el Camalote es empleado como refugio y fuente de alimento por el Capibara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), mamífero nativo que forma parte de la fauna silvestre de este ecosistema, muy apreciado por su carne. En algunas regiones del sureste donde crece este pasto como planta invasiva, los ganaderos lo están empleando, para lo cual tratan de no dejar que el pasto madure, cuando esto acontece recurren a él chapeo para ofrecer un forraje más succulento, pero aun así se considera que no es la mejor opción, pues no deja de ser considerada una agresiva maleza.

Pasto Pajón de sabana

Nombre científico. *Paspalum plicatum* Michx.

Familia: *Poaceae*, Subfamilia. *Panicoideae*, Tribu. *Paniceae*, Grupo. *Plicatula*

Sinónimos: *Paspalum plicatulum* Michx. Var. *Glabrum* Arechav, *Paspalum plicatulum* Michx. Var. *villosissimum* Pilg., *Paspalum texanum* Swallen.

En otras regiones del mundo se han liberado diversas variedades de *P. plicatulum*, pero en México únicamente se emplea la que crece en forma natural, especialmente en el ecosistema de Sabana, algunas de las variedades son Bryan (IPC 21378), Hartley (IPC 11826) var *glabrum* y Rodd Bay (PI 339897).

Nombres comunes: Pajon de sabana, capim coquerinho, pasto-negro, camalote, gamelotillo, gamalote, gramalote, hierba de cepa.

Origen: Es una especie nativa del Continente americano y los lugares donde se le encuentra como un pasto natural en: En América del Norte, América Central, Región del Caribe y Sur América. En la república mexicana se le encuentra en los estados de Aguascalientes, Chiapas, Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz. En los Estados Unidos, se encuentra en hábitats pantanosos o acuáticos. Por lo general, crecen en aguas poco profundas. En América del Sur se localiza en situaciones de humedad en el ecosistema de sabana (Cerrado y el Pantanal, Llanos).

Descripción morfológica: Pasto de hábito perenne que se desarrolla en terrenos altos e inundables, no presenta rizomas, con entrenudos cortos, sólidos o esponjosos, de tallos erectos y ascendentes, comprimidos, los tallos pueden alcanzar una altura de 1 m, cuando tienen la inflorescencia presentan una altura de 1.3 m, con hojas delgadas de unos 60 cm de longitud, tallos cilíndricos que pueden alcanzar una altura de 1.3 m, a menudo en la base de los tallos se presentan brotes de color púrpura. Las vainas de las hojas glabras o con algunos pelos hacia la punta, de lígula membranosa de 1 a 3 mm de largo, sus láminas foliares pueden ser glabras a pubescentes, de 10 a 50 cm de largo y 3 a 10 mm

de ancho. La inflorescencia en forma de panícula que comprende de 10 a 13 racimos, con 2 a 6 cm de largo y 1.5 a 2 mm de ancho. Espiguillas en pares, de tipo ovoide-elipsoidal, de 2 a 3 mm de largo, 1.5 a 2 mm de ancho. El cariósipide es de color marrón oscuro-brillante.

Requerimientos edafoclimáticos: Se utiliza como pasto permanente en áreas que tienen problemas con drenaje deficiente y suelos de baja fertilidad, crece en una amplia gama de suelos de pobre a buen drenaje, con textura arenosa a arcillosa, por lo general de baja fertilidad y de reacción ácida en pH de 4.5 a 5.5. El Pajon de Sabana es una especie bastante tolerante a suelos que presentan un alto contenido de aluminio. A pesar de que se ha colectado en zonas con precipitaciones de 3,500 mm anuales, se encuentra sobre todo en zonas con precipitaciones entre 1,200 y 1,500 mm. Se utiliza sobre todo cuando se cultiva dentro de este rango de lluvia, ha tenido cierto éxito en zonas con precipitaciones de alrededor de 760 mm y de hasta 2,000 mm. Es moderadamente resistente a la sequía, tolera cortos períodos de seca, con efectos poco adversos. Es muy tolerante a las inundaciones por períodos cortos. La temperatura óptima para el crecimiento es de 18.9 a 23.3 °C. Pajón de sabana es considerado como intolerante a la sombra y puede verse afectado si se emplea bajo pastoreo continuo, soporta las quemadas continuas. Hay reportes de que este pasto puede presentar efectos de alelopatía (Hacker *et al.*, 1999).

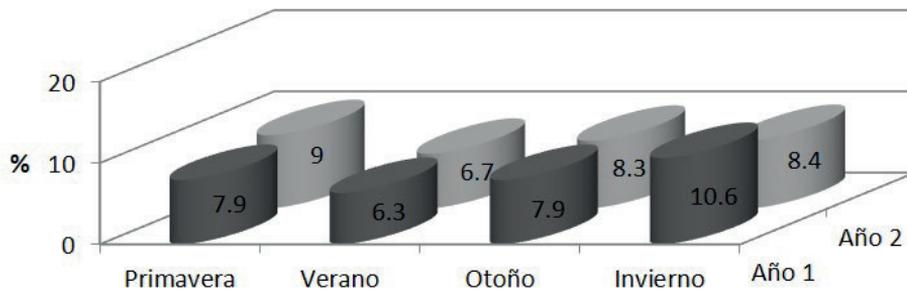
Propagación: En algunas regiones del mundo donde se cultiva, por lo general se siembra mediante el empleo de semillas, pero la propagación también puede ser por material vegetativo, empleando secciones de la cepa. Este pasto en México, no se siembra, ya que se le encuentra formando praderas naturales en especial en los ecosistemas denominados de Sabana. Con frecuencia actual los ganaderos lo sustituyen por otras especies que tienen mayores rendimientos de forraje y sobre todo un mejor valor nutritivo, como son diversas especies y cultivares de *Brachiaria*.

Plagas y enfermedades: El Pajón de sabana no tiene problemas de enfermedades y no se presentan plagas de importancia económica.

Valor nutritivo: El valor nutritivo de *Paspalum plicatulum* es menor que el de muchos otros pastos tropicales cultivados, en particular una vez que madura. Los niveles de proteína cruda van de 5 a 12 %, y su digestibilidad de la MS de 39 a 50 % para toda la planta y de 50 a 70 % en la hoja.

Los porcentajes de proteína cruda, en un primer año de estudio fueron más altos en invierno (10.6 %) y bajos en el verano (6.3 %) y similares durante la primavera y el otoño (7.9 %). En un segundo año el valor de proteína más elevado se obtuvo durante la primavera (9 %) y nuevamente en el verano el más bajo con un 8.7 % (Gráfica 11).

Gráfica 11. Contenido de Proteína de Pajón de Sabana por estación del año, (Meléndez, 1999)



Rendimiento de forraje: La producción por año de MS del pasto *P. plicatulum* en el ecosistema de Sabana, pueden tener una variación de 8.1 t a una producción máxima de 24 t MS ha⁻¹. El Pajón de Sabana en las áreas que se encuentra como una especie no cultivada natural, se caracteriza principalmente por tener una producción de forraje estacional, es decir, que la mayor cantidad del forraje se tiene durante la época de

lluvias, disminuyendo de manera drástica durante la temporada de secas principalmente. En el Cuadro 47 se aprecia que el Pajón de Sabana en los suelos ácidos de la zona de la Sabana de Huimanguillo Tabasco, localidad donde crece en forma natural, presento rendimiento únicamente de 5.8 t MS ha⁻¹ a⁻¹, siendo ampliamente superado en el rendimiento de forraje por unidad de superficie, por otros forrajes introducidos y cultivados en esta región como son los pastos; Chontalpo, Humidicola o Chetumal, Dictyoneura y Llanero.

Cuadro 47. Producción de MS de Gramíneas Tropicales Forrajeras y su tolerancia a la acidez, en la Sabana de Huimanguillo Tabasco.

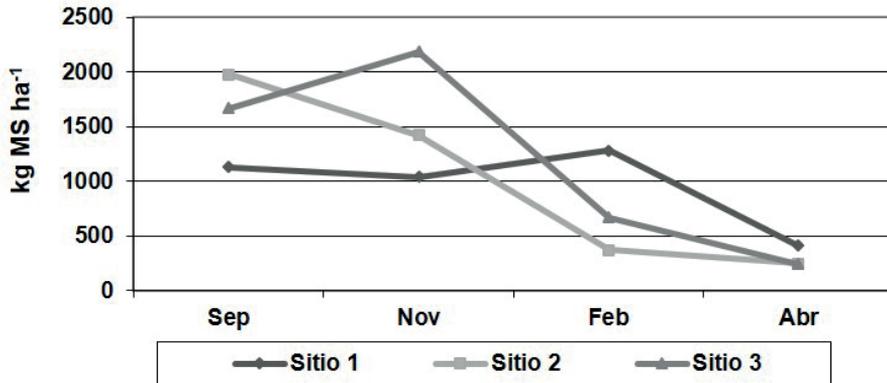
PASTO	Producción de t MS ha ⁻¹ a ⁻¹
Remolino	5.9
Pajon de Sabana	5.8
Chontalpo	22.1
U. dictyoneura	22.1
Humidicola	16.5
Llanero	20.6

Fuente: adaptado de Pastrana y Meléndez, 1990

En un estudio realizado por Pérez (1989), en la Sabana de Huimanguillo Tabasco, encontró que el Pajón de Sabana de septiembre a noviembre tiene

altas producciones de forraje (época de lluvias), pero a partir del mes de diciembre se presenta fuertes disminuciones de forraje/ha, siendo críticas en el mes de abril a mayo (época de secas), como se presenta en la Gráfica 12.

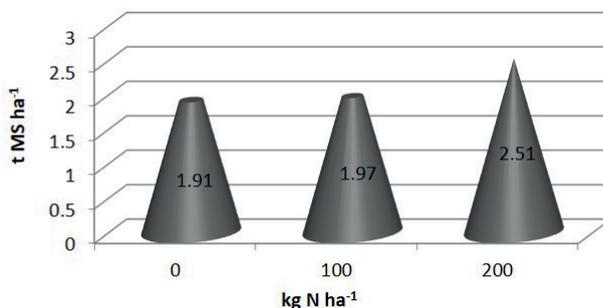
Gráfica 12. Distribución de Forraje durante el año de Pajón de Sabana en la Huimanguillo Tabasco.



Fuente: Pastrana y Meléndez (1990).

La fertilización podría ser necesaria, cuando este pasto se cultiva en suelos de baja fertilidad, en general, se podrían requerir alrededor de 250 kg⁻¹ ha⁻¹ de superfosfato simple. En ocasiones se pueden aplicar de 50-100 kg N ha⁻¹, con la finalidad de estimular un crecimiento adicional durante la estación de crecimiento activo. A veces se pueden presentar deficiencias de Ca.

Gráfica 13. Respuesta a las aplicaciones de N en la producción de MS de Pajón de Sabana.



Fuente: Pérez y Meléndez (1979)

En estudio en suelos muy ácidos y de muy baja fertilidad del Estado de Tabasco, Pérez y Meléndez (1979), encontraron incrementos muy pobres en la producción de forraje ha⁻¹ de Pajón de Sabana con la aplicación de N, siendo con estos incrementos, incosteable implementar esta práctica. Una práctica más recomendable, que permite mejorar tanto la calidad del forraje como la cantidad de este, sería la de asociar el Pajón con alguna leguminosa forrajera, existen varias que son compatibles con este pasto.

Producción animal. En el Cuadro 48, podemos ver en una pradera nativa de Pajón de Sabana mezclado con otros pastos nativos, en los Llanos Venezolanos, que las ganancias por animal anualmente son bastante buenas cuando se usan cargas animal sumamente bajas, pero las producciones de peso vivo ha⁻¹ son pobres y esto se explica por los bajos rendimientos de forraje/ha de este pasto cuando no es cultivado.

Cuadro 48. Productividad de una pradera natural con *Paspalum plicatulum* en la Sabana Venezolana

Carga Animal (UA ha-1)	Ganancia animal kg a-1	Ganancia ha-1 a-1
0.21	225	47
0.23	230	52
0.46	264	120

Fuente: Paladines, 1974.

Pasto Remolino

Nombre científico: *Paspalum notatum* Flüggé

Familia: *Poaceae* (anteriormente *Gramínea*), Subfamilia: *Panicoideae*, Tribu: *Paniceae*

Sinónimos: *Paspalum cromyorbizon* Trin. ex Döll, *Paspalum distachyon* Willd. ex Döll, *Paspalum saltense* Arechav, *Paspalum tephophyllum* Steud, *Paspalum uruguayense* Arechav.

Variedades de *P. notatum*:

Variedad *Notatum* $2n = 40$, la cual es apomíctica.

Variedad *Saurae* $2n = 20$, la cual es sexual.

Variedad *Latiflorum* $2n = 40$, también apomíctica.

Con el objeto de mejorar las variedades apomícticas se han creado tetraploides sexuales, mediante la duplicación de los cromosomas en el diploide sexual

Pensacola. Estos tetraploides sexuales fueron utilizados como flores femeninas cuando se cruzaron con machos apomícticos. Esto produjo progenie muy variable que contenía los dos tipos de plantas: sexual y apomícticas.

A continuación, se señalan algunas de las variedades de *P. notatum*; Nanguoku, Competidor, Argentino, Común, Nanpu, Pensacola, Paraguay, Riba, Tifhi-1, Tifhi-2, Tifton 9, Tifton 54 y otros más. Otros nombres comunes son; Bahía, Grama Mato Grosso, Cañamazo, Gramilla blanca, pasto Horqueta, Frente de toro.

Características morfológicas: Pasto perenne, que forma estolones fibrosos y rizomas, de entrenudos cortos y abundantes raíces fibrosas en los nudos. Sus hojas pueden ser de glabras a pilosas, que varían desde 3 hasta 10 mm de ancho y 2-5 cm de largo. En posición vertical, los brotes que emergen de los nudos pueden alcanzar de 20-30 cm. La pubescencia de las hojas puede variar con el vigor de la planta: suelen ser glabras cuando el crecimiento de la planta es vigoroso y son pubescentes cuando el crecimiento es pobre. Presenta tallos erectos que alcanzan una altura de 20-50 cm. Su inflorescencia es una panícula, que por lo general consta de dos racimos terminales, de 5-10 cm de largo, con espiguillas insertadas a lo largo de la parte inferior del raquis de 1 mm de ancho. Las espiguillas son glabras de color marrón-teñido ovadas a obovadas de 2.5-4 mm de largo. Produce de 250,000-550,000 semillas por kg.

Origen: Se le considera originaria de América del Norte en los Estados Unidos de Norteamérica, en donde se le clasifica como una especie nativa y naturalizada. En América Central: Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México (sureste), Nicaragua y Panamá, también se le encuentra en la región del Caribe. En América del Sur: Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay, Perú y Uruguay. El pasto Remolino, como una especie nativa, ocupa áreas significativas en América Central y del Sur. Se le encuentra en praderas abiertas y sabanas.

Requerimientos edafoclimáticos: *P. notatum* en sus zonas de distribución natural y naturalizada se encuentra comúnmente en suelos de textura arenosa y en ocasiones se extiende hasta los suelos de textura arcillosa. Aunque prefiere suelos fértiles, puede mantenerse vigoroso en suelos infértiles, probablemente debido a la fijación de nitrógeno en la rizosfera. Crece en suelos con pH de 5.5 a 6.5. Se considera que tiene tolerancia moderada de aluminio. Puede presentarse una clorosis en suelos ácidos debido a la presencia de Hierro en el suelo, pero esto suele ser estacional. Algunos tipos son tolerantes a la salinidad; puede soportar hasta 4500 ppm de NaCl en el agua de riego. Soporta inundaciones y encharcamientos del suelo temporales.

Por lo general, se siembra en zonas con una precipitación anual bien distribuida de alrededor de 900 a 1,500 mm, pero se puede utilizar en zonas con precipitaciones de hasta 2,500 mm. Es muy tolerante a la sequía, en virtud de su sistema de raíces profundas y es tolerante a las inundaciones, a las cuales puede sobrevivir por más de 30 días.

También se desarrolla desde el nivel del mar hasta más de 2,300 msnm (Bolivia y México), lo que representa un rango de temperatura media anual de alrededor de 17 a 25°C. Las heladas se presentan en una parte significativa de su área natural. La temperatura óptima para la germinación es de 30 a 35°C; para un crecimiento óptimo se requiere un rango de 25 a 30°C; y el mayor índice de ahijamiento suele presentarse entre los 20 y los 25°C. Su crecimiento es lento durante la temporada de los meses más fríos. Las cepas son quemadas por las heladas, y mueren cuando las temperaturas se presentan por debajo de -10° a -12°C. Temperaturas nocturnas por debajo de 13° C inhiben la floración.

