



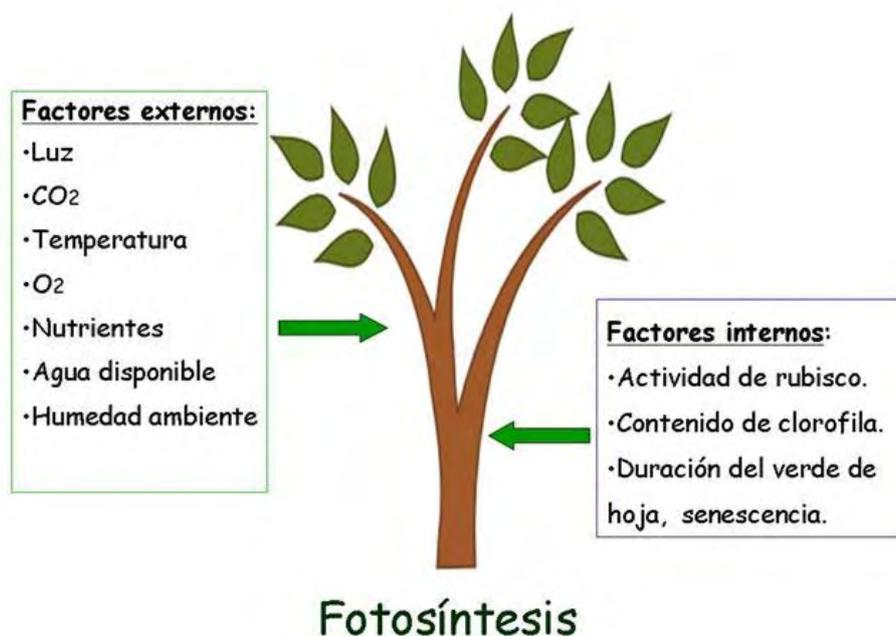
Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

Introducción básica a la fotosíntesis y características de especies forrajeras megatérmicas

Ing. Agr. Federico S. Labarthe e Ing. Agr. Héctor R. Pelta
INTA Tornquist. EEA Bordenave
tornquistinta@yahoo.com.ar

La fotosíntesis, del griego antiguo (foto) "luz" y (síntesis) "unión", es el proceso por el cual las plantas transforman la materia inorgánica de su medio externo en materia orgánica que utilizarán para su crecimiento y desarrollo. Consiste, básicamente, en la elaboración de azúcares a partir del CO₂ (dióxido de carbono) del aire, minerales y agua con la ayuda de la luz solar. En esta reacción se liberan moléculas de Oxígeno y se fijan carbohidratos en la planta.

Las plantas absorben la luz solar mediante un pigmento denominado clorofila. No sólo las plantas pueden fijar CO₂, también lo hacen ciertas bacterias y las algas verdes. La fotosíntesis esta condicionada por factores internos de las plantas y factores externos o ambientales



Factores internos y externos que influyen en el proceso fotosintético



Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

Cada uno de los factores ambientales citados afecta la tasa de fotosíntesis de diferente manera:

El factor de mayor incidencia sobre la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas es la concentración del CO₂. Altas concentraciones de este gas aumenta la tasa de fotosíntesis. En cambio, altas concentraciones de O₂ inhiben este proceso.

Los altos niveles de luz (energía lumínica) permiten que se exprese la máxima capacidad de fotosíntesis, mientras no haya restricción de agua y nutrientes. Aumentar la penetración de radiación dentro del área de cultivo es una forma de inducir mayores tasas fotosintéticas. En este sentido juega un papel crucial el Índice de Área Foliar (IAF) El IAF relaciona la superficie de las hojas de las plantas en función a la superficie del suelo que ocupa.

Es necesaria una temperatura determinada para que pueda producirse la reacción. Se considera que la temperatura ideal para una productividad máxima se encuentra entre los 20 y los 30 °C, sin embargo puede producirse entre los 0 y los 50 °C, de acuerdo a las condiciones en que cada planta se ha ido adaptando a su medio.

