



ESTRATEGIAS DE FERTILIZACION EN PASTURAS TROPICALES

FREDDY ESPINOZA MORILLO



Freddy Manuel Espinoza Morillo Zootecnista, M. Sc.

Biografía

Zootecnista egresado de la Universidad de Los Llanos Ezequiel Zamora (UNELLEZ) en Venezuela y *Magister Scientiarum* en la mención Manejo y Utilización de Pastizales, obtenido en la Universidad Central de Venezuela (UCV). Jubilado del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) con 31 años de experiencia en investigación en el área de producción animal con rumiantes y 130 trabajos científicos y divulgativos en diversas revistas nacionales e internacionales, tales como *Zootecnia Tropical* (Vzla); *Leucnet News* (Australia); *Pasturas Tropicales* (Colombia); *Revista Chapingo* (México), *FONAIAP Divulga* (Vzla), *CaraboboPecuario* (Vzla), entre otras. Ponente y organizador de Congresos Nacionales e Internacionales. Secretario de Organización y Presidente de la Asociación Venezolana de Producción Animal (AVPA) entre los años 2004 y 2008. Profesor de pre y post grado *ad honorem* y contratado de las Facultades de Agronomía y Cs Veterinarias de la UCV y Universidad Rómulo Gallegos (UNERG). Fue Editor y Asesor de la revista científica *Zootecnia Tropical* y colaborador como revisor de artículos científicos en revistas nacionales e internacionales. Mercedor de premios: Orden José Félix Rivas (1993), PPI (1997-1999 y 2005-2008), PEII (2010-2013) y premio al mejor trabajo científico de la Federación de Agricultores de Venezuela (FEDEAGRO-Venezuela) en el año 2017. Fue Editor del Libro: *Tecnologías apropiadas para la ganadería doble propósito de los llanos de Venezuela*, siendo Autor y Co-autor de capítulos del Libro. Actualmente desempeña Consultorías/Asesorías en las Empresas SIAP (www.siap.com.ve) y CampoAmbiente (<https://campoambiente.com>) para trabajos relacionados con el uso de drones y Sistemas de Información Geográficos en el área agropecuaria.

Espinoza M., Freddy M. 2020. Estrategias de fertilización en pasturas tropicales. Ciudad de Panamá, Panamá. Versión Digital, 81 p.

CRÉDITOS:

Edición: Freddy Manuel Espinoza Morillo

Arte y Montaje: Flavia Andreina Espinoza Argenti

Diseño de portada: Flavia Andreina Espinoza Argenti

Fotografía de portada: Azlan Baharudin en Unsplash

Fotografía de contraportada: Nixon Mariño en Unsplash

Estrategias de Fertilización en Pasturas Tropicales by Freddy Espinoza is licensed under CC BY-NC-SA 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>

Agradecemos a nuestros colaboradores y patrocinantes.
Puede hacer clic para visitar su sitio web o redes sociales.



Contenido

	Página
Dedicatoria.....	V
Prólogo.....	VI
Introducción.....	4
Factores que afectan la producción de pastos.....	5
Conozcamos un poco sobre las sabanas de Latinoamérica.....	11
Importancia de los elementos en las plantas forrajeras.....	12
¿Por qué fertilizar pastos?.....	15
Requerimientos nutricionales de las gramíneas.....	18
Recomendaciones generales para el uso de Fertilizantes.....	23
Interrelación fertilización carga animal.....	24
La ausencia de fertilización como causa de mortalidad y desbalances minerales en animales.....	27
Economía y Bioeconomía en la fertilización de pastos.....	30
Estrategias defertilización en pastos y recursos agroalimentarios.....	32
Referencias.....	75



Dedicatoria

Este documento está dedicado en primer lugar a Dios y a La Virgen, por inspirarme a seguir dando al sector agrícola, soluciones factibles para mejorar la alimentación de los rumiantes, contribuyendo a una mayor oferta de proteína animal.

También, deseo realizar esta dedicatoria, al Profesor quién en vida no sólo fue mi guía académica, sino que fue un gran amigo. Al Dr. Eduardo Andrés Chacón Rivas. Hombre regio de carácter, sincero y honorable.