El pasto Bahía o Remolino es moderadamente tolerante a la escasa presencia de luz, puede ser más persistente bajo pastoreo constante en

la sombra que estas otras especies forrajeras. Es una planta de día largo, su floración suele iniciarse a principios y mediados de verano dependiendo del genotipo, *P. notatum* es una gramínea de bajo crecimiento que puede tolerar la defoliación constante o frecuente, y requiere un manejo intensivo para mantener una buena calidad nutritiva. Es tolerante a las quemaduras moderadas, ya que quemaduras muy intensas cuando hay mucha biomasa seca pueden afectar su persistencia y desarrollo.

Propagación: Este pasto se puede propagar vegetativamente o por semilla. En el primer caso, se puede establecer con facilidad a partir de trozos de estolones o tapetes de pasto. La mayoría de las semillas recolectadas de forma manual tienen un alto nivel de latencia que se rompe durante un período de hasta 3 años, esto puede suceder mediante diversas técnicas de escarificación. Las plántulas de esta especie se desarrollan lentamente, por lo que para minimizar la competencia es necesario mantener el área de cultivo libre de malezas. Hay que tener precauciones ya que cierto tipo de herbicidas en esta etapa de desarrollo puede afectar su progreso e incluso su sobrevivencia.

Plagas y enfermedades: Remolino tiene la presencia de diferentes plagas. Sin embargo, la mayor parte no tiene una gran importancia económica a largo plazo. Existe resistencia genética a muchas de las enfermedades, a través de las diferentes variedades que existen.

Otros atributos: Es un pasto muy resistente al tráfico tanto de animales como de personas. Ya establecido, es muy eficaz en el control de malezas. Las raíces de esta especie forrajera pueden desarrollar una asociación benéfica con hongos *Micorrizas arbusculares*, así como con la bacteria de vida libre *Azotobacter paspali*. Se estima que la fijación de N de esta bacteria puede ser de 10 a 20 kg ha⁻¹ año⁻¹, pero hay casos en los cuales Esta puede ser hasta de 90 kg ha⁻¹.

Valor nutritivo: El valor nutritivo varía mucho con la edad de rebrote, ecotipo y la fertilidad del suelo. Los niveles de proteína cruda pueden ser superiores al 20 % en rebrotes de 2 semanas, y disminuyen a cerca de 5 % a las 12 semanas de edad del pasto. La digestibilidad disminuye en el mismo periodo de tiempo de casi el 70 % al 50 %. El Fósforo promedio varía de 0.3 % a 0.5 %; Ca y Mg están sobre los niveles del 0.2 %.

La palatabilidad varía con la edad, genotipo y fertilidad del suelo. Los rebrotes jóvenes son fáciles de consumir. Pensacola en particular es mal consumida en una edad madura. Es importante mantener la presión del pastoreo para evitar una disminución de la palatabilidad de este pasto.

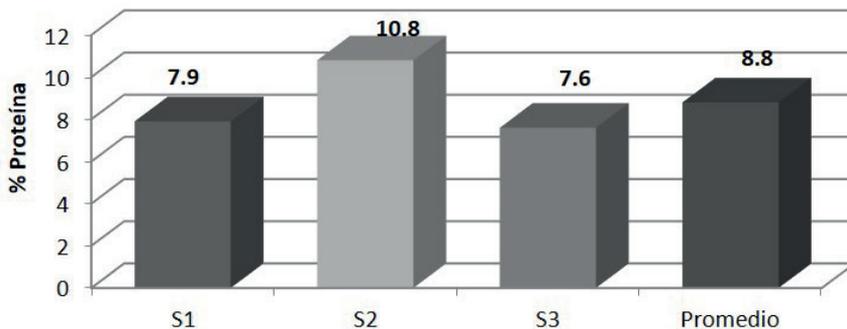
Cuadro 49. Valor nutritivo en diferentes etapas de desarrollo de Remolino

Condición de la planta	% Proteína	% Fibra	% Extracto etéreo	% Extracto libre de N
Principio de la floración	7.4	31.1	1.24	48.0
Mitad de la floración	8.4	28.1	2.34	47.8
Finales de la floración	13.0	39.5	4.01	41.7
Heno	12.3	33.5	1.44	42.4

Fuente: Perez, 1989.

En el Cuadro 49 se tienen diversos componentes del valor nutritivo de pasto Remolino, en diversas etapas fonológicas de la planta con un rango de proteína cruda de 7.4 a 13.0 % y de fibra cruda de 28 % hasta un 39.5 % Gráfica 14. Contenido de proteína de pasto Remolino en varios sitios de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Gráfica 14. Contenido de proteína de pasto Remolino en varios sitios de la sabana de Huimanguillo, Tabasco.



Fuente: Pérez (1989).

Estudios realizados por Pérez (1989) en la sabana de Huimanguillo del estado de Tabasco, localidad que se caracteriza por sus suelos de pH muy ácido y baja fertilidad, señalan que el pasto Remolino si bien no forma parte de la vegetación nativa, se le considera como una especie plenamente naturalizada en ese ecosistema y muy empleada por los ganaderos. Los contenidos de proteína obtenidos en tres sitios de esta localidad variaron de 7.9 % a 10.8 %, con un promedio de proteína en base seca de 8.8 %, valores que se pueden considerar, en términos generales, como aceptables (Gráfica 14).

Rendimiento de forraje: Cuando el pasto Remolino o Bahía es bien fertilizado y sometido a riego, puede presentar rendimientos de materia seca superiores a las 20 t ha⁻¹ año, pero bajo situaciones de manejo normal (no fertilizado e irrigado) los rendimientos generalmente son de 3 y 8 t MS ha⁻¹ año⁻¹. En la sabana de Huimanguillo, Tabasco, en suelos muy ácidos con pH menor a 5 y de muy baja fertilidad, el pasto

Remolino obtuvo un rendimiento anual de solo 5.9 t de MS/ha por año, rendimiento casi similar al del pasto nativo de esta región, que es el denominado Pajón de Sabana (*Paspalum plicatulum*). Sin embargo, en la sabana, el Remolino tiene la ventaja de que produce un poco más de forraje en la época de seca que el nativo (Pastrana y Meléndez, 1990).

P. notatum no únicamente es capaz de sobrevivir sino también de prosperar en suelos de baja fertilidad. Sin embargo, el Remolino responde a las aplicaciones de nitrógeno hasta 200 o más kg/ha por año, las aplicaciones de fósforo mejoran el amacollamiento y rendimiento del forraje y de las semillas.

Producción animal: Si este pasto es bien fertilizado, con 100 a 200 kg N ha⁻¹, puede producir una ganancia animal de 400 a 600 kg ha⁻¹ año⁻¹, con una carga animal de 5 cabezas por hectárea durante la época de crecimiento más activo (lluvias).

Pasto Egipto

Nombre Científico: *Urochloa mutica*

Familia: *Poaceae*, Subfamilia: *Panicoideae*, Tribu: *Paniceae*

Sinónimos: *Brachiaria mutica* (Forssk) T.Q. Nguyen, *Panicum muticum*, *Panicum purpurascens*. Raddi.

Otros nombres comunes; Para, Pasto Búfalo, Césped Holandés, Pasto señal, Gramalote, Paraná.

El Para es un pasto perenne de hábito rastrero, con estolones largos y gruesos de hasta 6.0 m de longitud, muy peludo. Sus tallos son decumbentes y suaves, las hojas moderadamente peludas de hasta 20 mm de ancho y 30 cm de largo. La vaina de la hoja tiene un collar densamente

peludo. La inflorescencia presenta una panícula de 60-30 cm de largo, que comprende de 5-20 racimos densamente florecidos de 2-15 cm de largo, basales, con espiguillas pares de 2.5-5.0 mm de largo en varias filas irregulares. Los estolones y las ramas se arraigan con facilidad en los nudos. Sus tallos en la parte interna son huecos.

Origen: Se le ubica en el Continente Australiano, en Norteamérica en Estados Unidos y México, en Mesoamérica, el Caribe y América del Sur, siendo muy popular en Venezuela. En México se le encuentra en forma natural principalmente en estados del sureste como: Oaxaca, Veracruz, Chiapas, Tabasco y zona norte del estado de Campeche.

Requerimientos Edafoclimáticos: El pasto Egipto o Para tiene su hábitat en suelos de mucha humedad, se le ubica con frecuencia creciendo en forma vigorosa en los márgenes de lagos, ríos y en lugares donde se encharca el agua con frecuencia. Está bien adaptado a una amplia gama de tipos de suelo (desde arenosos hasta suelos arcillosos) de moderada a buena fertilidad. Si bien se encuentra adaptado a terrenos de mal drenaje (pantanosos o inundados estacionalmente) en las zonas tropicales y subtropicales cálidas, también crece de manera productiva en suelos libres de drenaje en zonas de altos regímenes de precipitación (superior a 2500 mm anuales). Tolerancia a la salinidad moderada, y pH de 4.5 y soporta altos niveles de elementos traza, que normalmente se producen bajo el agua. Crece en regiones subhúmedas con 1,200-4,000 mm anuales de lluvia. También se desarrolla en áreas pantanosas de ambientes más secos, con lluvias de hasta 900 mm anuales, pero no tolera condiciones de sequía prolongada. Soporta inundaciones de largo plazo, su tolerancia a la profundidad del agua está relacionada con la temperatura de esta. Tolerancia a profundidades de hasta 1.2 m en los trópicos, pero sólo hasta 30 cm de profundidad en las regiones subtropicales.

Sus hojas pilosas y tallos huecos, tienen la propiedad de flotar sobre el agua, pero las raíces no pueden tolerar la inmersión continua. Desarrolla raicillas adventicias en condiciones de inundación. Tiene su crecimiento óptimo cuando se presentan altas temperaturas, su crecimiento se ve restringido por temperaturas inferiores a 15 °C, es muy sensible a las heladas. La hoja muere en presencia de heladas, pero las plantas pueden recuperarse. El Para es un pasto moderadamente tolerante a la sombra, prefiere estar a pleno sol. Cuando se emplea en pastoreo severo, puede presentarse fuerte invasión de malezas. Es conveniente mantener una altura o tocón de la planta por arriba de los 20 cm, esto con el fin de evitar la invasión de malezas en la pradera. Es una especie resistente a las quemadas, cuando se hace esta práctica durante la época de secas la planta se recupera bien.

Propagación: Si bien el pasto Egipto se puede propagar por semilla, hay que resaltar que es de muy baja calidad, y en México no se tienen antecedentes de que se pueda propagar por esta vía, además hay que considerar que la semilla no está disponible. La forma de propagación es por medio vegetativo, para lo cual se usan trozos de guías o estolón que tengan de 4 a 5 nudos, este es un medio muy seguro para establecer una pradera de pasto Para.

Plagas y enfermedades: En plagas, el gusano falso medidor (*Mocis latipes*) puede provocar severos daños especialmente durante la época de sequía. Otras plagas que ataca este pasto es la escama de los pastos (*Antonina graminis*). En enfermedades, la fumagina (*Capnodium sp*) puede dañar los brotes nuevos en las hojas, así como el tizón de la vaina.

Valor nutritivo: El pasto Egipto tiene un alto valor nutritivo, aunque el consumo de MS por los animales puede ser reducido debido a

los altos contenidos de agua, incluidas las gotas que son retenidas en las hojas peludas y tallos. Durante el periodo de crecimiento activo, el pasto puede tener un valor nutritivo muy alto, con 14 a 20 % de Proteína cruda y digestibilidad de la materia seca que varía de 65-80% en las hojas y 55 a 65 % en la planta integral: pero en plantas maduras la digestibilidad de la MS puede variar de 35 a 45 %. Las hojas de este pasto son muy apetecibles en pastoreo, sin embargo, los animales generalmente realizan un pastoreo selectivo, ya que los tallos y estolones maduros suelen ser menos palatables.

En el Cuadro 50 se aprecia que *Pará* entre los 12 y 36 días de edad de la planta presenta contenidos de proteína por arriba del 10 % y, a los 72 días la proteína cae hasta un 7 %; en esta valoración el rango de fibra cruda varió de un 22.5 % a 28 % en las edades de 12 a 72 días. Los valores de digestibilidad de la MS variaron de un 73 % a un 62 %, lo que en comparación con otros pastos tropicales se puede considerar como una alta digestibilidad.

Cuadro 50. Análisis bromatológico de *Urochloa mutica* a diferentes días de rebrote.

Rebrote (días)	Proteína bruta	Fibra (%)	Calcio (%)	Fósforo (%)
12	15.1	22.5	0.31	0.43
24	12.0	22.5	0.33	0.49
36	11.2	24.7	0.34	0.48
48	9.2	26.2	0.41	0.50
60	7.3	27.4	0.31	0.47
72	7.0	28.3	0.28	0.40

Fuente: Aguirre, 1985

Aunque no es una práctica común ensilar el *U. mutica*, es una especie forrajera que puede presentar altos niveles de ácido láctico (66%), lo cual es uno de los indicadores de alta calidad de un producto ensilado y sobre todo es muy fundamental cuando se va a emplear para alimentar ganado productor de leche. En el Cuadro 51 se aprecia como supera a pastos como Estrella de África y Aguada, incluso presentando contenidos más bajos de ácido acético que los anteriores pastos.

Cuadro 51. Características de ensilaje de pastos tropicales.

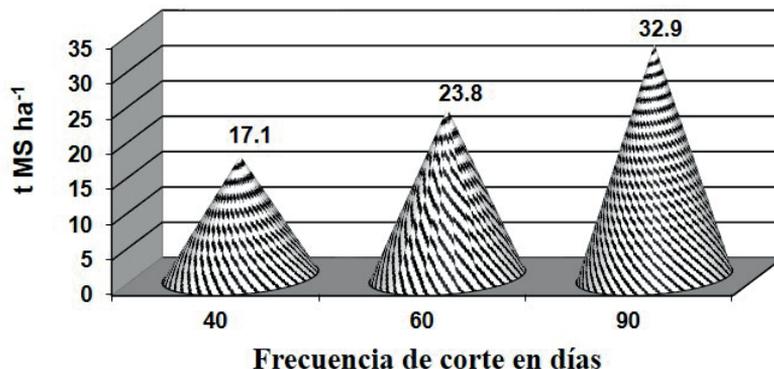
PASTO	pH	A. Lactico	A. Acetico	A. Butirico
Estrella	4.1	57.5	38.1	4.4
Pará	4.2	66.4	31.8	1.8
Aguada	3.8	47.3	52.7	----

Fuente: Meléndez (1999).

Rendimiento de forraje: EL Pasto Pará cuando se cultiva en condiciones óptimas y es bien fertilizado puede llegar a producir hasta 30 t MS ha⁻¹ año⁻¹, sin embargo, también los rendimientos pueden ser de 2 a 4 t MS ha⁻¹ año⁻¹. Los rendimientos promedio de este pasto cuando no es fertilizado están en alrededor de 12 t MS ha⁻¹.

En la Gráfica 15 se nota, que el pasto Pará cuando se corta cada 40 días obtiene una producción de 17 t MS ha⁻¹ año⁻¹, mientras que cuando los cortes son cada 90 días la producción de forraje casi se duplica a más de 32 t ha⁻¹. Si bien esto es una ventaja también es un factor no deseable, ya que como se vio anteriormente cuando el pasto sobrepasa los 60 días de edad, la digestibilidad y contenido de proteína declinan de manera significativa.

Gráfica 15. Efecto de la frecuencia de corte en la producción de MS Año-1 en pasto Pará bien fertilizado.



Fuente: Vázquez et al., 1980.

Egipto o Para es una especie que responde bien a la aplicación de fertilizantes principalmente de nitrógeno. Sin embargo, cuando va a ser fertilizado, hay que tomar en consideración la oportunidad para llevar a cabo esta práctica, ya que este pasto se desarrolla en suelos que se inundan y los fertilizantes no se deben aplicar cuando hay una lámina de agua en el terreno.