Uno de los factores internos de mayor incidencia en la tasa de fotosíntesis es el contenido de pigmentos, que son las sustancias que absorben la luz necesaria para producir la reacción antedicha. Entre ellos, el principal es la clorofila o pigmento verde que da el color a las plantas. La clorofila se encuentra mezclada con otros pigmentos, aunque al aparecer en una mayor proporción, generalmente impone su color sobre el resto que queda enmascarado.

También inciden en el proceso la duración del pigmento en las hojas, la apertura de los estomas (que intercambian gases con el ambiente), y la actividad de la enzima denominada RuBisCO.

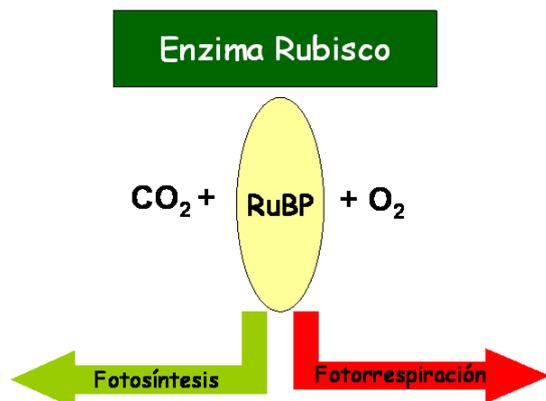
La enzima RuBisCO (*ribulosa-1,5-difosfato carboxilasa-oxigenasa*) cataliza una reacción clave en la fotosíntesis: la asimilación y fijación del CO₂ en la vía de síntesis de carbohidratos. Si la concentración de CO₂ es baja, funciona como oxidasa, y en lugar de ayudar a la fijación de CO₂ se produce la oxidación de glúcidos hasta CO₂ y H₂O, y al proceso se le conoce como **fotorrespiración** (que no debe confundirse con la respiración celular).

La enzima rubisco es considerada un catalizador muy ineficiente por dos motivos:

1. Tiene baja tasa de recambio de sustrato (la cantidad de sustrato que une por unidad de tiempo). Su actividad catalítica es lenta: la rubisco cataliza la condensación de tres moléculas de CO₂ por segundo, mientras que la mayoría de las enzimas unen alrededor de mil moléculas de sustrato por segundo.
2. Cataliza dos reacciones competitivas: la carboxilación (fijación de carbono) y la oxigenación de la RuBP (ribulosa-1,5-bifosfato). De ahí su nombre: carboxilasa/oxigenasa. La Ribulosa (RuBP) es la molécula a la cual se le incorpora el CO₂ proveniente del aire.



Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave



En el proceso de foto respiración la planta consume O_2 . El O_2 desplaza al CO_2 del sitio activo de la enzima, y esto disminuye la tasa de fijación de CO_2 y la eficiencia de la fotosíntesis. La reacción de oxigenación puede resultar en pérdidas del 30-50% del carbono fijado. En condiciones de alta temperatura y sequía, las pérdidas por foto respiración aumentan sustancialmente. A altas temperaturas la solubilidad del CO_2 disminuye drásticamente, resultando en una menor disponibilidad del mismo respecto del O_2 en el sitio activo de la rubisco.

La fotosíntesis se produce principalmente en las hojas de las plantas, aunque en menor proporción puede producirse en los tallos, especialmente en algunas especies que han sufrido adaptaciones, como los cactus.

Ahora bien, este proceso se presenta en dos fases:

Fase fotoquímica o reacción de Hill: Anteriormente se conocía como fase luminosa. Para que se dé esta fase las plantas deben absorber la luz a través de los pigmentos, entre todos ellos se destaca la clorofila.

Es la gran proporción de este pigmento el que determina que las plantas presenten principalmente su coloración verde ya que la mayor cantidad de clorofila enmascara la menor proporción del resto de pigmentos. Las plantas las vemos verdes porque la luz verde al no ser absorbida es captada por nuestros ojos.