A mi familia por inspirarme a seguir adelante en momentos cruciales de la vida.

Prólogo

Con mucho gusto he aceptado el escribir este breve prólogo al documento que ha ideado y desarrollado el colega y amigo Espinoza. Después de leerlo, considero fue una buena gestión, pues nos brinda una serie de nuevas ideas sobre el tema de la fertilización de pastos. Este tema es importante, en especial en América Latina donde el uso con pastos, sean naturales o introducidos constituye el más extenso uso de la tierra y adicionalmente es uno de los que menos fertilizantes usa. Ello ha traído que el balance entre lo extraído y lo agregado en nutrientes en pastos es negativo en la mayoría de los países, siendo así una de las principales causas de degradación de las tierras en esta región del mundo, principalmente por sobrepastoreo.

Entre los temas más interesantes que encontré en este documento puedo destacar:

1. La visión integral de la fertilización al incluir las interacciones entre los recursos naturales (suelo y clima), la disponibilidad de nutrientes naturales o agregados con la calidad de los pastos producidos y, la reacción de los animales en su productividad y calidad.
2. La inclusión, como fuentes de alimentación y mejoramiento de los sistemas de producción animal, de varias combinaciones de producción de pastos con otros cultivos, arbustos y árboles naturales e introducidos, como la agroforestería, silvopastoril, etc.
3. El uso de nuevas tecnologías como los sistemas de información geográfica, drones y cartografía digital en tener más precisión en los diagnósticos y diseño de tratamientos de fertilización en unidades de producción, con varias ilustraciones de esas combinaciones y sus ventajas.

En resumen, este documento será de gran utilidad para técnicos, estudiantes, profesores, productores y personas interesadas en el tema ganadero; y de orgullo para Espinoza y para su maestro y común amigo Eduardo Chacón (QEPD). Esperamos ver nuevas versiones o documentos complementarios que con seguridad preparara el autor.

Ing^o Agr. PhD. Juan Comerma
Investigador - Profesor
Ciencias del Suelo

Introducción

Conocer los requerimientos nutricionales de las plantas forrajeras y las ventajas de su fertilización, requiere en primera instancia determinar cuáles son los factores que influyen e interactúan entre ellos para poder mantener el equilibrio del ecosistema pastizal. Estos son el suelo, el clima, la planta y por supuesto el animal.

La mayor parte de los suelos en el trópico americano se caracterizan por ser ácidos y de baja fertilidad (algunos países superan el 75% de su superficie), donde los elementos más deficitarios son el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc y azufre. Asimismo, la presencia del aluminio en estos suelos ácidos, fijan el poco fósforo disponible o aplicado, a menos que se tome como medida previa la corrección de la acidez.

Los pastos altamente demandantes en nutrientes del suelo, son los primeros en demostrar visualmente sus deficiencias, por lo que no de aplicarse correctivos, los mismos no producirán su potencialidad y si son permanente pastoreados con alta presión de pastoreo, el mismo tenderá a ser sustituido por otras de menores requerimientos y poco consumidos por los animales. Similar situación ocurre cuando el pasto es cosechado mediante corte, donde la alta demanda de nutrientes supera lo presente en el suelo.

Para ser eficaz y eficiente en la fertilización se requiere considerar el tipo y el fin que se le dará a los pastos (pastoreo, corte, gramínea, leguminosa, pasto nativo, introducido, variedad, híbrido, arbustiva, herbácea, etc.), la demanda de nutrientes por el pasto, el tipo de fertilizante, dosis de establecimiento y mantenimiento, método, frecuencia y época de aplicación.

Por otro lado, es sumamente importante tomar en cuenta las cargas animales cuando se aplica la fertilización. Si la carga animal no se ajusta, no tiene sentido la aplicación de abonos, puesto que existe la probabilidad de perder recursos económicos, ya que se presenta lo que se denomina subpastoreo, caso contrario al tan conocido sobrepastoreo, con consecuencias similares en la respuesta animal.