Producción animal: En condiciones de humedales o bajo condiciones de riego, las ganancias de peso vivo pueden variar de 300-800 kg ha⁻¹ año⁻¹, y los toretes en pastoreo han obtenido ganancias por animal de 0.8 a 1 kg d⁻¹ con cargas de 3 cabezas por hectárea. Sin embargo, las ganancias más comunes se encuentran entre los 500 y 600 g diarios por animal y ganancias por hectárea de 400 a 600 kg año⁻¹. Uno de los inconvenientes que se ha observado en el pasto Para es que no soporta fuertes cargas animal, se considera que no se deben emplear más de 3 cabezas/ha por año, ya que con cargas más altas el pasto podría desaparecer.

Entre los ganaderos del sureste de México, el pasto Para es un forraje muy apreciado para la producción de leche. Cuando las vacas productoras de leche, pastorean en este pasto mantienen altas producciones de leche diarias (de 6 a 9 kg). En algunas regiones de Tabasco y Veracruz es empleado durante la época de secas, ya que es cuando muchos terrenos dejan de estar inundados.

Pasto Bigalta

Nombre científico: *Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & C.E. Hubb.

Familia: *Poaceae* (*Gramineae*), Subfamilia. *Panicoideae*, Tribu. *Andropogonea*.

Sinónimos: *Hemarthria fasciculata* (Lam.) Kunth, *Hemarthria compressa* (L.f.) R.Br. subsp. *altissima* (Poir.) Maire, *Manisuris altissima* (Poir.) Hitchc. *Rottboellia altissima* Poir.

Nombres comunes: Pasto limpo, capim gamalote, pasto clavel, *Gramilla canita*.

De *H. altissima* existen diversas variedades o ecotipos, por ejemplo, Lastra en 1986 evaluó en el estado de Veracruz doce ecotipos de esta especie. Los ecotipos que mejores resultados han tenido en estudios en diversas regiones tropicales de América son: Bigalta (PI 29995), Greenalta (PI 299994, Redalta (PI 299993), Floralta (PI 364888, PI 508285). De todos los ecotipos de *H. altissima* que se han estudiado en México, sin duda que es Bigalta el que ha tenido la mejor adaptación y comportamiento en especial en el estado de Tabasco.

Características morfológicas: Las plantas de esta especie son perennes, estoloníferas, pueden presentar rizomas cortos o largos decumbentes que enraízan en los nudos, su altura varía de 30 a 80 cm. Las hojas superiores pueden alcanzar una longitud de 20 cm con 6 mm de ancho normalmente plegadas, tienen lígulas membranosas. La inflores-

encia es en racimo de 6 a 10 cm de ancho, con espiguillas en apariencia opuesta y bisexual. En la espiguilla la segunda gluma es corácea fusionada a la cara externa hueca del raquis, el lema que puede ser fértil es más pequeña que la gluma. La espiguilla masculina pedicelada es más corta que la sésil (Bodgan, 1977).

Origen y distribución: De África Tropical y algunas regiones de Asia, actualmente se encuentra distribuida en un gran número de países, especialmente en el estado de Hawái y Florida, EE. UU. Los estados donde se ha propagado en México son, en primer lugar, Tabasco, seguido de Veracruz y norte de Chiapas.

Requerimientos edafoclimáticos: Se le encuentra en zonas húmedas, como es en orilla de ríos, valles que estacionalmente se inundan por ríos o arroyos, o en zonas de suelos que se inundan en ciertas temporadas, o sea que prefiere suelos con textura arcillosa como son los Vertisoles y Gleysols, y terrenos que presentan inundaciones intermitentes más que los suelos que tienen inundaciones permanentes. También crece favorablemente en suelos Fluvisols, siempre y cuando la precipitación sea abundante durante la mayor parte del año. Se desarrolla en suelos de pH ácido hasta niveles de 5. Meléndez (1988) reporta que *H. altissima* tiene tolerancia a suelos con problemas de salinidad.

Crece desde el nivel del mar hasta 2000 msnm. La temperatura óptima de crecimiento es de 31 a 35 °C, y el desarrollo de esta especie disminuye con rapidez a temperaturas superiores a 38 ° C. Puede resistir heladas; aunque temperaturas de -10 ° C pueden afectarla con severidad, cuando se presentan condiciones de mayor temperatura y humedad la planta puede regenerarse. Se señala (Oakes 1980, Queseberry et al., 1978) que Redalta y Greenalta tienen mayor tolerancia al frío que el ecotipo Bigalta.

Para la región del Golfo de México, se ha observado que cuando hay presencia de lluvia en la época de nortes (noviembre a febrero) Bigalta se recupera bien a pesar de las temperaturas bajas que se presentan en esos meses y que afectan el crecimiento de la mayor parte de los pastos que se cultivan en esta región. El pasto Bigalta no es una especie muy tolerante a la sequía; cuando ésta es mayor de cuatro meses la recuperación del pasto es lenta. Su comportamiento es bueno en zonas con precipitaciones de 2000 a 4000 mm de lluvia y cuando la temporada de secas no es mayor de tres meses. También se tiene conocimiento de que Bigalta no resiste las quemadas. Se reporta que hay indicios de que esta especie tiene propiedades alelopáticas.

Propagación: Los diversos ecotipos de *H. altissima* son pobres productores de semilla (Quesemberry et al., 1978), por lo cual su propagación sólo es posible por material vegetativo. Se puede emplear trozos de estolón de 12 semanas de madurez o bien cepas que contengan de 3 a 4 hijuelos, este último es el método más recomendable y efectivo. El pasto Bigalta es de lento crecimiento inicial, por lo cual se consideran como algo problemático para establecerse, sin embargo, ya después de estar establecida su recuperación después del pastoreo o corte tiende a ser rápida.

Plagas y enfermedades: Las enfermedades como las plagas no constituyen un problema serio en el pasto Bigalta y sus diversos ecotipos. Kretschmer y Snyder (1979), mencionan que los ecotipos Floralta, Bigalta y Redalta son susceptibles al ataque de nematodos (*Belonolaimus longicaudatus*). Con relación a las plagas se reporta que el pulgón amarillo de la caña de azúcar puede atacar algunos ecotipos, pero hay otros que son más resistentes. Los daños provocados por falso medidor y la mosca pinta no han sido a la fecha importantes.

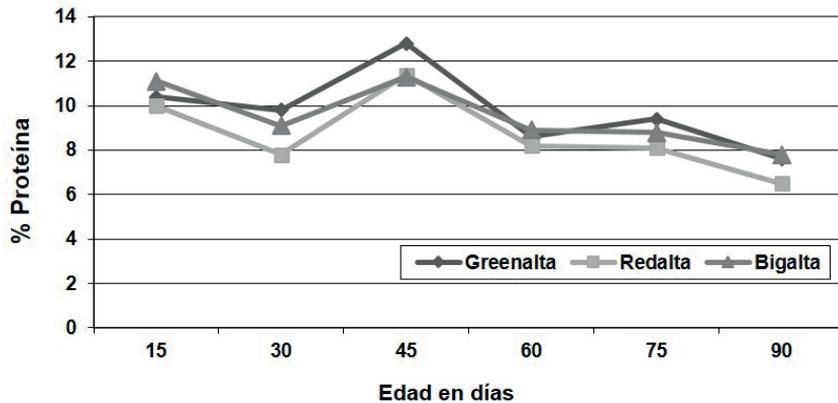
Otros atributos: Se resalta la tolerancia al frío que se presenta durante la época de nortes, así como la disminución lenta de su digestibilidad conforme avanza la edad de madurez de la planta, lo cual le da una ventaja respecto a otras especies forrajeras tropicales. Si bien no existen datos experimentales que confirmen las siguientes observaciones, se tienen varios casos en el ámbito comercial en los que, por razones no planificadas con ese fin, el pasto Bigalta se ha asociado con el pasto Estrella de África o con el Chetumal (*U. humidicola*). Se aprecia que entre estos pastos se da una coexistencia conveniente y no competencia entre especies, lo que permite generar praderas asociadas: en la época de nortes el pasto Bigalta, que es más tolerante a las bajas de temperatura, es la especie que aporta mayor volumen de producción de forraje; mientras que en la época de sequía son Estrella o Chetumal los que aportan la producción de forraje, por ser especies más resistentes a las condiciones de sequía.

Otro punto a destacar, aunque no constituye propiamente un atributo favorable que tiene el Bigalta, es que la mayor parte de los herbicidas, incluyendo los selectivos para especies de hoja ancha, y que comúnmente se emplean para el control de malezas de este tipo en las praderas de gramíneas tropicales como son Glifosato y Picloram, ya sea solos o combinados, afectan el desarrollo de la planta y dependiendo de la concentración empleada pueden causar la muerte de la misma. En el estado de Florida, EE. UU., se reporta que Bigalta se emplea como té, incluso fue patentado y estudiado para conocer sus propiedades (Covarrubias, 1984).

Valor nutritivo: El pasto Bigalta es una especie forrajera que se caracteriza por tener en términos generales mayor cantidad de tallo que hoja. Quesenberry *et al.*, 1978 y Oakes (1973), en relación a la calidad de los diversos ecotipos de *H. altissima*, mencionan que una característica sobresaliente de esta especie es que la disminución de los porcentajes de proteína y

digestibilidad de la MS es lenta, si bien también se presenta conforme se incrementa la edad de la planta, como sucede con todos los pastos tropicales.

Gráfica 16. Porcentaje de proteína de tres ecotipos de *H. altissima* a diferentes edades.



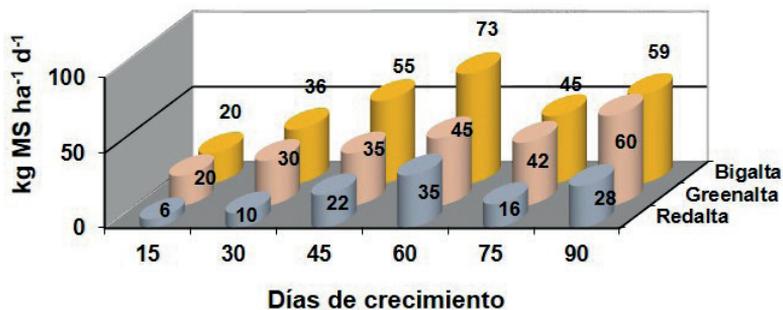
Fuente: Quesenberry et al. (1978).

Respecto a los contenidos de proteína total, dependiendo de la edad éstos pueden variar de un 4 a 15%. También existen diferencias, aunque no tan marcadas, entre Greenalta, Redalta y Bigalta, y es la primera la que presenta los porcentajes más altos (Gráfica 16). En esta gráfica se aprecia que entre los 15 y 45 días de edad los contenidos de proteína varían de un 8% a poco más del 12%. La digestibilidad de la MS varió de 53% a un 74%, con lo cual se confirma que el principal atributo de esta especie es su alta digestibilidad si se emplea en edades entre los 20 y 40 días, los contenidos de fibra varían de 26% a un 30%, los mayores contenidos de este nutriente se observan entre los 45 y 60 días.

Rendimiento de forraje: Los rangos de producción de forraje de esta especie pueden variar de 13 a 18 t MS ha⁻¹ año, lo cual está en función directa de la fertilidad del suelo y las condiciones climáticas. Kretschmer y Snyder (1979), reportan rendimientos en Florida, EE. UU., de 15.2, de MS para Bigalta.

Cuando *H. altissima* crece en suelos de alta fertilidad o recibe fertilización nitrogenada puede presentar altas tasas de crecimiento diarias. En la Gráfica 17 se aprecia como los tres ecotipos en estudio tuvieron un crecimiento diario expresado en los kg MS ha⁻¹ obtenidos por día, hasta los 60 días, y destaca el Bigalta con un crecimiento promedio de 73 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, lo que supera por mucho a Greenalta y Redalta.

Gráfica 17. Taza de crecimiento en kg MS ha⁻¹ d⁻¹ de tres ecotipos de pasto Limpo.



Fuente: Cobarrubias (1984)

La respuesta a los diferentes tipos de nutrientes que requiere la planta es una función del contenido de los mismos en el suelo. En general, los requerimientos de este pasto por Fósforo y Potasio no son altos, la

principal demanda es de Nitrógeno. Se reconoce que este pasto demanda por unidad de superficie, para obtener altos rendimientos de forraje, de las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados o suelos de alta fertilidad natural.

Bigalta duplicó prácticamente su producción de forraje con la aplicación de 250 kg N ha⁻¹ (Rossner et al., 2005), y los incrementos del rendimiento de forraje fueron más altos a medida que se fueron elevando las cantidades de N.

Producción animal: Cuando el pasto Bigalta crece en suelos fértiles o recibe fertilización, básicamente nitrogenada, tiene la capacidad de sostener altas cargas animal. En praderas no fertilizadas puede sostener en promedio de 1 a 1.5 cabezas/ha anualmente en condiciones del trópico húmedo. Con una carga de 6 cabezas de novillos de engorda logró ganancias anuales por animal de 148 kg (407 g d⁻¹) y de 890 kg ha⁻¹ (Cuadro 52).

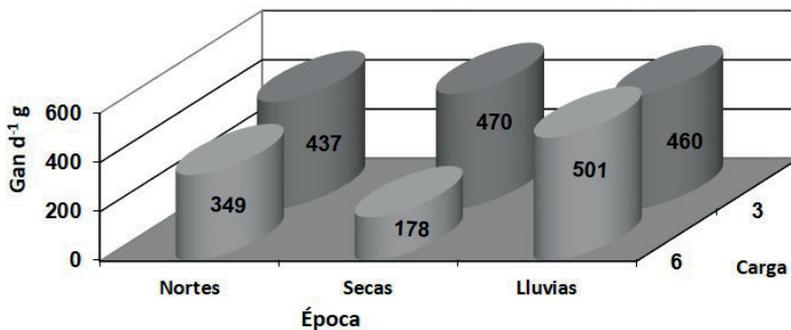
Cuadro 52. Ganancia de novillos en pastoreo de Bigalta fertilizado

Carga animal cabezas ha-1	Ganancia kg año-1 animal	Ganancia kg animal d-1	Ganancia kg ha-1 año
3	164.7	0.452	494.1
6	148.3	0.407	889.8
9	108.0	0.381	972.0

Fuente: Castro, 1990.

A pesar de que a este pasto se le considera de alto valor nutritivo las ganancias por animal, generalmente, no rebasan los 500 g diarios (Gráfica 18), es posible que empleando cargas que no sean más altas de 2 cabezas por ha se obtengan mayores incrementos por animal.

Gráfica 18. Ganancia diaria por animal por época del año de toretes en pastoreo de Bigalta



Fuente: Castro, 1990.

Existe la posibilidad de emplearlo para ensilar o producir heno, y esta última práctica es más recomendable que la primera; también se podría utilizar como forraje de corte, en especial para proporcionarlo a becerros antes del destete.

Pasto Estrella de África

Nombre científico: *Cynodon plectostachyus* K. Schum. Pilg

Familia: Poaceae, Subfamilia: Clorideae, Tribu: Cynodonteae.

Nombres comunes: En la mayor parte de las regiones donde se cultiva en México se le denomina como Estrella de África, Estrella Africana, pasto Estrella y en algunas zonas del estado de Tabasco como Santo Domingo. En muchos otros países de América tropical, también se le conoce con el nombre de Estrella Africana, pero en el Continente Africano se le denomina con diversos nombres comunes.

Características morfológicas: Las plantas de Estrella de África son perennes de porte robusto que en general producen una gran cantidad de estolones, pero no rizomas. Los estolones pueden alcanzar más de cinco m de longitud, con gran capacidad de enraizar en los nudos de 1-3 mm de diámetro en la base de la planta. Las hojas pueden ser corcantes, planas de tipo lanceolada, de color verde a morado-rojo con poca pubescencia casi glabro, con una longitud de 3-30 cm de largo y 2-7 mm de ancho, presenta en la lígula una densa fila de pelos cortos de 0.2-0.3 mm de largo. La inflorescencia presenta espigas digitadas en número de dos a cinco espiguillas solitarias de 2 a 3 mm dispuestas en dos filas a lo largo de una cara del raquis, sus glumas son pequeñas, especie diploide con 18 y 54 cromosomas (Hitchcock 1971, De Wet et al., 1970).

Origen y distribución: *C. plectostachyus* se encuentra en forma natural en los siguientes países del Continente Africano: Etiopía, Kenia, Tanzania y Uganda. En México existen algunos millones de hectáreas sembradas con este pasto, ampliamente distribuido en toda la región del Golfo de México y en la zona del Pacífico, desde el estado de Chiapas hasta Sinaloa.