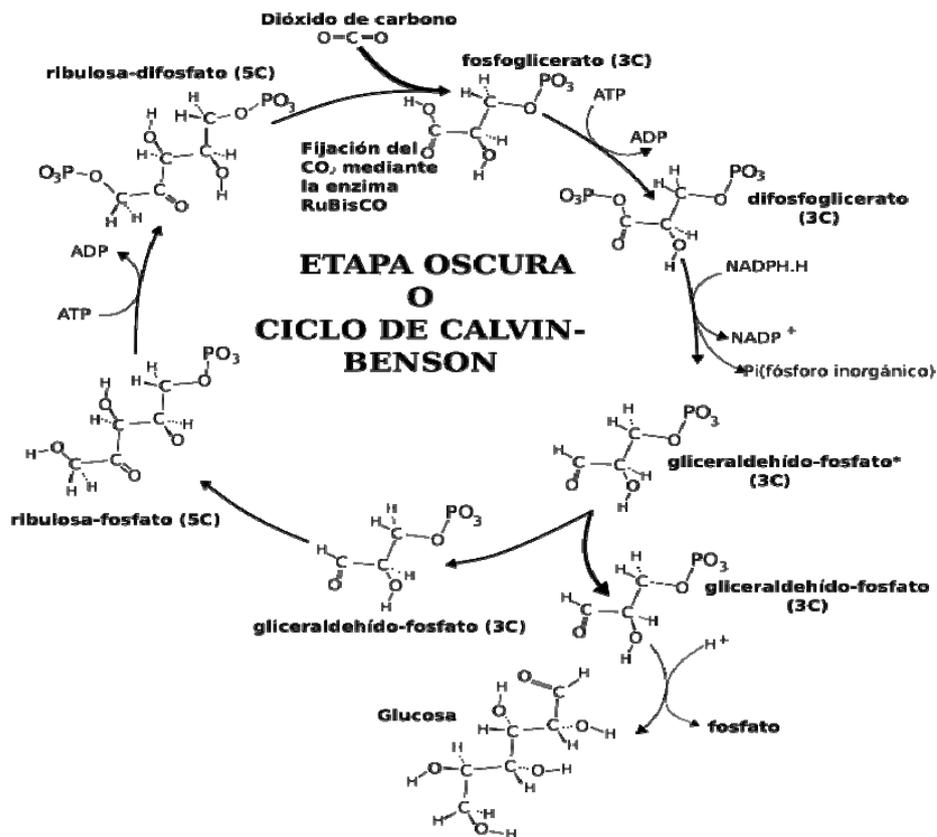
Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

Fase de fijación del dióxido de carbono (Ciclo de Calvin):

Corresponde a lo que anteriormente se conocía como fase oscura. Hoy en día se prefiere omitir este término al haberse aceptado que este proceso necesita también de la luz para poder llevarse a cabo. Este ciclo convierte el CO₂ que las plantas absorben a través de los estomas en hidratos de carbono.

Para que pueda darse este proceso se deberán utilizar los materiales elaborados en la anterior fase. En esta fase se forma como producto el gliceraldehído-3-fosfato una molécula que contiene tres átomos de carbono, a partir de las cuales se forman los hidratos de carbono.

Las plantas que siguen este proceso se denominan plantas C3 (El producto de la fotosíntesis es un compuesto de 3 Carbonos).



*Una parte del gliceraldehído-fosfato continúa en el ciclo, otra sale de él y se transforma en glúcidos

En condiciones de alta temperatura la concentración efectiva de CO₂ en las células del mesófilo, es baja al igual que en la atmosfera. Además, bajo condiciones de estrés hídrico existen diversas barreras, sobre todo en la apertura de los estomas, que limitan el flujo de CO₂ hacia la rubisco.

A su vez bajo esas condiciones, mantener los estomas abiertos tiene un costo elevado por pérdida de agua por transpiración. Algunas plantas de zonas áridas o semiáridas tienen mecanismos para concentrar el CO₂ en el entorno de la rubisco, y presentan diferentes anatomías foliares que hacen disminuir la foto respiración y la pérdida de agua por transpiración.