La fertilización en sí es costosa, pero existen alternativas o estrategias que pueden ser abordadas en cada unidad de producción de acuerdo al objetivo a perseguir. De esta forma se hace más eficiente el sistema de producción ganadero.

Por ello, el presente documento tiene como objetivo sugerir una serie de alternativas o estrategias para fertilizar los pastos y obtener de esta práctica los beneficios que conllevan a una mayor productividad vegetal y animal.

Factores que afectan la producción de pastos

Gramaticalmente de acuerdo con el diccionario de la Real Academia Española, la palabra intervención está referida a la “acción y efecto de intervenir”. Pero también, según ABC, el término intervenir se refiere a la “acción de participar o tomar parte en alguna situación”. Por lo tanto, desde el punto de vista ecológico la intervención de pastizales podemos definirla como la participación del ser humano dentro de un ecosistema (natural o modificado) en procura de cambios sobre los recursos renovables y no renovables.

No obstante, estos cambios pueden resultar favorables o desfavorables.

En ganadería, entre los aspectos de manejo a intervenir se encuentran la práctica de la fertilización, manejo de cargas animales, suplementación, complementación, estado sanitario o salud de los animales, monta natural o controlada, inseminación artificial, trasplante de embriones, raza o tipo animal, entre otros. Sin embargo, la intervención de los pastizales trae consigo una serie de causas y consecuencias sobre la biodiversidad, los cuales se deben a diversos factores.

En el ecosistema pastizal, resulta importante establecer pautas de manejo para mejorar los indicadores de producción y productividad mediante el valor alimenticio (respuesta animal) y el valor nutritivo de los pastos, por lo que constantemente se requiere de una intervención adecuada, que logre los objetivos a trazar.

¿Cómo interactúa la relación clima-suelo-planta-animal en los pastos?

La biodiversidad ecológica del pastizal y

su producción de forrajes en términos de materia seca o verde para la alimentación de los animales, depende de muchos factores y sus relaciones (clima-suelo-planta-animal) que intervienen de manera directa, indirecta o que interactúan entre ellos (Figura 1), pero que su perfecto equilibrio estará determinado tanto por el ambiente, como por el humano. Desde el punto de vista ambiental el más importante es el clima (precipitación, temperatura, radiación y humedad, principalmente).

Por otro lado, el humano, a través del manejo al ecosistema (riego, fertilización, etc.) puede traer consecuencias favorables o desfavorables, de tal manera que incidirá en el equilibrio del sistema en general.

Sin embargo, el antropocentrismo lejos de mantener ese equilibrio, está creando desequilibrios, mediante cambios macros y microambientales. Prueba de ello, son los fenómenos conocidos como “El Niño” y “La Niña”, el incremento de la temperatura en los polos del planeta y en países tropicales, todo ello a lo que catalogan como Cambio Climático.

Hoy día, donde el clima ha variado en los últimos años, muchos investigadores, productores y técnicos lo atribuyen al cambio climático, indicando que el mismo ha generado ciertos desequilibrios.

El cambio climático, también conocido como cambio global, se produce por enormes fuerzas naturales intrínsecas de los sistemas como las que sujetan el movimiento de la tierra en su órbita alrededor del sol y las variaciones de energía que emite este último; no obstante, hay otro componente y son los producidos, inducidos o aumentados por las actividades