Requerimientos edafoclimáticos: Estrella de África es un pasto muy versátil en cuanto a los requerimientos de suelo y clima, razón por la cual fue una especie muy exitosa en la regiones tropicales y subtropicales de México a inicio de la década de los setenta, cultivada por gran número de ganaderos principalmente en la región del Golfo de México. En la actualidad existen en el país varios miles de hectáreas, aunque muchas de ellas ya en un periodo decadente; en algunas regiones se le considera como una especie ya naturalizada, como en Tabasco, sur de Veracruz y norte de Chiapas. México es el país de América donde

existe la mayor superficie cultivada de este pasto. Presenta su óptimo desarrollo en suelos de textura franca de alta fertilidad, pero también puede crecer en suelos arcillosos como Vertisoles; puede resistir suelos *buachirnosos* durante 10 o 12 semanas, así como suelos de inundación no permanente, aunque en ambos casos su producción de forraje se puede reducir entre un 30 y 50%; se desarrolla satisfactoriamente en suelos arenosos. En donde tiene problemas de persistencia es en los suelos Oxisoles que tengan un pH por debajo de 5, como es el caso de la sabana de Huimanguillo, Tabasco; en suelos ácidos, pero con pH por arriba de 5 tiene un buen crecimiento, especialmente si éstos tienen buena fertilidad o son fertilizados. Este pasto también puede desarrollarse en suelos que presentan problemas de salinidad (Meléndez 1997, Meléndez y Pastrana., 1996), y puede subsistir en conductividad eléctricas del suelo de hasta 11 mmhos/cm, con reducciones de la producción de forraje que varían de un 70% a 80%. En cuanto a clima, prospera en todos los climas tropicales (Af, Am, y Aw) y subtropicales, especialmente en los más lluviosos.

Propagación: Este pasto en México únicamente se puede propagar por medios vegetativos, ya que la semilla que se produce en el país es prácticamente infértil. Para su siembra se pueden emplear trozos de estolones, o bien, cepas. La cantidad de material que se requiere estará en función del método de siembra que se vaya a emplear. En las regiones del trópico húmedo, prácticamente puede ser sembrado todo el año, y el principal requerimiento es la presencia de humedad en el suelo

Plagas y enfermedades: En relación a enfermedades, éstas no se consideran de importancia económica. En estados maduros de Estrella pueden presentarse *Puccinia graminis*, *Puccinia cynodonis* y *Helminthosporium spp*, en las hojas; sin embargo, cuando el pasto se maneja bajo pastoreo es difícil que la planta pueda llegar a una etapa de madurez en la que

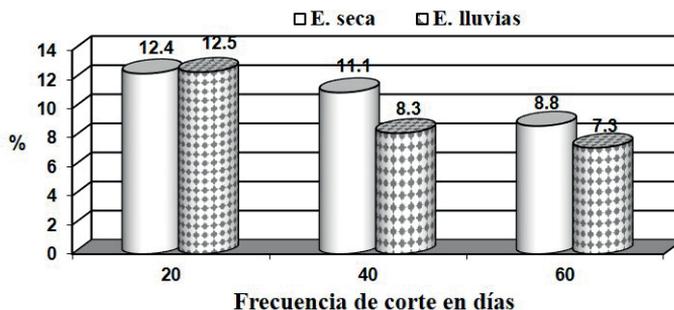
se puedan presentar estas enfermedades. También existen reportes de potenciales daños por la presencia de nematodos.

Sobre plagas, cuando este pasto fue introducido a México presentaba una alta tolerancia al ataque de la mosca pinta o salivazo, sin embargo, en los últimos años se han observado praderas con daños, aunque no severos, de este insecto. En la actualidad, la plaga más importante y frecuente sobre todo en la región del Golfo de México es el gusano desfoliador, conocido como falso medidor *Mocis latipes*, el cual provoca severos daños ya que consume tanto las hojas de las plantas maduras como los nuevos rebrotes de Estrella. También puede provocar daños a este pasto el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), no obstante, la plaga más frecuente es el falso medidor, pues se puede considerar que Estrella de África es el pasto preferido de esta plaga.

Valor nutritivo: En general Estrella de África es un forraje que se puede considerar de intermedio a bajo valor nutritivo para los rumiantes, primordialmente para los bovinos. Es probable que entre las diferentes variedades que existen de este pasto se presente diversidad en la calidad nutritiva, sin embargo, el referente principal es el conocido como Estrella común (*C. plectostachyus*), el más difundido en México.

En la Gráfica 19 podemos apreciar que los porcentajes de proteína cruda de este pasto varían de 12 a 6%, con la observación ya conocida de que los pastos a mayor edad disminuyen el porcentaje de proteína en la planta integral. También hay que resaltar que en la información de la gráfica los valores de proteína son más altos en la temporada de secas que en la de lluvias, lo cual se atribuye a la dilución de este nutriente por la mayor presencia de humedad en el suelo y tejidos de la planta.

Gráfica 19. Porcentaje de proteína de Estrella Africana en diferentes frecuencias de corte y épocas



Fuente: Meléndez et al., 2000

En relación a la digestibilidad de la MS, los rangos en este pasto varían de 40 a 55%, valores que también se encuentran asociados a la edad, ya que la digestibilidad, al igual que la proteína, disminuye a mayor edad del pasto. En el *Cuadro 53*, podemos apreciar los contenidos promedio de lignina, fibra y constituyentes de la pared celular, con rangos de 6.5 a 11.1%, 35.5 a 40.9% y 67.8 a 75.8%, respectivamente para cada uno de los componentes señalados.

Cuadro 53. Componentes del valor nutritivo de pasto Estrella Africana

Componentes	Porcentaj
Proteína	8.8 (2.3)*
Constituyentes pared celular	71.8 (4.0)
Lignina	8.7 (3.8)
Fibra	38.2 (2.7)
Digestibilidad <i>in vitro</i> de la MS	40.3 (5.7)

*Valores entre paréntesis representan la desviación estándar. **Fuente:** Meléndez (1976).

Con esta información, se puede enfatizar que la importancia de este pasto no radica precisamente en su valor nutritivo, sino más que todo en su producción de forraje y tolerancia a diversos factores adversos del medio ambiente.

Otros atributos: Es altamente competitivo con las malezas, pero cuando es sobre pastoreado pueden aparecer otras gramíneas como *Paspalum conjugatum*; estas especies que en general son de hábitos rastreros, pueden desplazarlo ya que no permiten, por la cobertura que desarrollan, que los estolones de Estrella se fijen al suelo, lo cual es uno de los atributos de esta especie (alta capacidad de enraizamiento). A pesar de ser una especie agresiva se puede asociar con algunas leguminosas forrajeras. También se ha observado que se asocia bien con otros pastos como es Chetumal (*U. humidicola*) y Bigalta (*H. altísima*).

Producción de forraje: En el Cuadro 54, se puede analizar el comportamiento de Estrella de África bajo diversos ambientes de clima y suelo en Tabasco. En primer término, se tiene que su rendimiento puede variar desde 4 hasta 26 t MS ha⁻¹ año, y los mayores rendimientos se tienen en suelos de alta fertilidad como son los Fluvisoles y en zonas con precipitaciones por arriba de 2500 mm anuales como sucede en los climas Af.

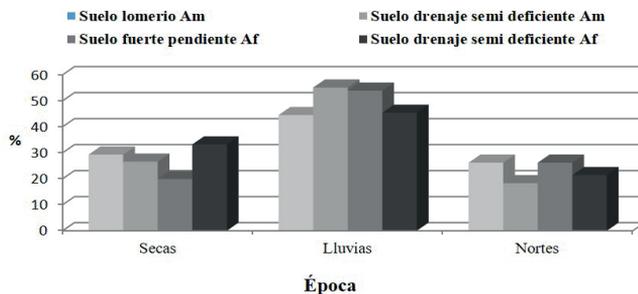
Cuadro 54. Producción de forraje del pasto Estrella de África fertilizado con N en diferentes localidades de Tabasco

Macuspana	Alfisoles	Am	15.2
Jalapa	Fluvisoles	Am	19.2
Tacotalpa	Fluvisoles	Af	21.3
Tacotalpa	Acrisoles	Af	16.6
Teapa	Fluvisoles	Af	25.9
Estación Juárez, Chiapas	Alfisoles	Am	10.5
Sabana de Huimanguillo	Oxisoles	Am	4.21
Cárdenas	Vertisoles	Am	17.0

Fuente: Adaptado de Meléndez et al., 2000.

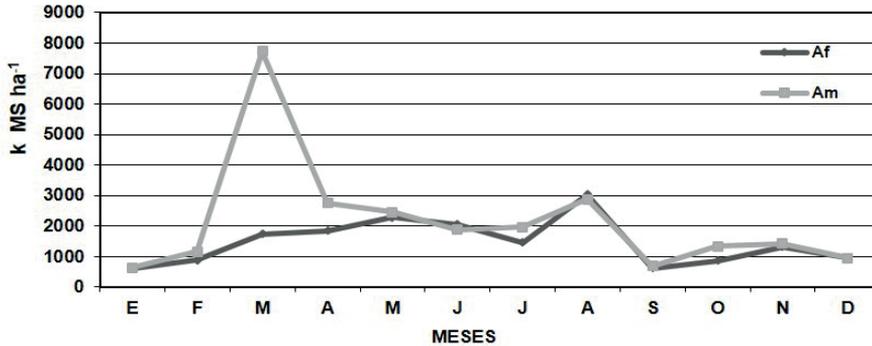
La distribución de forraje de los pastos durante el año es una característica sumamente importante, en la Gráfica 20 se tiene el comportamiento de Estrella para diversas condiciones de suelo en el estado de Tabasco. Se aprecia, como es lógico, que la mayor producción de Estrella se presente en la época de lluvias en todas las condiciones de suelo, sin embargo, en las otras dos épocas del año el suelo tiene un efecto diferente en la producción de forraje. Así se tiene que en suelos con problemas de drenaje en la época de secas (marzo a mayo) se tienen buenas producciones de forraje/ha y esto se atribuye a que si bien las precipitaciones en estos meses son escasas, en el suelo de estos sitios hay una reserva mayor de humedad que permite el desarrollo del pasto; en época de nortes (noviembre a febrero) los excesos de agua en el suelo y otros factores como temperaturas bajas, días cortos y pisoteo del ganado afectan notablemente la recuperación del pasto después de ser pastoreado, y es más notoria la baja producción de forraje en suelos que tienen un drenaje deficiente.

Gráfica 20. Distribución de la producción de forraje por época de Estrella de África en diferentes ambientes de Tabasco.



Fuente: Meléndez y Pérez (1980).

Gráfica 21. Distribución de forraje durante el año de pasto Estrella en dos localidades de Tabasco en suelos arcillosos.

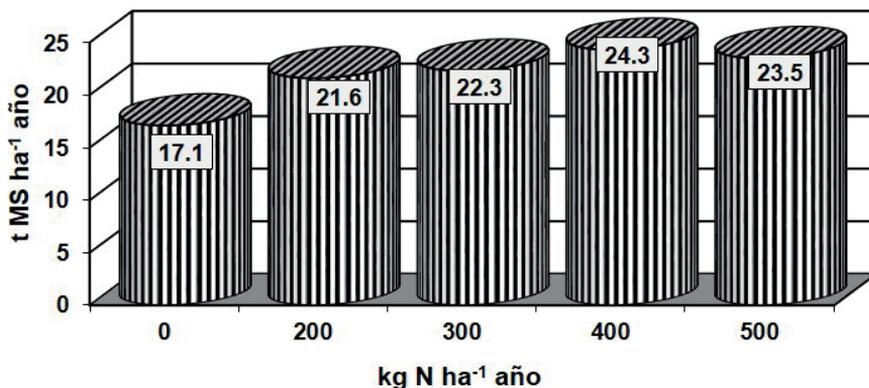


Fuente: Meléndez et al. (2000).

Las anteriores observaciones se confirman en la Gráfica 21, en la que se presenta la distribución de forraje de Estrella por mes en un clima lluvioso (Am) y muy lluvioso (Af), ya que los rendimientos obtenidos fueron los más bajos. También se aprecia en general en todos los climas y suelos que se indican en la gráfica que es la época de nortes cuando el pasto Estrella tiene los rendimientos más bajos de forraje.

Respuesta a la fertilización: Estrella de África es un pasto que responde bien a las aplicaciones sobre todo de nitrógeno, el cual le permite incrementar sustancialmente los rendimientos de forraje. Meléndez et al. (2000), reportan en pasto Estrella fertilizado con nitrógeno y rendimientos por arriba de 25 t MS ha⁻¹ año y una extracción anual de nutrientes del suelo y recuperado en el forraje de 481 kg N⁻¹, 77 kg P⁻¹, 539 kg K⁻¹, 147 kg Ca⁻¹ y 71 kg Mg⁻¹; es de destacar la gran cantidad de Potasio extraído, seguido de Nitrógeno.

Gráfica 22. Respuesta a la fertilización con N en la producción de forraje de Estrella de África.



Fuente: Meléndez et al. (2000)

Producción animal. Las ganancias de peso vivo en pastoreo de Estrella nos indican en primer lugar que esta es una especie cuyo principal atributo es su elevada capacidad de carga animal, en especial cuando se cultiva en suelos de alta fertilidad o cuando es sometida a fertilización de productos nitrogenados y esto, a su vez, se traduce en producciones relativamente altas de carne en pie por hectárea, con rendimientos que van de 500 a 600 kg ha⁻¹ año y carga animal entre 3 y 4 cabezas por hectárea para zonas donde la época de sequía no es muy crítica. Sin embargo, las ganancias de peso vivo por animal son en general por debajo de los 0.500 kg por día en condiciones de pastoreo.

En el Cuadro 55 se puede observar que Estrella es un pasto que responde muy bien en la producción de carne a las aplicaciones de N, en dosis de hasta 200 kg ha⁻¹ año⁻¹, con lo cual se confirma su exigencia de este nutriente para mantener altas cargas animal.

Cuadro 55. Ganancia de novillos en pastoreo de Estrella de África bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada en Tabasco.

Niveles de N en kg ha-1 año	Ganancia animal/día en kg	Carga animal cabezas/ha	Ganancia animal kg ha-1 año
0	0.383	2.6d	358d
100	0.433	3.0c	481c
200	0.388	3.8b	538b
300	0.329	4.7a	537 ^a

Fuente: adaptado de Meléndez et al. (2000). Medias seguidas de letra diferente dentro de columna indican diferencias significativas (Duncan 5 %).

En el Cuadro 56, se presenta el potencial sobre producción de leche de este pasto, debido a su alta capacidad de carga animal que puede sostener cuando recibe fertilización nitrogenada, puede obtener altas producciones principalmente por hectárea.

Cuadro 56. Producción de leche con diferente carga animal en pastoreo de Estrella de África

Carga vacas ha-1	Kg lactancia-1	Kg MS ha-1
3	3 116	9 352
4	3 267	13 061
5	3 627	18 133

Fuente: Pérez et al. (1986).

Esta especie forrajera también se puede utilizar para henificar, sin embargo, no se debe descuidar la calidad del producto. Como ya fue señalado con anterioridad, esta especie se puede clasificar como una especie de intermedia calidad nutritiva.

Pasto Urochloa Yacaré o Caimán.

Nombre Científico: *U. decumbens* × *U. brizantha* × *U. ruziziensis*.

Familia: *Poaceae*, Subfamilia: *Panicoideae*, Tribu: *Paniceae*.

Este pasto es una especie que actualmente se encuentra en vías de expansión en América tropical. Es un híbrido obtenido por el CIAT, y se identifica como CIAT BRO2/152.

Características morfológicas: El crecimiento del pasto Caimán es amacollado, además produce una gran cantidad de estolones; así mismo, en presencia de humedad modifica su hábito de crecimiento y a temprana edad desarrolla un gran número de tallos decumbentes, los cuales producen hijos y raíces en los nudos; dichas raíces adventicias dan sostén, absorción de nutrientes y proveen de oxígeno a la planta en esas condiciones adversas de mal drenaje. (Grupo Papalotla, 2018). Este híbrido de *Urochloa* viene tomando fuerza su empleo, especialmente en zonas de la costa Caribe o los Llanos Orientales de Colombia, en donde algunos productores lo vienen implementado. Se destaca porque responde bien en terrenos húmedos o sin muchos nutrientes. Es un pasto con excelente calidad forrajera. Resistente a humedad e ideal para el uso de suelos con tendencia a encharcarse de ahí su nombre, las observaciones que se tiene es únicamente soporta encharcamiento que no duren muchos días pues si duran varias semanas pueden afectar su persistencia.