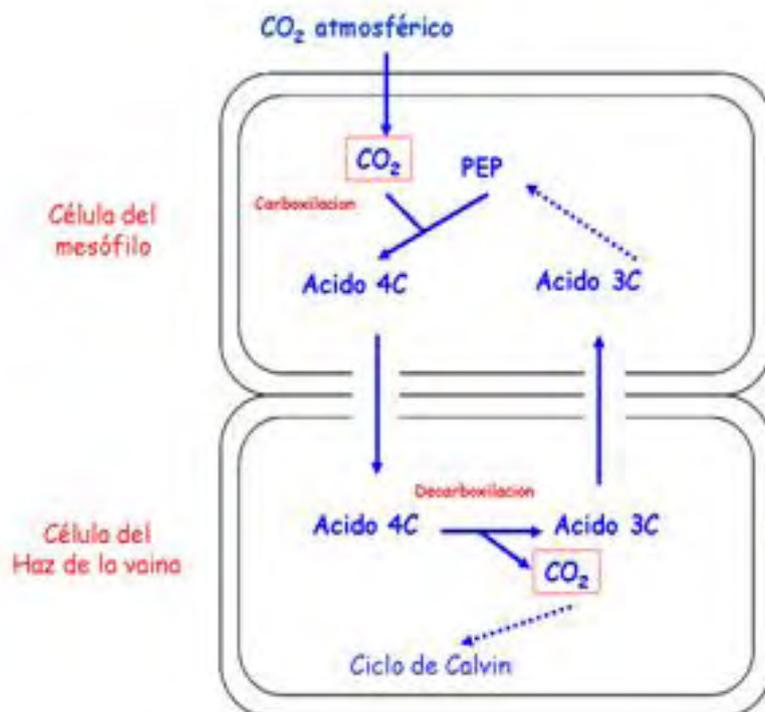
Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

Las plantas terrestres se pueden clasificar en tres tipos fotosintéticos o vías:

- C3 (arroz, trigo, papa, cebada, tomate, etc.)
- C4 (maíz, caña de azúcar, sorgo, pasto llorón, etc.)
- CAM (cactus, orquídeas, aloe vera, nopal, piña, etc.)

Las vías C4 y CAM involucran mecanismos especializados, con un costo mayor de energía, para la concentración y transporte del CO_2 a los sitios de fijación de la enzima rubisco. La eficiencia fotosintética de estos dos grupos de plantas es superior a la de las plantas C3 bajo las mismas condiciones ya que evolutivamente han desarrollado estrategias para reducir el proceso de foto respiración.

Las C4 y CAM poseen una enzima adicional, la PEP carboxilasa, que es capaz de fijar CO_2 sin ser inhibida por la presencia de O_2 (como ocurre con la rubisco). El mecanismo empleado por las plantas C4 consiste en la formación de un compuesto de 4 carbonos (llamado oxalacetato). Este compuesto es transportado a las células del haz de la vaina donde libera el CO_2 , que es fijado definitivamente por la rubisco. En las células del haz de la vaina ocurre el ciclo de Calvin. Es decir que existe una separación espacial entre la fijación primaria de la PEP carboxilasa y la definitiva de la rubisco.



Estrategia fotosintética de plantas C4.



Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

En el período estival, normalmente libre de heladas, la disponibilidad hídrica y la temperatura permiten una producción forrajera de alto nivel con especies de gramíneas perennes de crecimiento estival, conocidas como especies Megatérmicas o C4. Además de la mayor eficiencia en la captación del CO₂ atmosférico con altas temperaturas y alta radiación, las C4 tienen mayor resistencia estomacal a la pérdida de agua.

Como consecuencia de estas ventajas, en ambientes semiáridos las especies C4 son muy eficientes en el uso del agua ya que usan menos cantidad por molécula de CO₂ fijada. La fotosíntesis de estas plantas puede ocurrir bajo condiciones de estrés térmico y/o hídrico, mientras que en una planta C3 estaría limitada. La temperatura óptima de fotosíntesis de una C4 va de 30-45 °C y la temperatura óptima para una C3 va de 15-30 °C.

Gramíneas perennes C4 o Megatérmicas

Como antecedente a la introducción de estos recursos forrajeros en la región, se cuenta con la difusión del pasto llorón (*Eragrostis curvula*).