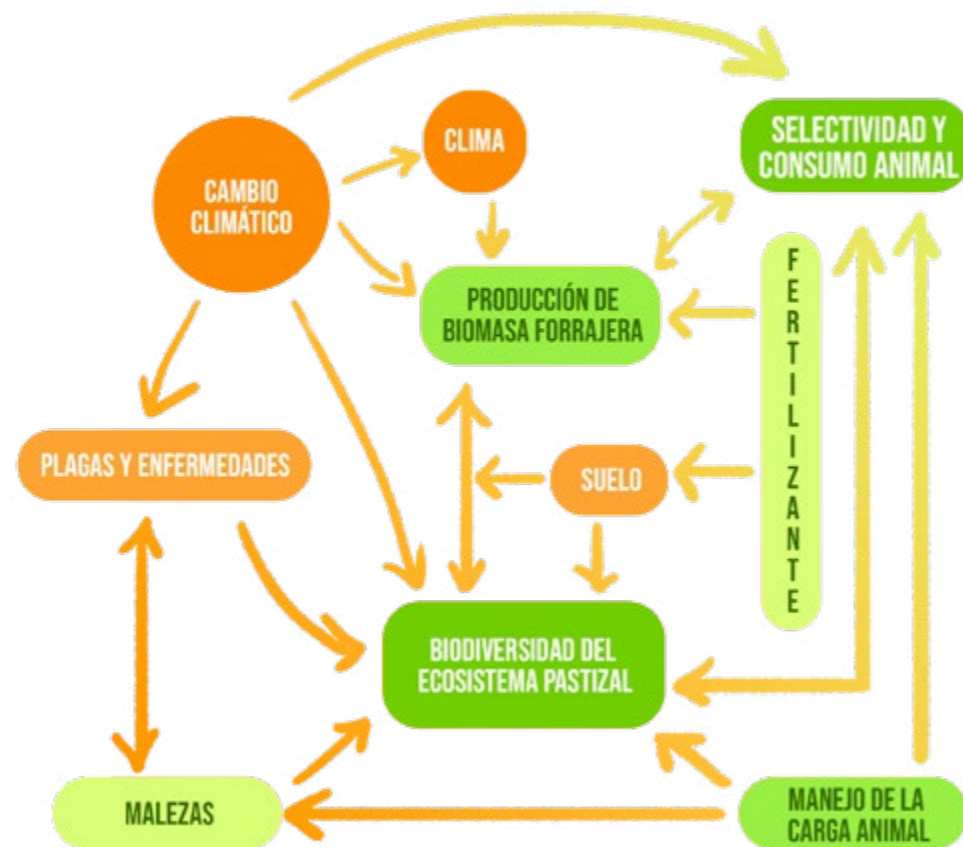


Figura 1. Factores que afectan la biodiversidad ecológica del pastizal.

Fuente: Modificado de Espinoza, 2013.



“En el ecosistema pastizal existe el perfecto equilibrio, siempre y cuando sea bien manejado.”

humanas (Valle, 2008). Prueba de ello, lo reflejan los registros paleoclimáticos, donde se ha determinado que el clima ha variado en el planeta durante toda la vida, mayormente en lo que se refiere a la temperatura. Tal como lo refiere textualmente Valle (2008):

“...Las temperaturas han aumentado de manera regular en los últimos 100 años, demostrándose que el CO₂ y los demás gases de efecto invernadero (también denominados gases industriales debido a que en su mayoría provienen de las industrias), retienen el calor en la atmósfera y recalientan la Tierra (de aquí el nombre de invernadero). El CO₂ creció un 25% desde fines del siglo XIX (de 280 a 350 ppm), siendo 0,5% su tasa de crecimiento anual, por lo que su concentración se duplicará en 140 años, cuya responsabilidad recae en la utilización de los combustibles fósiles y a la deforestación...”.

Se menciona que cerca de un tercio de la acumulación de gases de efecto invernadero se producen por el cambio de uso en el suelo; especialmente el metano, dióxido de carbono, amonio y óxido de nitrógeno. Ello refleja, el grado de complicación al cual es sometido el ambiente, donde el sector agrícola también es responsable del mismo.

Sin embargo, existen varias literaturas que mencionan eventos similares en siglos anteriores. Uno de ellos fue el señalado por Garza (2014), quien destacó las anomalías climáticas en el México central durante la Pequeña Edad de Hielo entre 1550 – 1650 y 1830 – 1850, señalando como la más irregular la década de 1550, la cual se caracterizó por fuertes sequías, precedidas posteriormente a heladas y fuertes precipitaciones hacia 1556, inundando la capital mexicana, para luego escasear las precipitaciones al siguiente año. El autor menciona que antes del mínimo Maunder (astrónomo que descubrió la escasez de manchas solares desde 1645 hasta 1715)

también hubo escasez de lluvias (1635 a 1641). Ya para finales a lo que mencionan como mínimo Dalton (meteorólogo británico que determinó el período de baja actividad solar entre 1790 y 1830) se presentaron fuertes sequías entre 1840 y 1880. Igualmente, Criado (2016), indicó que en los últimos dos (2000) mil años se han presentados varias anomalías climáticas, donde destaca dicha Pequeña Edad de Hielo, la cual se inició en el siglo XVI y finalizó a mediados del XIX, pero también mencionó que los veranos más fríos sucedieron en los años 172 y 1821, con temperaturas inferiores a la media del final del siglo XX.