Valor nutritivo del Yacaré o “Caimán”: Estudios realizados en la Universidad de Florida- EEUU, en ensayos de pastoreo con diferente frecuencia de utilización de la pastura (2, 4 y 6 semanas), muestran el alto valor nutritivo en el contenido de proteína bruta y en la digestibilidad

in vitro de la materia orgánica en los dos nuevos híbridos de *Urochloa*: cultivares Mulato II y CIAT BR02/1752 (Pizarro, 2013).

Producción de forraje pasto Yacaré o Caimán: En un ensayo donde se estimó la producción de forraje acumulada, cada diez semanas en el periodo lluvioso en Oaxaca–México, el híbrido de *Urochloa* CIAT BR02/1752, alcanzó una producción de forraje de 15 t MS ha⁻¹, semejante a la del cv. Marandu que acumuló 13 t MS ha⁻¹. (Pizarro, 2013). En otra de las pruebas realizadas, en la misma localidad, donde se estudió la aplicación de diferentes niveles de nitrógeno se observó que el nuevo híbrido de *Urochloa* CIAT BR02/1752, responde en forma lineal a la aplicación de nitrógeno, variando de 3 a 23 t MS ha⁻¹, cuando el nivel de nitrógeno se incrementó de 0 a 200 kg N ha⁻¹, respectivamente. Se estima que la producción de forraje en diferentes intervalos de cortes varía a 30, 60, 90 y 120 días de crecimiento, la curva de producción varía desde 4 a 21 t MS ha⁻¹. (Pizarro, 2013).

Cuadro 57. Rendimiento acumulado de t MS MV ha⁻¹ en épocas de norte. En la Región de la Chontalpa Tabasco

Pasto	Porcentaje promedio de MS	T MS ha ⁻¹	Percentage promedio de Hoja
Bigalta	23.88	6.587 b	54.4
Caiman	20.78	6.490 b	70.1
Chetumal	23.78	11.317 ab	60.6

Fuente: Melendez (2020) datos sin publicar.

Sobre el pasto Caimán aún no hay suficiente información documentada disponible. En el Cuadro 57 Se observa en una comparación con otros pastos, que no supera en rendimiento durante la época de nortes (noviembre a febrero) en producción de forraje a Chetumal, pero si supera a este y a pasto Bigalta en el porcentaje de hoja, lo cual es un indicador potencial de mayor calidad nutritiva.

Pasto Chetumal

Nombre científico: *Urochloa humidicola* (Rendle) Schweick

Sinónimos: *Brachiaria humidicola* (Rendle) Morrone y Zuloaga Y *Panicum humidicola* Rendle

Familia: *Poaceae*, subfamilia: *Panicoideae*, tribu: *Paniceae*.

Nombres comunes: Humidicola, Braquiaria dulce, Kikuyu de la Amazonia, pasto humidicola dulce, Aguja. En el estado de Tabasco se le conoce también como huminicola, y Santo Domingo. Fue liberado en México (CIAT 679) con el nombre común de pasto Chetumal. Otro cultivar identificado como CIAT 6133 se le conoce con los nombres comunes de Llanero (Colombia), Ganadero (Venezuela), Gualaca (Panamá) y Bruca (Costa Rica).

Características morfológicas: Pasto perenne fuertemente estolonífero y rizomatoso, lo cual le permite formar una densa cobertura del terreno, de tallos postrados arqueados en su parte inferior, con gran capacidad para producir raíces en sus nudos, cuando se presenta la floración los tallos son erectos con una altura de 20 a 60 cm. De hojas lanceoladas color verde brillante, rígidas, de 5-16 mm de ancho y hasta 25 cm de ancho, pero generalmente de 12 cm o menos, glabras o escasamente pilosas, con márgenes engrosados. La lígula presenta una franja de pelos

cortos, inflorescencia de 7 a 12 cm de largo, en racimos velludos, muy espaciados en un eje central, racimos de 2.5 a 5.5 cm de largo, de color verde claro con tintes morados. Raquis estrecho en ángulo, ondulado, espiguillas de 4.5-5.5 mm de largo, dos flores, dispuestas en dos hileras a lo largo de cada lado de un eje, estrechas y en ángulo. De glumas desiguales, glabras, ambas muy nervudas, alta cantidad de flores bisexuales.

Origen y distribución: Es un pasto nativo de África, sureste del Sudán y Etiopía, norte de Sudáfrica y sur de Namibia. En la actualidad está ampliamente distribuido en regiones del trópico húmedo de Sudamérica, Islas del Pacífico y sureste de Asia, así como en regiones costeras del Norte de Australia. En México se ha expandiendo ampliamente en las regiones que presentan condiciones de trópico húmedo, como son Oaxaca, Veracruz, Chiapas, Tabasco y norte del estado de Campeche.

Requerimientos edafoclimáticos: El *U. humidicola* es un forraje que crece bien en las regiones tropicales con altitudes desde el nivel del mar hasta 1000 msnm. En el área donde es natural en el África ecuatorial crece a una altura de hasta 2.400 msnm. Este pasto se adapta bien a una gran diversidad de suelos, dentro de los cuales se tienen los fuertemente ácidos (pH de 4) de baja fertilidad natural y alta concentración de aluminio intercambiable con bajos niveles de P, pero responde muy bien a las aplicaciones de N y P, hasta suelos de reacción neutra y alcalina que por su contenido de bases intercambiables son de alta fertilidad natural. Tiene un excelente comportamiento en suelos pesados de textura arcillosa y que presentan problemas de inundación intermitentes durante la temporada de lluvias y/o nortes, incluso puede soportar láminas ligeras de agua permanente, aunque en este caso la producción de forraje se puede reducir. También existen antecedentes de que este pasto tolera suelos con cierto nivel de salinidad.

Sus requerimientos de precipitación varían de 1000 a 4000 mm anuales, preferentemente la lluvia debe estar bien distribuida durante el año. En su región natural puede crecer con 600 mm de lluvia, pero es pobre el desarrollo y más cuando la sequía es mayor a 6 meses. Al pasto Chetumal se le considera como especie resistente a la sequía, con lo que supera a pastos como Chontalpo, Insurgente, Mulato e incluso a Estrella de África. Requiere de temperaturas sobre 20 ° C, tiene una pobre tolerancia a las heladas, pero soporta las quemas. Tiene mediana tolerancia a la sombra. Se puede sembrar en plantaciones de cocotero, pero no es muy conveniente en plantaciones de cítricos maduras.

Propagación: El pasto Chetumal se puede propagar por semilla y material vegetativo. Las siembras por semilla de este cultivar (CIAT 679) pueden ser problemáticas, ya que la semilla tiene un bajo porcentaje de germinación. En cierta forma esto se debe a que la semilla puede estar “latente” durante 6 meses después de la cosecha. Por otro lado, la calidad de la semilla disminuye con rapidez si se almacena de forma inadecuada. Cuando se va a sembrar por semillas es importante, como una medida para aumentar la germinación, escarificarlas, lo cual se puede hacer con agua. Sin embargo, debido al gran número de fracasos que se han tenido lo más conveniente sería realizar las siembras por material vegetativo. Para sembrar este pasto por material vegetativo se pueden emplear estolones, guías o bien cepas, este último es muy efectivo, pero es más costoso que el empleo de estolones. Cuando se usan para la propagación los estolones es recomendable que éstos tengan una madurez de 8 a 10 semanas, ya que a esta edad los nudos de los tallos de este pasto son propicios para emitir raíces y/o tallos. La época más propicia para la siembra de Chetumal en las regiones con clima tropical húmedo es de junio a septiembre. De octubre a febrero si bien hay humedad en

el terreno por efecto de los nortes, las bajas temperaturas, días cortos y alta presencia de nubes causan que el periodo de establecimiento se prolongue hasta por seis meses.

Plagas y enfermedades: Se considera que Chetumal es tolerante al ataque de la mosca pinta o salivazo (*Aenolamia spp.*, *Prosapia spp.*, entre otros géneros), por consiguiente, no se puede clasificar como especie resistente al ataque de esta plaga; sin embargo, aunque puede sufrir ligeros ataques, la planta tiene un mecanismo fisiológico que le permite una alta capacidad de rebrote o recuperación. Se le considera resistente al ataque de hormigas (*Acromyrmex spp.* y *Atta spp.*) que defolian las hojas. Puede ser dañado por el ataque de los gusanos falso medidor (*Mocis latipes*) y gusano soldado (*Spodoptera frugiperda*). Sobre enfermedades la principal es la Roya de la Hoja, la cual es provocada por *Uromyces itálica*. Aunque en otros países se menciona que puede afectar y dañar severamente la planta, en México no se sabe de daños severos.

Otros atributos: Su gran capacidad de recuperación después de ser defoliada, le permite ser altamente competitiva con malezas agresivas y otras especies forrajeras. Tiene una amplia gama de adaptación a diversos tipos de suelos, y es un sustituto ideal del pasto Estrella de África. Fisher et al. (1994) señalan a *U. humidicola* como un magnífico “secuestrador” en el suelo de C atmosférico, que es un factor de suma importancia en la mitigación del denominado efecto invernadero.

Valor nutritivo: Este pasto se puede clasificar por su calidad nutricional como una especie forrajera de calidad intermedia. Aunque el valor nutritivo es modificado por las condiciones de fertilidad del suelo, clima y condiciones de manejo a las cuales el pasto es sometido. Es de esperarse que en suelos pobres en nutrientes la calidad nutritiva del pasto sea más baja que en un suelo de alta fertilidad o que es fertilizado en forma apropiada de acuerdo con los requerimientos de nutrientes que tiene el suelo.

Cuadro 58. Contenido de proteína cruda y digestibilidad de la MS de pasto Chetumal

Tipo de forraje	% Proteína	% DIVMS
Hojas de la planta cosechada cada 6 semanas, en suelo Inceptisol	13 (9-17)	68 (54-75)
Hojas de la planta cosechada cada 6 semanas, en suelo Oxisol, tiempo de lluvias	6 (5-8)	65 (60-70)

Fuente: adaptado de Lascano y Euclides (1998)

En el Cuadro 58 se aprecia como la fertilidad del suelo influyó en la calidad del pasto Chetumal, ya que en un suelo inceptisol se tienen mayores contenidos de proteína y digestibilidad de la MS, que en un suelo de tipo oxisol, más pobre en nutrientes que el primero. El contenido de proteína en hojas de 6 semanas fue de 13 y 6 %, con un rango de variación de 5 % al 17 %.

Cuadro 59. Composición de proteína y lignina del pasto Chetumal

Nutrimiento	Unidades	Valor
Materia seca	% de la materia fresca	19.3
Lignina	% fibra detergente neutro	7.8
Proteína cruda	% de la materia seca	7.5
Proteína soluble	% de la proteína cruda	44.1
Nitrógeno no proteico	% de la proteína soluble	51.7
Proteína en fibra detergente neutro	% proteína cruda	19.5
Proteína indigestible	% proteína cruda	6.1

Fuente: Juárez et al., 2002.

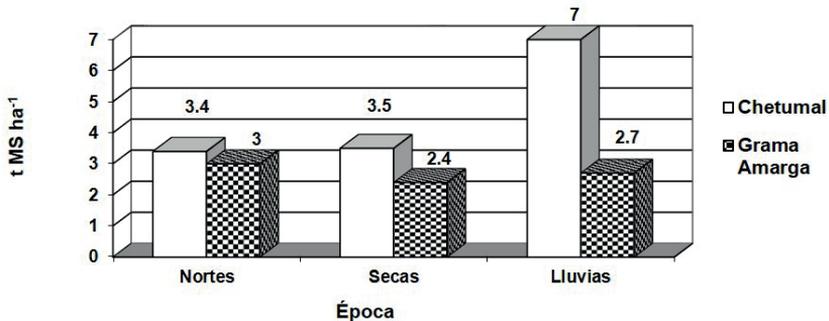
La digestibilidad de la MS en las hojas fue de 65 a 68 % con un rango que puede variar de 54 % a 70 %, estos valores en general tienden a ser más bajos cuando se reportan de la planta integral, ya que lo normal es que los tallos presenten valores más bajos de proteína cruda y digestibilidad de la MS.

En el Cuadro 59 se presenta información sobre la calidad del pasto Chetumal, en donde se expone a más detalle los diferentes componentes de la proteína y la cantidad de lignina. Lascano y Euclides (1988) mencionan que este pasto presenta bajos niveles de Ca y que tiene altos niveles de oxalatos, lo cual puede provocar problemas en caballos. Esto último no ha sido reportado en las zonas donde se cultiva el Chetumal actualmente en México.

Rendimiento de forraje: Este pasto es una especie que se está cultivando ampliamente en casi todas las regiones del trópico húmedo y trópico seco de México.

El *U. humidicola*, dependiendo de la fertilidad del suelo y condiciones de clima y si es sometido principalmente a una fertilización con N, puede presentar por año producciones de forraje que varían de 7 a 32 t MS ha⁻¹. Bajo condiciones de fertilidad natural es posible obtener un promedio de 17 t MS ha⁻¹ año.

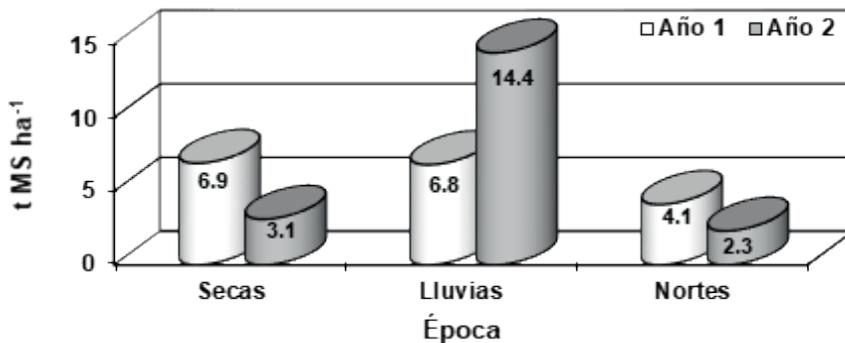
Gráfica 23. Producción de pasto Chetumal por época del año en el municipio de Pichucalco, Chiapas.



Fuente: Bustamante et al. (1990).

En la Gráfica 23 se aprecia que el Chetumal supera no únicamente a la Grama Amarga (*Paspalum conjugatum*) en la producción de forraje acumulada por año, sino que también en las tres épocas del año que se presentan en el estado de Tabasco, esto es, que tiene mayor disponibilidad de forraje en las épocas de nortes y secas, con la siguiente distribución de forraje total: 50.5 % en lluvias; 24.4 %, en nortes; y 25.1 %, en la época de sequía.

Gráfica 24 Producción de forraje por época del año de pasto Chetumal en la zona costera de la Chontalpa, Tabasco.

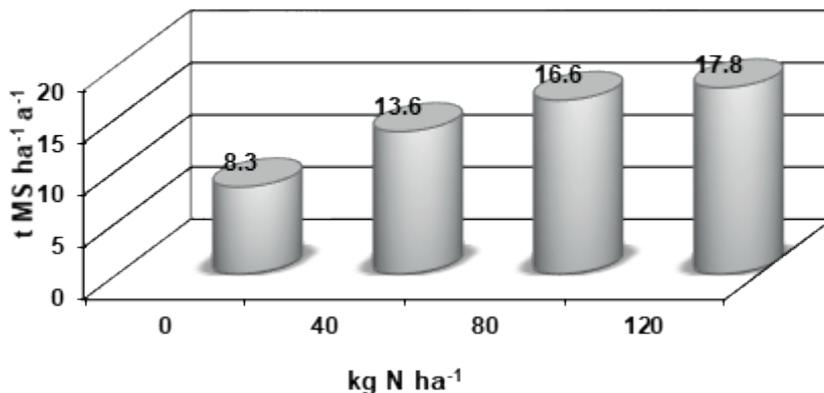


Fuente: Meléndez (1996)

En otra localidad de Tabasco, menos lluviosa que la descrita anteriormente, la producción total de forraje fue de 17.8 t MS ha⁻¹ y en el segundo año ésta fue de 19.8 t ha⁻¹. Como se puede apreciar (Gráfica 24) el pasto tiene un mejor comportamiento en rendimiento de forraje en la época de secas que en la de nortes, por lo cual se podría inferir que es más tolerante a la falta de agua que a las bajas temperaturas y días cortos que se tienen en la época de nortes en la región del golfo de México.