Otras que merecen destacarse son las siguientes, de las que se dan los nombres vulgares y botánicos, además del área de origen: antefora (*Antheophora pubescens*, Sud Africa, Botswana); caña azul (*Bothriochloa bladii* Asia meridional); banderilla (*Bouteloua curtipendula*, Norteamérica, Argentina); pasto esmut (*Digitaria eriantha*, Africa oriental y meridional); pasto pujante (*Leptochloa dubia*, Sur de Estados Unidos, México); panizo azul (*Panicum antidotale*, India); mijo perenne o mijo verde o pasto klein (*Panicum coloratum*, Africa oriental); mijo perenne (*Panicum virgatum*, América Central y del Norte); pasto setaria (*Setaria leiantha*, Centro y Norte de Argentina); sorgastro (*Sorghastrum pellitum*, Sur de Brasil, Uruguay, Centro y Este de Argentina); pasto africano (*Sporobolus fimbriatus*, Sud Africa, Botswana, Namibia); pasto gama, pasto Guatemala (*Tripsacum dactyloides*, Este de Estados Unidos, México, Guatemala); tetracne (*Tétrachne dregei*, Africa meridional). Merecen ser incluidas en esta enumeración la grama Rhodes (*Chloris Gayana*, Africa oriental y meridional) y el pasto búfalo o pasto salina (*Cenchrus ciliare*, Sud Africa, Namibia, Botswana) en tanto se logren cultivares con buena capacidad de supervivencia durante los inviernos más severos de la región.

Característica de cada uno:

Pasto llorón: Es una de las especies más difundidas y con mayor número de variedades, comprendiendo más de 250 variedades distribuidas en las regiones tropicales y templadas cálidas de todo el mundo. En Sudáfrica se encuentran unas 80 variedades de pasto llorón y África es el continente con mayor superficie cubierta por esta gramínea. En nuestro país se puede encontrar en casi todo el territorio excepto en la Patagonia.

Cultivares existentes en nuestro país:

Tanganyka: Es la variedad más difundida por su característica de ser la más rústica adaptándose bien a las condiciones semiáridas y áridas de nuestro país.



Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

Ermelo: Proviene de Sudáfrica del Departamento de Ermelo, y es el más difundido en este continente, utilizado para la realización de heno con cultivos fertilizados. Es más apetecible por los animales que el anterior.

Don Arturo: Es una selección de distintas procedencias, con características y comportamiento similar al Ermelo.

Morpa: Es una variedad introducida en el año 1972, es más apetecible que los anteriores y con capacidad de engorde.

Don Eduardo: Es proveniente de una planta "Guacha" de una colección que existía en Anguil (L.P.). Es la de mayor calidad forrajera y por ende de engorde. Rebrotta más temprano que las otras variedades.

Don Juan: responde a la variedad **chloromela**. Es de porte bajo, con buena palatabilidad tanto para bovino como ovino. Se lo conoce como "pasto llorón azul enano". Es de menor digestibilidad.

Don Pablo: Es la variedad identificada como robusta azul. Apetecible antes de la encañazón, tornándose amarga luego de esta. Es rustica como el Tanganyka.

Don Walter: es el único cultivar de la variedad botánica Conferta. Variedad poco utilizada en nuestra zona. Tiene diferente proceso sexual, utilizada para mejoramiento genético de la especie.

Agpal: Es la variedad más nueva utilizada en La Pampa. Es sudafricana y tiene la característica de entrar con mejor calidad en invierno, por tener más resistencia a las heladas, además rebrotta antes que los demás llorones.

Mijo Perenne o Pasto Klein (*Panicum coloratum*) es una gramínea largamente perenne de crecimiento primavero-estival, perteneciente a la tribu de las Paniceas, nativa del continente africano y adaptada a zonas templado-cálidas a tropicales. Puede alcanzar una altura de 80 – 90 cm o en algunos casos hasta más de 1 metro, presenta hojas densas de color verde a verde azulado de hasta 1,5 cm de ancho con un largo de aproximadamente unos 30 cm. Presenta panojas muy abiertas.

En la Región Pampeana semiárida rebrotta desde el mes de septiembre, y no es afectada en forma importante por las heladas tardías. A partir de allí comienza un crecimiento intenso que se prolonga a lo largo de la primavera y el verano. Durante el otoño la producción de forraje es menor pero sólo se detiene con el comienzo de las heladas, donde aún así mantiene brotes verdes.