El pasto *humidicola* o Chetumal, como ya fue mencionado, es una especie que se adapta muy bien a condiciones de acidez extrema y de suelos pobre en macronutrientes, pero cuando se le aplican fertilizantes o abonos orgánicos las respuestas en producción de forraje son muy notables.

Gráfica 25 Respuesta a las aplicaciones de N de pasto Chetumal en la producción de MS.



Fuente: Meléndez (1996)

Como se puede apreciar en la Gráfica 25, las respuestas del pasto a las aplicaciones de N fueron lineales hasta la máxima dosis, que fue de 120 kg ha⁻¹ (Con posibilidad de que el pasto responda a mayores dosis de N). La cantidad de forraje prácticamente se duplicó con las dosis de 80 y 120 kg de N en relación a la producción de forraje que obtuvieron las praderas de Chetumal, que no recibieron fertilizante.

Producción animal: El pasto Chetumal tiene como uno de sus principales atributos la alta capacidad de carga animal, lo cual se puede traducir en producciones altas por unidad de superficie, especialmente en la

engorda de ganado o bien para ganado de cría. Debido a su gran capacidad de rebrote, es un forraje que se presta para un manejo intensivo, por lo que es conveniente manipularlo en sistemas rotacionales intensivos de alta intensidad de carga animal. En tiempo de lluvias es una especie que se puede recuperar con un promedio de 20 días de reposo, dependiendo de la fertilidad del suelo; en tiempos de bajo crecimiento el pasto Chetumal requiere reposo que varía de 30 a 40 días, lo cual corresponde a las temporadas de sequía y nortes, esto último en la región del Golfo de México.

Cuadro 60. Ganancias de peso vivo de animales en pastoreo de Chetumal			
Manejo	Carga animal Cab ha⁻¹	Ganancia kg ha⁻¹ a⁻¹	Ganancia kg Animal a⁻¹
1500 mm de pp. época seca de 6 meses sin fertilización. Suelo Latosol rojo oscuro	2.0	228	114
2200 mm de pp. época seca de 4 meses, suelo Oxisol, fertilizado con P	1.9	176	93
2200 mm de pp. época seca de 4 meses, suelo Oxisol, fertilizado con P	2.0	230	115

Fuente: Adaptado de Lascano y Euclides, 1998.

En el Cuadro 60 se presentan las ganancias reportadas para dos tipos de suelos. Se puede apreciar que el pasto soporta relativamente cargas animal altas (2 cabezas ha⁻¹). Hay que resaltar que en este tipo de suelos por lo general se requiere de dos ha por animal con la pastura natural con ganancia muy baja tanto por hectárea como por animal.

Otros usos: Debido a su resistencia a la sequía y exceso de humedad, y a su gran número de estolones, se puede emplear como una especie para prevenir la erosión del suelo en terrenos de fuerte pendiente, canales de riego o de drenaje. También es posible elaborar heno con

buen rendimiento de pacas por ha, para mejorar la calidad del heno sería bueno considerar la asociación de este pasto con una leguminosa. Otra opción de uso por su porte es para el control de malezas en plantaciones que no proyecten un fuerte sombreado.

Leguminosa Cacahuatillo tropical

Nombre científico: *Arachis pintoi*

Familia: *Fabaceas*, Subfamilia. *Papilionoides* Tribu. *Aeschynomeneae*, Subtribu. *Stylosanthinae*, sección: *Caulorrhizae*

Nombres comunes: Cacahuatillo, Maní Forrajero Perenne, Maní Perenne, y *Arachis*.

El género *Arachis* está compuesto por especies diploides ($2x = 20$ ó $2x = 18$) y triploides ($4x = 40$). Existen alrededor de 80 especies de este género, el cual se conforma por nueve secciones (Valle y Simpson, 1995).

De esta leguminosa existen varios cultivares promisorios liberados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT): el cultivar CIAT-17434, al que se le denomina con los siguientes nombres comunes: Amarillo, Maní Forrajero, Perenne, Pico Bonito, Maní Mejorador. Éste fue el primer cultivar liberado y adoptado por varios países de Centro y Sudamérica, pero posteriormente se han liberado otros materiales con mejores atributos, como son Porvenir CIAT-18744, Itacambira CIAT-22160 y Belmonte Bra-031828. Otros materiales, también promisorios, son CIAT-18747, CIAT-18748, CIAT-18751, CIAT-22268 Y CIAT-22172. El que se ha distribuido más en México es el cultivar CIAT – 18744, con muy buen comportamiento.

Características morfológicas: Leguminosa herbácea y perenne de hábito de crecimiento rastrero y estolonífero (algunos cultivares

pueden producir cerca de 400 estolones por metro cuadrado), que por lo general cubre todo el suelo donde se le siembra. De un porte más que todo bajo, puede alcanzar alturas entre 20 y 40 cm. Raíz axomorfa sin engrosamiento, su primera rama es erecta, de la base de la planta parten tallos fuertemente enraizados en sus nudos, tallos cilíndricos, angulosos y huecos (Fisher y Cruz, 1995). Sus hojas son alternas y compuestas con cuatro folíolos ovoides de color verde oscuro a claro, presenta una floración indeterminada y continua; sus espigas son axilares, con cuatro a cinco flores esparcidas; las flores son de una coloración amarilla que puede variar de claro a intenso según el cultivar de que se trate. Estas flores, después de la fecundación, se marchitan sin caerse del carpóforo que se entierra en el suelo y produce una vaina clasificada como cápsula indehiscente, la cual normalmente contiene una semilla, a veces dos y de forma excepcional tres (Grof, 1985). La producción de flores es dependiente del fotoperiodo, con un requerimiento de 12 horas de luz por día como valor crítico; los brotes florales en desenvolvimiento se vuelven visibles de 36 a 48 horas antes de que abra la flor.

Origen y distribución: Originaria de Sudamérica, específicamente de Brasil, de los estados de Bahía, Goiás y Minas Gerais. A México fue introducido entre el periodo 1995 y 2000. Se le puede encontrar en Tabasco, Veracruz, el norte de Chiapas y las regiones más húmedas de Chiapas.

Requerimientos de suelo y clima: El Cacahuatillo crece en una amplia gama de suelos, en texturas de suelos pesados arcillosos a arenosos, sin embargo, prefiere los de textura franca (Pizarro, 2001). También se desarrolla en suelos ácidos con un pH de 4, no obstante, su mejor comportamiento se da en pH por arriba de 5 y baja saturación de Aluminio y Hierro intercambiable. Se desarrolla de forma lenta en suelos de baja fertilidad y su crecimiento es más agresivo en suelos de mediana a

alta fertilidad natural. Esta leguminosa tiene el atributo de crecer bien en suelos muy arcillosos que se saturan de humedad, denominados comúnmente como “huachirnosos” en periodos no muy prolongados; por lo contrario, suelos de inundación permanente o prolongada no son apropiados. Hay que resaltar que en los suelos de buen drenaje es donde *A. pintoii* tiene su desarrollo óptimo.

Esta leguminosa prospera en altitudes que van desde el nivel de mar hasta los 1500 msnm. Es una planta típicamente adaptada a las condiciones climáticas prevalecientes en el trópico húmedo, en el que se presentan climas del tipo Af y Am (de acuerdo con la clasificación de Koopen). Sus requerimientos de lluvia van de 1800 a 4000 mm, pero que esta precipitación esté distribuida durante todo el año; sitios con sequías de más de tres meses no son los más apropiados a no ser que se emplee riego en los periodos de encases de lluvia, no tolera sequías extremas. Tiene su desarrollo óptimo en rangos de temperatura ambiente de 22° a 28°C. El Cacahuatillo tolera la sombra, crece mejor en condiciones sombreadas que a pleno sol, o sea que esta leguminosa se ve favorecida para su desarrollo cuando está asociada con otras plantas (gramíneas, arbusto y árboles), sin embargo, cuando está bajo sombra, reduce sustancialmente su floración respecto a la que presenta a pleno sol, que es muy abundante. En general, florea todo el año, pero disminuye de noviembre a febrero.

Propagación: El Cacahuatillo se puede propagar tanto por material vegetativo como por semilla. Independientemente del material que se emplee, el periodo de establecimiento es bastante lento, sobre todo en los dos primeros meses después de su siembra, sin embargo, hay que resaltar que esta leguminosa conforme pasa el tiempo mantiene o incrementa su cobertura. Cuando se desea propagar por material vegetativo,

se deben utilizar trozos de estolones (tallos o guías) de 20 a 25 cm de longitud. Esta especie tiene la capacidad de emitir un gran número de raíces en los nudos de sus tallos, lo cual le permite lograr un alto porcentaje de “prendimiento” del material sembrado, cuando las condiciones del suelo y clima son apropiadas.

Existiendo humedad en el suelo, el *A. pintoii* se puede sembrar la mayor parte del año, sin embargo, los meses más recomendables son junio y julio. Como ya se señaló, esta leguminosa es lenta en su establecimiento y el periodo para obtener una cobertura superior al 80 % en siembra pura puede variar de 6 a 7 meses. Según observaciones a nivel de campo, esta especie va de menos a más en su población conforme pasa el tiempo, aun en condiciones de pastoreo, siempre y cuando la pradera no sea sometida a sobrepastoreo. Se considera que la propagación recomendable es por semilla.

Plagas y enfermedades: Se tienen identificadas varias plagas y enfermedades que atacan a *A. pintoii*, pero no son de gran importancia económica hasta la fecha, lo cual podría estar relacionado a que esta leguminosa no se cultiva ampliamente en el país.

Valor nutritivo: El Cacahuatillo es una leguminosa de buena calidad alimenticia para los rumiantes, ya que presenta unos buenos contenidos de proteína, digestibilidad de la MS y consumo por el animal. Sus rangos promedio de proteína cruda varían de 14 % a 18 % y una digestibilidad de la MS del 62 al 71 %. Se clasifica al *A. pintoii* como una leguminosa con un contenido moderado de taninos, con más de 30 y menos de 60 g kg⁻¹. Este nivel puede resultar benéfico para el animal, ya que se ha observado un incremento positivo en el sobrepaso ruminal de proteína y en la retención del Nitrógeno, sin que el contenido de taninos afecte el consumo voluntario ni la digestibilidad de la fibra. Lascano

(1995) reporta para el cultivar CIAT-17434 un 2.5 % de taninos. Los taninos condensados en especies como *Arachis* pueden estar protegiendo parcialmente la proteína de su degradación en el rumen, como por ejemplo sucede en *Leucaena leucocephala*, pero al mismo tiempo las especies de *Arachis* son una fuente adecuada de Nitrógeno fermentable (por ejemplo, amoniaco del rumen).

Rendimiento de forraje: Esta especie no es una leguminosa que se caracterice por tener altos rendimientos de forraje por unidad de superficie y también tiende a ser una planta de producción de forraje estacional. En el Cuadro 61 se puede apreciar que hay diferencias en la producción de forraje entre ecotipos de *A. pintoii*. Hay que destacar que la mayor parte de las accesiones superan en producción de forraje al CIAT-17434, que fue la accesión que, de inicio, se empezó a cultivar en varios países de América, incluyendo México. También, es de destacar el rendimiento de forraje que presenta el cultivar CIAT-22160 con 13.2 t MS ha⁻¹ por año.

Cuadro 61. Rendimiento de forraje de diversas accesiones de *A. pintoii* en suelos ácidos de Tabasco

Accesión	Rendimiento t MS ha-1	% Cobertura a 100 días de la siembra
CIAT 17434	8.1	3.1
CIAT 18744	10.8	2.6
CIAT 22155	11.2	2.9
CIAT 22159	10.6	3.0
CIAT 22160	13.2	2.3

Fuente: Adaptado de Meléndez 2002

El comportamiento de los ecotipos de esta leguminosa varía para diferentes condiciones de suelo y clima (Cuadro 62) del estado de Tabasco, sin embargo, destacan por sus mayores rendimientos de forraje los cultivares CIAT-22160 y CIAT-18744. Esta última accesión es la que más se ha difundido en diversos estados de México, pero sería también recomendable considerar a CIAT- 22160, principalmente cuando se desee emplear para henificar o ensilar, ya que tiene una mayor altura que las otras, pero también tiene la característica de producir menor cantidad de estolones por cepa.

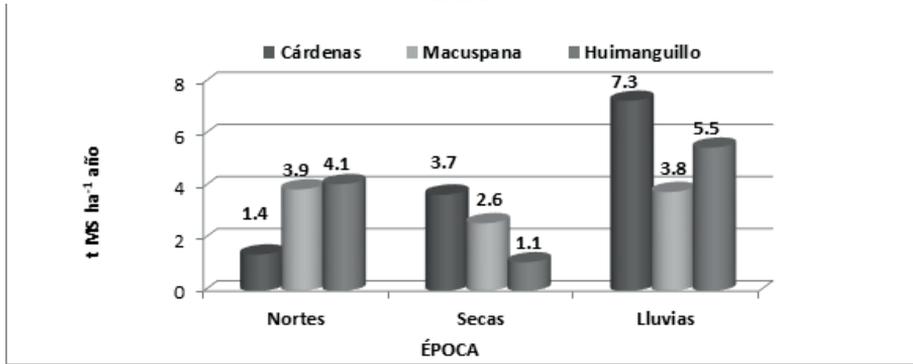
Cuadro 62. Producción anual de forraje en t MS ha⁻¹ por año de varias accesiones de *Arachis pintoi* en varias localidades de Tabasco

Accesión	Chicoacán	Z. Costera	Chichonal	Sabana
CIAT 18733	9.6	11.0 C	6.7 b	4.8 b
CIAT 18744	11.2	11.7 a	7.6 b	8.6 a
CIAT 22155	9.8	13.6 a	6.8 b	6.2 b
CIAT 22159	10.1	13.3 ab	7.3 b	2.9 c
CIAT 22160	12.7	12.5 abc	10.0 a	5.4 b

Fuente: Meléndez y Vázquez, 2007.

En la Gráfica 26 se presenta la distribución de forraje por época del año de la accesión 1874 del Cacahuatillo, que han tenido un buen comportamiento en el estado de Tabasco.

Gráfica 26. Distribución de forraje de la accesión CIAT- 18744 en diversas localidades de Tabasco.



Fuente: Meléndez y Vázquez (2007).

Como se puede ver en los tres sitios de estudio, esta accesión presenta su mayor producción de forraje durante la temporada de lluvias, mientras que en la época de secas hay una notable reducción en la producción de forraje respecto a la de lluvias; en nortes, los rendimientos son intermedios entre las otras dos épocas.

Respuesta a la fertilización: El Cacahuatillo es una leguminosa en general adaptada a suelos pobres, pero cuando éstos tienen pH por debajo de 5 su crecimiento es aún más pobre, lo que se atribuye generalmente a la toxicidad de Al y Fe intercambiable presente en suelos con esas características. Lara (2007) evaluó la respuesta en producción de forraje del CV. CIAT-18744 a diferentes niveles de fertilización con Fósforo y Potasio en

suelos ácidos, y determinó una respuesta a la aplicación al suelo de 40/ha de Fósforo, sin obtener respuestas para las aplicaciones de Potasio.

Producción animal: En el Cuadro 63 se presentan las ganancias de peso vivo de animales en pastoreo de Cacahuatillo en asociación con dos especies de *Urochloa*. Con la adición de la leguminosa y debido a sus mayores contenidos de proteína respecto al que generalmente tienen los pastos tropicales, las ganancias por animal y por hectárea aumentaron respecto a las que obtuvieron los animales que consumieron únicamente pasto. Las más altas ganancias por animal se dieron a partir de la asociación de pasto Chetumal con Cacahuatillo.

Cuadro 63. Ganancia de peso de animales en pastoreo en praderas puras de pasto y pasto más Cacahuatillo.

PASTURA	Carga animal ha-1	kg animal-1	Ganancia ha-1
Chontalpo	0.8	109	87
Chontalpo + Cacahuatillo	1.3	189	246
Chetumal	2.0	82	164
Chetumal + Cacahuatillo	2.0	180	360
Chetumal	2.0	75	150
Chetumal + Cacahuatillo	2.0	160	320

Fuente: Rincón (1994).