La digestibilidad oscila entre el 67 % en primavera a el 50 % en diferido, mientras la proteína lo hace desde el 14 % en diciembre al 7 % en diferido.



Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

Cultivares

- **'Bambatsi - Makarikariense'**

Adaptado para regiones subtropicales con un régimen de lluvia de 500 a 900 mm y altas temperaturas. Presenta un sistema radicular muy profundo haciéndolo muy resistente a la sequía. Adaptado a suelos salinos rojos, pobremente estructurados. Su mejor comportamiento lo logra en suelos arcillosos pesados y tolera inundaciones frecuentes. Este cultivar presenta hojas con una coloración azulada con una nervadura blanca.

- **'Selection 75'**

Cultivar obtenido en los Estados Unidos en 1969. Difundido en la región centro norte de nuestro país.

- **'Verde'**

Cultivar obtenido en los Estados Unidos en 1982. Se diferencia del anterior por un mayor tamaño de semilla y por su "facilidad" de establecimiento. Es uno de los cultivares más difundidos en nuestra región; por su resistencia a heladas y sequía,.

Digitaria eriantha, Eragrostis superba, Panicum virgatum, Tetrachne dregei y Tripsacum dactyloides, son especies que se adaptan bien, en términos generales, a todo tipo de suelo, pero prosperan mejor en francos y franco-arenosos, bien aireados.

Las precipitaciones anuales de 500 mm son suficientes para lograr un buen establecimiento. A medida que aumenta el régimen pluvial, mayor es la producción anual de forraje, manteniendo el valor nutritivo.

Eragrostis superba tiene una calidad ligeramente superior que *Eragrostis curvula*, principalmente en otoño con una digestibilidad (DIVMS) de 49,7 %, mientras que *Eragrostis curvula* difícilmente supera el 38 %.

Tripsacum dactyloides rebrota rápidamente en el comienzo de la primavera al igual que *Eragrostis curvula*. Esta especie mantiene buena calidad relativa en primavera 64 % (DIVMS) y 12 % de proteína; pero en el invierno su calidad cae drásticamente a 39 % DIVMS y 3,7 % de proteína bruta (PB).

Tetrachne dregei mantiene al menos un 50 % del follaje en el invierno verde. Y presenta muy buena adaptación a la región semiárida pampeana con mejor calidad forrajera que el Pasto llorón. La calidad de este forraje oscila desde el 65 % (DIVMS) y el 10 % (PB) cayendo en el invierno a 54,4 % de DIVMS y 5,3 % de PB.

Estas gramíneas producen casi el 70-80 del forraje a partir del 1º de enero, mientras que las gramíneas templadas y también la alfalfa, producen la mayor parte del crecimiento en primavera. De esta manera, las gramíneas megatérmicas pueden producir forraje y ser pastoreadas *a posteriori* del pastoreo de las pasturas con base alfalfa.

En materia de resistencia a sequía se destaca el comportamiento a dicha contingencia y a ambientes áridos el **Pasto buffel** prosperando en ambientes con mínimos de 300 o 400 milímetros dependiendo de la variedad a implantar. Se trata de una gramínea perenne que cuenta con un sistema radicular sumamente desarrollado y abundante, que se comporta bien en terrenos de mediana fertilidad. Dependiendo de la variedad puede presentar rizomas más o menos desplegados. Las plantas alcanzan alturas de 60 a 120 cm., son muy rústicas, su período vegetativo es estival, con volúmenes de pasto variables según cultivares, aunque en



Estación Experimental Agropecuaria Bordenave

términos generales puede considerarse estable en su producción, con muy buena adaptación al pisoteo como al sobrepastoreo, y moderada tolerancia a salinidad, pero se muestra susceptible a los encharcamientos. El punto más crítico lo reviste su escasa calidad de pasto.

El **Marandú** o *Brachiaria*, se lo cultiva tanto en montes abiertos como en praderas, es de origen africano y bastante utilizado en Brasil. Esta gramínea perenne tiene un sistema radicular profundo que le confiere gran resistencia a la sequía, a la vez que es tolerante a las heladas. Desarrolla bien en zonas con 500 milímetros anuales de lluvias, alcanzando portes de 130 a 150 centímetros. La producción es alta y estable, con buena resistencia al pisoteo concentrándose entre primavera y verano, con buen equilibrio de hojas y tallos. En cuanto al valor nutritivo es de buena calidad en verano, en tanto que baja considerablemente cuando se lo utiliza como pastoreo diferido.