Otros usos: Debido a la gran cantidad de estolones que emite, a su hábito de crecimiento rastrero y a su porte bajo, es excelente para evitar la erosión del suelo. El Cacahuatillo produce una gran cantidad de flores de diversas tonalidades amarillas, atributo que le da carácter de planta de ornato en jardinería. También se puede usar para el pastoreo de gallinas ponedoras y pavos, los cuales consumen intensamente la flor, lo que contribuye a dar coloración a la yema de los huevos. Se puede emplear para producir heno de excelente calidad, pero como no es una especie

de porte elevado y de altas producciones de forraje, la cantidad de pacas por unidad de superficie es baja.

Leguminosa kudzú

Nombre científico: *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth.

Cuenta con dos variedades: Var. *Phaseoloides* y Var. *javanica* (Benth.) Baker

Familia: *Fabaceae*, Subfamilia: *Faboideae* Tribu: *Phaseoleae* Subtribu: *Glycininae* También denominada, como: *Papilionaceae*.

Sinónimos: *Neustanthus phaseoloides* (Roxb.) Benth, sinonimo para *Pueraria phaseoloides* var. *phaseoloides*, *Dolichos phaseoloides* Roxb. Sinónimos para *Pueraria phaseoloides* var. *Javanica* *Neustanthus javanicus* Benth, *Pueraria javanica* (Benth.) Benth.

Nombres comunes: Puero, Kudzu Tropical, Centro grande.

Características morfológicas: Leguminosa perenne, algo leñosa y peluda. Sus tallos principales son delgados, de aproximadamente 6 mm de diámetro y hasta 10 m de longitud, tiene alta capacidad de arraigamiento en los nudos de los tallos que están en contacto con el suelo húmedo. Sus ramas secundarias se derivan de los nudos, lo cual le permite crear una densa masa de vegetación 60 a 75 cm de espesor si se deja sin pastoreo o sin cortar. Sus tallos son de hábito trepador. Los brotes tiernos están densamente cubiertos de pelos de color marrón. Sus hojas son grandes, trifoliadas, los cuales están adheridos a pecíolos de 5 a 10 cm de largo cubierto de pelos. Flores pequeñas, dispersas en racimos axilares de 15 a 30 cm de largo sobre pedúnculos de 12.5 cm de largo. Produce gran cantidad de semillas, estas son de; 3 mm x 2 mm, oblongas a cuadradas con esquinas redondeadas, de color marrón a marrón negro. En cada vaina se tienen de 10 a 20 semillas, el número de semillas por kg es de 80,000 a 88,000.

Origen: Se le considera originaria del sur de China, Taiwán, Bangladesh, India, Nepal, Sri Lanka, Camboya, Laos, Tailandia, Vietnam, Brunei, Indonesia, Filipinas, Malasia, Papua Nueva Guinea y las Islas Salomón. Actualmente naturalizada en los trópicos húmedos. En México tiene más de 60 años de emplearse principalmente en las regiones que presentan un clima tropical húmedo como es Veracruz, Tabasco, Oaxaca y Chiapas, aunque también ha sido empleado y cultivado en otros estados. Originalmente se empleó como cultivo de cobertera en varios cultivos perennes tropicales como son; hule hevea, palma de coco, palma africana, cítricos en incluso llegó a utilizarse en plátano.

Requerimientos edafoclimáticos: El Kudzu presenta una amplia adaptación a diversos tipos de suelo, pero no se desempeña bien en suelos que tienen alto contenido de arcillas pesadas, en suelos arenosos tiene un comportamiento regular. El cultivar comercial se adapta bien a suelos bien drenados, pero puede sobrevivir a encharcamientos eventuales. Prospera en suelos ácidos de hasta un pH de 4, con una alta saturación de aluminio, pero requiere de media-alta fertilidad del suelo. Requiere de P y Mg, para poder tener un buen desarrollo vegetativo. No tolera suelos salinos. Prefiere zonas con regímenes de precipitación anual de superiores a 1,500 mm, crece en el trópico sub-húmedo con rangos de lluvia de 1,000 a 1,500 mm año⁻¹. Como ya se mencionó esta leguminosa es, tolerante a anegamiento temporal y cortos períodos de inundaciones. Puede sobrevivir a temporadas secas de 4 a 5 meses, pero aun en esta condición puede perder gran cantidad de sus hojas.

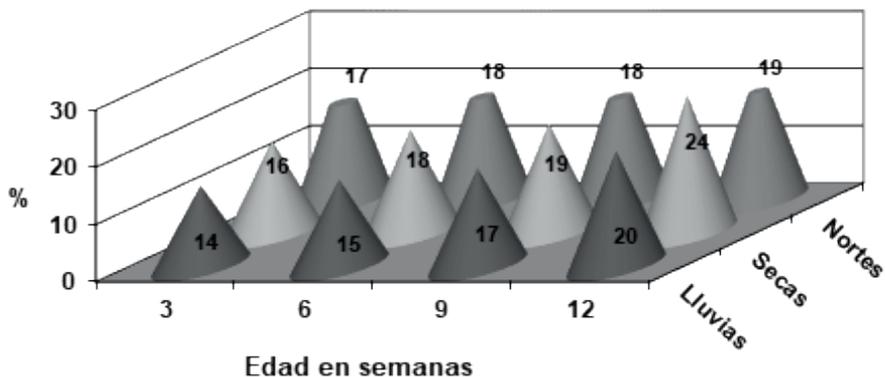
Propagación: La propagación del Kudzu debe realizar por semilla, sin embargo, sus semillas tienen una cubierta dura que afectan la

germinación por lo cual se requiere someterla a escarificación la cual puede ser; por medios mecánicos, químicos o con agua. El tiempo de establecimiento varía de 5 a 6 meses. Su crecimiento inicial generalmente es muy lento, pero su desarrollo posterior a la etapa de establecimiento es excelente. También se puede establecer mediante estolones, pero suelen presentarse bajos niveles de prendimiento. Es recomendable realizar la inoculación de la semilla con cepas de *Rhizobium sp.*

Plagas y enfermedades: En algunos países de América tropical se ha presentado, la mancha de la hoja (*Pseudocercospora puerariae*), causando defoliación en condiciones húmedas. Otra enfermedad que se puede presentar es la Antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*). Bajo condiciones de humedad prolongada, la planta puede ser deshojado por el tizón foliar (*Rhizoctonia solani*), pero se recupera con el tiempo seco. Con respecto a plagas en la fase de establecimiento el Kudzu, puede ser atacado por los siguientes insectos; Hormiga arriera, doradilla, chicharritas y grillos. Una vez establecida la leguminosa los daños de estas plagas no tienen prácticamente importancia económica.

Valor nutritivo: Esta leguminosa presenta un alto nivel de proteína el cual está dentro de un rango de 12 a 24 %, también su concentración de minerales suele ser alta, especialmente calcio. Su digestibilidad de la MS varía de 60 a 70 %. En relación a la aceptación de esta leguminosa por el ganado en pastoreo este requiere de un período de adaptación por el ganado. La palatabilidad se clasifica de baja a moderada, pero este comportamiento está relacionado con la época del año y la etapa fenológica de la planta. No hay reportes de que tenga presencia de compuestos tóxicos para los animales.

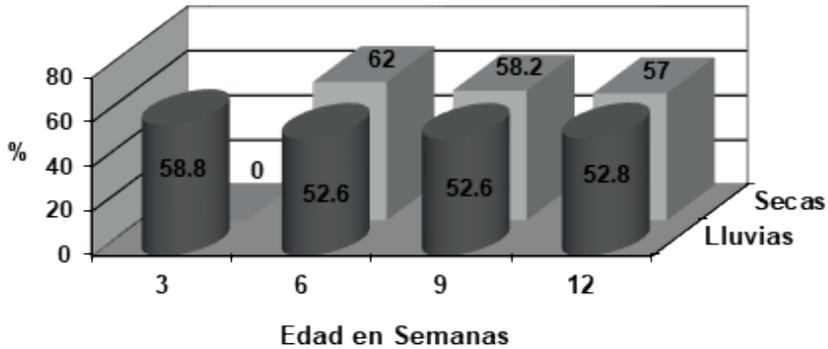
Gráfica 27. Porcentaje de proteína de Kudzu a diferentes edades y épocas del año



Fuente: Meléndez y Granados (2002).

En la Gráfica 27 se presenta los contenidos de proteína del Kudzu durante las tres épocas del año, que se presentan principalmente en la región Central del Golfo México, un aspecto a destacar es que los niveles más elevados de este nutriente se presentaron durante la época de secas, seguido de la época de nortes y los valores más bajos se observaron en la época de lluvias. Otro punto a destacar con esta leguminosa es que a mayor edad de la planta en las tres épocas del año los porcentajes de proteína cruda se incrementaron, esto dentro del rango reportado que fue de 3 a 12 semanas de rebrote de la planta.

Gráfica 28. Digestibilidad de la MS de Kudzu a diferentes edades y épocas



Fuente: Meléndez y Granados (2002).

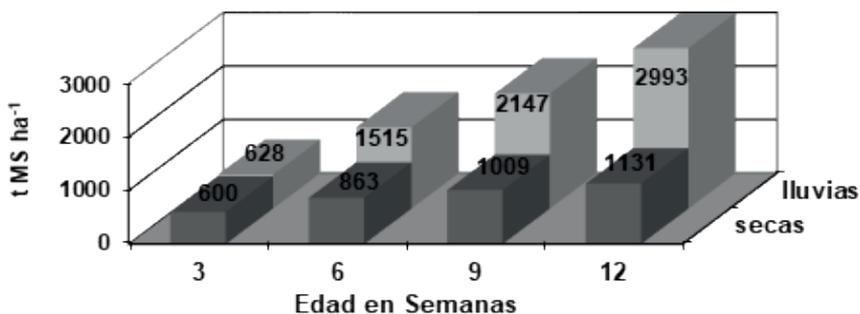
La digestibilidad de la MS, si bien ésta no es muy alta, se encuentra en niveles aceptables, observándose en este caso, contrario a lo presentado con el contenido de proteína, a mayor edad de la planta la digestibilidad de la MS fue disminuyendo, aunque hay que apuntar que durante la época de lluvias la declinación después de 6 semanas es de ligera a nula (Gráfica 28). Durante la época de lluvias los rangos de digestibilidad fueron de 58.8 % a 52.8 % y para la de secas de 62 % a 57 %. Además, a una misma edad de la planta la digestibilidad de Kudzu fue más alta durante la época seca que la de lluvias.

Rendimiento de forraje: Los rendimientos anuales en cultivo puro de esta leguminosa se pueden considerar relativamente altos, los cuales se presentan entre las 5 y 10 t/ha por año. Los rendimientos más altos se presentan en zonas tropicales, con una época seca muy corta o ausente. La producción de forraje durante la temporada de secas es baja, debido a la caída de las hojas, pero en cuanto se presentan las lluvias se tiene una rápida recuperación del follaje.

Cuando el Kudzu es asociado con pastos que le sean compatibles en su desarrollo, la producción de forraje de ambas especies es mayor, sin embargo, bajo esta situación la producción de la leguminosa asociada con el pasto generalmente es más baja que cuando se cultiva la leguminosa como monocultivo.

En la Gráfica 29, se puede observar la producción de forraje del Kudzu como un promedio de diferentes localidades del Sureste de México, los rangos de producción de forraje van de las 3 a 12 semanas en la época de secas de 600 kg a 1131 kg MS ha⁻¹, y en los mismos periodos de 660 kg a 2993 kg MS ha⁻¹, durante la temporada de lluvias.

Gráfica 29. Rendimiento estacional a diferentes edades de Kudzu, promedio de diversas localidades de Mexico.



Fuente: Enriquez et al. (1999).

El Kudzu requiere principalmente en la fase de establecimiento de la aplicación de fertilizantes. Para lo cual se pueden aplicar de 40 a 50 kg de Fósforo por ha y 25 kg de Potasio, esto especialmente en suelos de pH ácido y de baja fertilidad natural. Cuando el cultivo ya está establecido es conveniente una aplicación anual de mantenimiento de 30 a 50 de P ha⁻¹.

Producción animal: En relación a la producción animal, con esta leguminosa cuando ha sido asociada con diversos pastos tropicales se ha logrado obtener ganancias diarias por animal en pastoreo de 400 a 700 g.

En un estudio realizado en la localidad de Matías Romero Oaxaca (*Cuadro 64*), las asociaciones de Guinea-Kudzu y pasto Elefante-Kudzu, obtuvieron ganancias de 500 y 490 g animal⁻¹ d⁻¹, y de 420 y 554 kg ha⁻¹ a⁻¹ respectivamente en las dos asociaciones, las cuales superaron las ganancias que los animales obtuvieron cuando únicamente estuvieron en pastoreo de la gramínea sola. Los incrementos por el uso de la leguminosa para la ganancia por ha fueron de un 31 a 21 % y para la ganancia diaria por cabezas de un 13 a 12 % para la ganancia por ha.

Cuadro 64. Producción de carne en praderas de pasto Guinea y Elefante solos y en asociación Kudzú durante 280 días en Matías Romero, Oaxaca

Especie	Carga Animal Cabezas ha-1	Ganancias de peso (g animal-1 d-1)	Producción de carne (kg ha -1a-1)
Guinea o Privilegio	3.0	442	372
Guinea o Privilegio + Kudzú	3.0	500	420
Elefante	3.7	442	456
Elefante + Kudzú	4.0	496	554

Fuente: Garza (1979).

Otra opción para emplear el Kudzu en pastoreo, es mediante el uso de áreas de cultivo puro (monocultivo) en donde los animales que interesa que consuman la leguminosa entra por determinado tiempo a esta área, después de lo cual pasan a pastorear una pradera de gramínea.

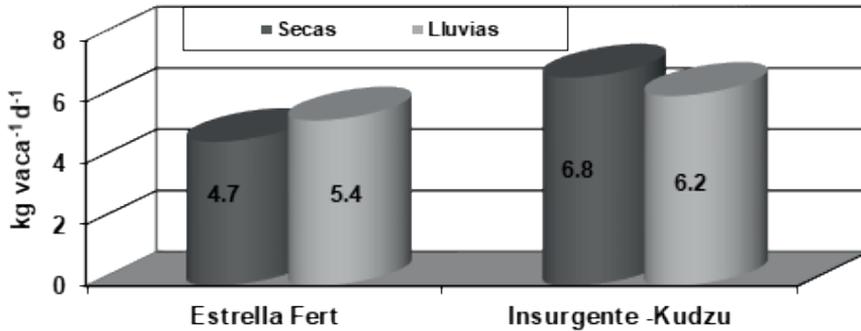
Cuadro 65. Ganancia de peso en becerros (machos y hembras) alimentados con pasto Estrella de África solo y con acceso a un banco de proteína de Kudzú durante dos horas por día

Tratamiento	Ganancias de peso g animal-1 d-1	
	Seca	Lluvias
Machos Estrella + Kudzú	443	700
Machos Estrella	327	647
Hembras Estrella + Kudzú	283	574
Hembras Estrella	223	435

Fuente: Romero et al., 1994, Romero 1995.

En un estudio donde bovinos de ambos sexos eran introducidos por 2 horas diarias a pastorear una pradera pura de Kudzu y el resto del tiempo en pasto Estrella de África (Cuadro 65) se determinaron durante la época de secas ganancias diarias por animal de 443 y 283 g en machos y hembras respectivamente, superando en un 35 % y 27 % las ganancias que alcanzaron los animales que únicamente estuvieron en pasto Estrella. Para la época de lluvias los animales que pastorearon en el banco de proteína obtuvieron un incremento de peso de 700 g diarios animal en los machos y de 574 g las hembras, superando al lote de animales que no consumieron Kudzu, en un 8 % y 32 %. Como se puede ver la mejor respuesta de los animales al consumo de la leguminosa es cuando el forraje de la gramínea tiene un bajo valor nutritivo, como ocurre normalmente durante la época de secas.

Gráfica 30. Rendimiento estacional a diferentes edades de Kudzu, promedio de diversas localidades de Mexico.



Fuente: INIFAP (1990)

El Kudzu como la mayor parte de las leguminosas forrajeras Tropicales suele presentar una buena producción de leche. En la Gráfica 30 vemos como tanto en la época de lluvias como la de secas la asociación de Insurgente-Kudzu produjo mayor cantidad de leche por día-1 vaca-1 que el pasto Estrella fertilizado con una dosis de 200 kg N ha⁻¹, con incrementos a favor de la asociación de 45 % en la época de secas y de 14 % en la época de lluvias.

Hay que tomar en consideración cuando se va usar el Kudzu bajo manejo en pastoreo. Que puede ser sensible a un pastoreo intensivo particularmente en suelos pesados y que tengan problemas de drenaje. Puede persistir bien bajo un sistema de pastoreo continuo o rotacional en suelos bien drenados, pero se deben emplear presiones de pastoreo moderadas. Su persistencia se atribuye a dos factores a su baja gustosidad para el ganado, durante el periodo vegetativo y a sus estolones que tienen alta capacidad de producir raíces que se fijan fuertemente al suelo.

Bibliografía

- Aguirre, O. J. (1985). *Respuesta de la fertilización nitrogenada y medios propagativos sobre el establecimiento y producción de materia seca de dos zacates mejorados en suelos del trópico húmedo*. Tesis de Maestría en Ciencias con especialidad en Producción Animal. Rama de Ciencia Animal. México: Colegio Superior de Agricultura Tropical. H. p. 126.
- Bogdan, A. V. (1977) *Tropical Pasture and Fodder Plants (Grasses and Legumes)*. Longman. pp. 66-74.
- Bravo, B. M. (1980). *Caracterización morfológica y fisiológica de tres ecotipos de pasto Alemán (Echinochloa polystachya)*. Tesis de Ing. Agrónomo especialista en Agricultura Tropical. CSAT, H. p. 82.
- Castro, G. R. (1990). *El pasto Limpo como alternativa para la producción animal en Tabasco*. México: DESIC-SECUR, Gobierno del Estado de Tabasco, p. 61.
- Camarao, A. P., J. B. Lourenco Jr., S. Dutra., J. L. Hornick y M. Bastos Da Silva (2004). *Grazing Buffalo on Flooded Pastures in the Brazilian Amazon Region: a Review. Tropical Grasslands*, p. 38 y pp. 193-203.
- Córdoba, B. A. y Sánchez R. S. (1998). *Engorda de bovinos pastando gramales nativos con apoyo de banco de proteína de Kudzu y Arachis*. Memoria. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. p. 71.
- Cotecoca, Beetle, A. A., E. Manrique F., J. A. Miranda S., V. Jaramillo L., A. Chimal H. y A. M. Rodríguez R. (1991). *Las Gramíneas de México*. Tomo III. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, p. 207.
- Covarrubias, G. S. (1984). *Efecto de la edad en la producción de materia seca, composición química y digestibilidad de tres ecotipos de Hermarbria altísima (Poir) Stapf y Hubb, en el estado de Tabasco*. Tesis MC especialista en Producción Animal. México: Colegio Superior de Agricultura Tropical. H. p. 96.

- De Wet, J. M. J. and Harlan, J. R. (1970). *Biosystematics of Cynodon* L.C. Rich. (Gramineae). *Taxon*, 19, pp. 565-569.
- Enríquez, Q. F. J. (2005). *Recolección y evaluación de germoplasma de Azuche Hymenachne amplexicaulis (Rudge) Nees, gramínea forrajera de tierras inundables del Trópico Mexicano*. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Campus Montecillos-CP. p. 144.
- Enríquez, Q. F. J., Meléndez, N. F. y Bolaños, A. D. E. (1999). *Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México*. Libro Técnico No 7. INIFAP–CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan, Libro Técnico No 7. p. 262.
- Escobar, A. y E. González J. (1976). *Estudio de la competencia alimenticia de los herbívoros mayores del llano inundable con especial al chigüire (Hydrochoerus hydrochaeris)* *Agronomía Tropical*. 26 (3), pp. 229-236.
- FAO. 2010. Grassland Index. *A searchable catalogue of grass and forage legumes*. FAO. Link <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/GBASE/Default.htm>.
- Fisher, M. J. y Cruz, P. (1995). *Algunos aspectos de la ecofisiología de Arachis pintoi*. En: *Biología y Agronomía de Especies Forrajeras de Arachis*. Centro Internacional de Agricultura tropical. Publicación CIAT 245, pp. 56- 75.
- Fisher, M. J., Rao, I. M., Ayarza, M. A., Lascano, C. E., Saenz, J. L., Thomas, R. J. y Vera, R. R. (1994). *Carbon Storage by Introduced Deep-rooted Grasses, in the South American savannas*. *Nature* 371, pp. 236-238.
- Garza (1979). *Producción de carne en el trópico húmedo de México*. In L.E. Tergas y P. A. Sánchez (eds) *Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos*. Programa de Producción de ganado de carne. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT.

- Gordon, E y Feo, Y. (2007). *Dinámica de crecimiento de Hymenachne amplexicaulis en un humedal herbáceo en el estado de Miranda Venezuela*. Acta Bot. Venez, 30 (1); 1–18.
- González B., Piña M. E., (1995). *Colección y caracterización de gramíneas naturales forrajeras de la región climática estacional subhúmeda y húmeda de la cuenca del Lago de Maracaibo*. Revista de la Facultad de Agronomía. Vol.- 12. pp. 175-186.
- Grof, B. (1985). *Forage attributes of the perennial groundnut Arachis pintoi in a tropical savanna environment in Colombia*. En: Proc. XV Int. Grassl. Cong. pp. 168-170.
- Hacker, J.B., Williams, R.J., Vieritz, A.M., Cook, B.G. and Pengelly, B.C. (1999) *An evaluation of a collection of Paspalum species as pasture plants for southeast Queensland*. Genetic Resources Communication No. 32. (CSIRO Tropical Agriculture, St Lucia, Qld, Australia) ISBN 0 643 05915 6.
- Hill, K. U. (2000). *Hymenachne amplexicaulis: A Review of Literature and Summary of Work in Florida*. Disponible en <http://www.naples.net/~kuh/hymen.htm>
- Hitchcock, A. S. (1971). *Manual of the Grasses of the United States*. Vol.1 Dover, p. 711.
- INIFAP. *Resultados de investigación en campo experimental*, (1990).
- Jerez, I., Menchaca, A., Rivero, L. J. (1986). *Evaluación de tres gramíneas tropicales. 2. Efecto de cargas en la producción de leche*. Rev. Cubana de Ciencias Agrícolas. 20, pp. 233-239.
- Juárez, L. F., Montero, M. y Hernández H., V. D. 2002. *Manejo nutricional del ganado bovino de doble propósito en pastoreo*. Día del Ganadero, 2002. SAGARPA-INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Playa Vicente Veracruz. Memoria Técnica, pp. 1-11.

- Kretschmer, A. Jr and Snyder. H. G. 1979. *Production and Quality of Limpograss for Use in the Subtropics*. Agronomy. 71, p. 4-31.
- Lascano, E. C. 1995. *Valor Nutritivo y producción animal de Arachis pintoi*. En: *Agronomía de especies forrajeras de Arachis*. Centro Internacional de Agricultura tropical, Cali, Colombia. Publicación CIAT. 245. pp. 117-130.
- Lascano, E. C. y Euclides, B. P. V. (1998). *Calidad nutricional y producción animal en las pasturas de Brachiaria*. En *Brachiarias: Biología, Agronomía y Mejoramiento*. Editado Por J.W Miles, B.L. Maass y V. Kumble. CIAT. pp. 116-135.
- Loosli, J, K. Villegas, V., García, GV, Ynalvez, LA, (1954). *La digestibilidad para los rumiantes del pasto Pará (Panicum purpuracena Raddi), culape (Paspalum conjugatum Berg.), pasto Guatemala (Tripsacum laxum Nash.) y ensilaje de maíz*. El agricultor filipino, 37 (9), pp. 520-528.
- Meléndez, N. F. (1998). *Comparación de la producción de forraje de varios ecotipos de Bermuda en suelos Fluvisoles de Tabasco*. En XI Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria, Tabasco. (Memoria). Campo Experimental Huimanguillo-INIFAP. pp. 110-111.
- Meléndez. N. F. (1999). *Caracterización y aprovechamiento de las pasturas naturales de Tabasco. Informe Técnico Programas de Forrajes*. CEFAPHUI. CIRGOC, INIFAP-SAGAR. p. 55.
- Meléndez, N. F., González, M. J. A y Pérez, P. J. (2000). *Manejo tecnológico del pasto Estrella Africana en el trópico* (2.^a impresión) México: ISPRO-TAB-Tabasco. P. 77.
- Meléndez, N. F. y Pastrana, A. L. (1996) *Comportamiento del pasto Estrella Africana (Cynodon plectostachyus) bajo diferentes niveles de salinidad natural*. Informe Técnico. Campo Agrícola Experimental Huimanguillo CIRGOC-INIFAP, Huimanguillo, Tabasco, p. 20.

- Meléndez, N. F. (1996). *Siembra y manejo de pastos para la zona de la Chontalpa, Tabasco*. Manual para productores ISPROTAB. CIRGOC- INIFAP, Villahermosa, Tabasco, p. 18.
- Meléndez, N, F. (1997). *Selección de pastos adaptados a la salinidad en la zona costera de la Chontalpa, Tabasco*. SAGAR-INIFAP. CIRGOC- CEFAPHUI. Informe Técnico. Huimanguillo, Tabasco, p. 78.
- Meléndez N., F. y Vázquez, L. P. (2007). *El Cacahuatillo Tropical Arachis pintoi, una leguminosa forrajera para el trópico húmedo*. Fundación Produce Tabasco A.C. y Universidad Popular de la Chontalpa. H. p. 30.
- Meléndez, N., F. y Granados Z., L. (2002). *Reporte técnico. Leguminosas y arbustos forrajeros tropicales, una alternativa para suplementar con proteína el ganado en pastoreo*. Campo Experimental. INIFAP.
- Melendez, N. F. (2012). *Principales Forrajes para el Trópico*. SEDAFOP Tabasco – UPCH., p. 154.
- Moreno, G. H. (1976). *Producción de carne en pasto Alemán (Echynochloa polystachya H.B.K, Hitch) fertilizado bajo diferente carga animal en el trópico húmedo*. Tesis de Maestría en Ciencias. Rama de Ciencia Animal-CSAT. H., p. 92
- NWSEC (2000). *Agriculture and Resource Management Council of Australia & New Zealand, Australian & New Zealand Environment & Conservation Council and Forestry Ministers. Weeds of National Significance Hymenachne (Hymenachne amplexicaulis) strategic plan*. NWSEC. p. 19.
- Oakes, J. A. (1973). *Hemarthria Collection form South África*. Turrialba 23, pp. 37-40.
- Oakes, J. A. (1980). Winter Hordiness in Limpo Grass Hemarthria altissima, I. Soil and Crop Science Society Florida of Florida Proceedings. 39, pp. 86 -88.

- Paladines, O. (1974). *El manejo y la utilización de las praderas naturales en el Trópico Americano. En, Seminario sobre; el Potencial para la producción de ganado de carne en America tropical: CIAT- Serie CS.10.* pp. 23-44.
- Pastrana, A, L. y Meléndez, N. F. 1990. *Experiencias de Investigación en suelos ácidos del Estado de Tabasco. Secretaria de Educación Cultura y Recreación Dirección de Educación Superior e Investigación Científica.* pp. 9-68.
- Pérez, P. J. (1989). *Respuesta de diferentes especies forrajeras tropicales a la fertilización en la sabana de Huimanguillo Tabasco.* Tesis de Doctor en Ciencias Colegio de Posgraduados. Montecillos México, p. 230.
- Quesenberry, K. H. L. S, Dunavin Jr., E. M., Hodgest, G. B., Killinger, A. E., Krestschmer Jr. W. R., Ocupangh, R. D. (1978). *Redalta, Grenalta y Bigalta Limpograss. Hemarthria altissima Promising Forrages for Florida.* Florida Agric. Exp. Stn. Bull, p. 82.
- Rincón. C. A. (1999). *Mani forrajero (Arachis pintoi), la leguminosa para sistemas sostenibles de producción agropecuaria.* Boletín técnico ICA Núm. 24. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Ministerio de Desarrollo Rural. p. 23.
- Romero F., M. Z. Tinoco, A., C. A. y Enríquez., Q. J. F. (1994). *El pastoreo restringido de Kudzú en el desarrollo de becerros, durante la época de secas.* Séptima Reunión Científica del Sector Agropecuarios y Forestal del estado de Veracruz. pp. 237-242.
- Rossner M. B., Fernández, A. J., Roig C. y Aldo C. (2005). *Frecuencia de corte y fertilización nitrogenada sobre la producción de materia seca de pasto Clavel (Hemarthria altissima).* Universidad Nacional de Nordeste, Corrientes Argentina. Comunicación Científica y Tecnológica, pp. 130-133.
- Sánchez C. D. (2008). *Valor nutritivo del Pasto Camalote (Paspalum fasciculatum Wild ex Flugge) sobre la época del año.* Tesis Maestría. División de Ciencias Academicas de Ciencias Agropecuarias. UJAT., pp. 18-28.

- Tejos M. R. (1978). *Producción del pasto Lamedora (Leersia hexandra Swartz) durante el periodo inundado de una sabana*. Agronomía Tropical Vol. 28 Núm. 6. pp. 517-526.
- Valle J., F. M. y Simpson, C. E. (1995). *Taxonomía, distribución natural y atributos de Arachis*. En: *Biología y agronomía de especies forrajeras de Arachis*. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Publicación CIAT 245., pp. 1-20.
- Vázquez, G. J., Pérez P. J., Meléndez N. F. (1980). *Efecto del nitrógeno, frecuencia y altura de corte en las reservas de carbohidratos y producción de materia seca del pasto Pará (Brachiaria mutica)*. Colegio Superior de Agricultura Tropical. Vol. II. Núm. 1. pp. 73-80.
- Watson, L. and M. J. Dalwitz (1992). *Grass Genera of the World*. Disponible en <http://biodiversity.uno.edu/delta/>.

Principales obras recomendadas para consultas

- Azcon- Bieto J. y M. Talón. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2.^a edición McGraw- Hill- Interamericana. Madrid, España.
- Bogdan, A.V. (1997). *Pastos tropicales y plantas forrajeras*. AGT Editor, S. A. México.
- Boul, S. W., F. D. Hole and J. McCracken (1977), *Soil Genesis and Clasificación*. The Iowa State University.
- Bucio Alanís, L. Ramos Sánchez, A. y Meléndez Nava, F. (2018). *Reseña sobre el despliegue de la enseñanza e investigación del trópico húmedo de México*. H. Cárdenas Tabasco.
- Darwin, Charles. M.A., (1859), *The origin of species by means of natural selection*, John Murray, Albemarle Street. Londres.

- Ferrera – Cerrato, R. y A. Alarcón (2007). *Microbiología Agrícola*. Ed. Trillas, México.
- Fahey, G. C. Jr. (edit) (1994). *Forage Quality, evaluation and utilization*. American Society of Agronomy, Inc. y Soil Science of América, Inc. Crop Science Society of América, Inc. y Soil Science of América, Inc.
- G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Nabinger and P.C. de F. Carvalho (eds) (2000). *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. Cabi publishing.
- Jung, H. G. D. R. Buxton, R. D. Hatfield and J. Ralph (eds) (1993). *Forage cell wall structure and digestibility*. American Society of Agronomy, Inc.; Crop Science Society of América. Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Langer, H. M. (ed) (1990). *Pasture their ecology and management*. Oxford University Press. New Zealand.
- Milera, Rodriguez, M. de la C. edit. (2006). *Recursos forrajeros herbáceos arbóreos*. Universidad de San Carlos, Guatemala.
- Pessaraky, M. (ed). (2002). *Hanbook of plant and crop physiology*. Marcel Dekker, Inc. New York. Basel.
- Sotomayor – Rios, A. and W. D. Pitman (eds) (2001). *Tropical forage plants. Development and use*. CRC PRESS. USA.
- Soil Survey Staff (1967), supplement to *Soil clasification a comprehensive system 7th approximation*, U.S. Washintong Dept. Agr. U.S. Gert. Printing Office.”
- Tow, G. Phillip and A. Lazen by (ed) (2001). *Competition and Succesion in pasture*. Cabi, pub. New York.
- Tow, P. G. A. Lazenby (eds) (2001). *Competition and Succesion in pastures*. CABI Pub. U.K.

- Wheeler, J. L., C. J. Pearson and C. J. Pearson y G. E. Robards. (eds). (1987)
Temperate pasture, the production use and management. Australian
Wool corporation. Technical publication. CRIRO: Australia.
- Whiteman, P. C. (1980). Tropical pasture Science Oxford University Press.

*Ecofisiología, adaptación y producción de pasturas
tropicales en suelos inundables*
se terminó de editar en mayo de 2022