Cuando la limitante está dada por salinidad, la mejor alternativa consiste en la implantación del **Grma Rhodes** por su destacada adaptación a este tipo de suelos, además esta estolonífera perenne acepta sin mayores problemas inundaciones transitorias. Su período vegetativo es primavera - verano, prosperando bien con registros pluviométricos por encima de los 550 milímetros anuales. Las propiedades nutritivas, como la palatabilidad pueden considerarse intermedias, en tanto que el volumen productivo no es muy destacado, excepto en las variedades tetraploides, que mejoran en este aspecto considerablemente.

En ambientes de mediana a buena fertilidad y con registros de lluvias superiores a los 700 milímetros **Gatton Panic** surge como la propuesta más conveniente. Está gramínea natural de Africa, fue mejorada en Brasil, es perenne de porte erecto con buen macollaje, desarrolla entre 1 y 2 metros de altura. No tolera suelos salinos ni encharcamiento. Entre sus características sobresalientes se destacan; muy buena tolerancia a sequía y a la quema, en tanto que registra elevada producción de materia verde y excelente palatabilidad. Su ciclo de crecimiento es muy explosivo en el verano cuando la humedad del suelo y las temperaturas son óptimas pudiéndose realizar hasta 4 cortes por ciclo de producción, razón por la cual requiere un manejo adecuado para aprovechar en plenitud su potencialidad.

Gatton Panic ha logrado ubicarse como predilecto de los ganaderos del norte de nuestro país, dada su excelente adaptación a las condiciones del área, como así también a la calidad del forraje. Sobre el particular, los índices de digestibilidad oscilan entre el 60-62% estribando del contenido proteico que a su vez depende de la fertilidad del suelo y de la edad de la pastura. Para los pastoreos diferidos los valores descienden al 40% pero aún así mantienen una muy buena calidad.



Estación Experimental
Agropecuaria Bordenave

Bibliografía

- El Cuaderno 107. El Cuaderno de PorBiotecnología. www.porquebiotecnologia.com.ar
- Fotosíntesis. Enciclopedia Wikipedia. <http://es.wikipedia.org>
- Generalidades de Mijo Perenne *Panicum coloratum*. H.J. Petruzzi (1), N. P. Strizler (1), E.O Adema, C.M. Ferri (2), J. M Pagella (2)- (1) EEA NTA Anguil- (2) Fac. de Agronomía- UNLPam, Santa Rosa.
- Nuevos Cultivos. Guillermo Covac ; Facultad de Agronomía de UNLPam- Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Asociación Argentina Ciencia Hoy- Volúmen:1, Nº 2 Febrero/Marzo de 2009.
- Pasto llorón: empezar de nuevo. Ing Agr. Héctor Pelta. INTA Tornquist, EEA Bordenave.
- Pasto llorón (*Eragrostis curvula*) Ing Agr. Tito Rucci, 2008.
- Producción y Calidad Nutritiva de Especies Forrajeras Megatérmicas- Nestor P. Strizler (#), Conferencia en el 31º Congreso Argentino de Producción Animal, Potrero de los Funes, San Luis, 15-17 de octubre de 2008. (#) Centro Regional La Pampa-San Luis; Facultad de Agronomía UNLPam.
- PRODUCCIÓN Y CALIDAD FORRAJERA DE NUEVE CULTIVARES DE PASTO LLORÓN (*Eragrostis curvula*). Coria, M., Zilio, J., Bolleta, A., Labarthe, F., Lageyre, E., Pelta, H. y González, G. INTA, EEA Bordenave, Buenos Aires. cnaredo@bordenave.inta.gov.ar. Resumen XXXII Congreso de la Asociación Argentina de Producción Animal. Malargüe, Mendoza. 13-16 octubre 2009.
- ¿Qué es la fotosíntesis? www.botanical-online.com