Estos cambios de clima, sean o no por efecto antrópico o antropogénico, no sólo han afectado la producción de forrajes disponible para los animales, debido a la distribución irregular, ausencia de lluvias y aumento de temperatura, sino que también ha incidido en la recurrencia e incidencia de poblaciones elevadas de plagas, como medio de adaptación de éstas últimas a los cambios por venir y su supervivencia misma.

En consecuencia, también el clima en este momento está determinando cambios en la biodiversidad ecológica del ecosistema pastizal.

Una de las consecuencias de la escasez de lluvias es que en la medida que sea menor la precipitación se presenta menor tasa de descomposición de hojarascas y raíces, y por ende habrá mayor superficie de suelos menos fértiles. Por el contrario, con el exceso de precipitación ocurre lavado de nutrientes, se incrementa la erosión, mayor acidificación de los suelos y por ende también serán menos fértiles.

Cuando se utiliza la fertilización de pastos y cultivos, este factor climático es importante considerarlo, no solamente por lo arriba mencionado, sino también porque las aplicaciones varían. Así, por ejemplo,

cuando las precipitaciones son elevadas la estrategia es aplicar el fertilizante de forma fraccionada y a bajas dosis, a los fines de evitar la rápida solubilización que puede ocurrir (en especial con abonos nitrogenados), lixiviación y pérdidas por escorrentía; mientras que, si las precipitaciones son bajas y escasas, es recomendable aprovechar la época de las precipitaciones aplicando las cantidades requeridas por las plantas en un menor tiempo de aplicación.

La producción de forrajes (materia verde y materia seca) se encuentra directamente relacionada con la precipitación, por lo que es el factor ecológico de mayor importancia y determina su productividad (Figura 1). El agua de lluvia y la de riego, son absorbidas primero por el suelo y luego son proporcionadas a las plantas. De este modo, el suelo es una fuente indirecta de agua. Cuando la disponibilidad está limitada, existen plantas que pueden resistir mayor la sequía y esa habilidad está determinada por un mayor desarrollo del sistema radicular profundo y extensivo. Esta es la razón por la cual unas especies son más resistentes a la sequía, incluso hasta dentro del mismo género. De allí, que también el suelo ejerce un rol determinante tanto en la adaptación, producción de forraje y la entomofauna necesaria para la descomposición de la materia orgánica.

El clima influye en la concentración de minerales en el suelo, en los pastos y forrajes (valor nutritivo y producción de biomasa) e igualmente en el comportamiento animal.

La ausencia o exceso de ciertos nutrientes en el suelo, provocan cambios importantes en la composición botánica de la pastura, por lo que el manejo de la fertilización, incidirá en la aparición y recuperación de especies deseables para el consumo animal. Una aplicación adecuada de abonos orgánicos o inorgánicos directamente al suelo o a la planta, redundará en beneficios al sistema, pero si estos no son aplicados de

forma correcta el resultado será totalmente adverso. Por consiguiente, el consumo y la selectividad animal del componente vegetal estarán igualmente determinados en función de la biodiversidad ecológica de la pastura, la disponibilidad, accesibilidad y a la carga animal que establezca el hombre; pero también a la condición climática.

El ganado por ser homeotermo busca mantener un equilibrio térmico entre su producción y el calor obtenido del medio ambiente y su forma de expulsar ese calor a las condiciones exteriores, mediante la respiración y la evaporación. Cuando la temperatura supera los 35°C en el trópico los mecanismos termorreguladores del animal comienzan a fallar, lo que origina una elevación brusca de la temperatura rectal, disminuye la ingestión de alimentos, aumenta el consumo de agua y se reducen los procesos productivos (Williamson y Payne, 1975). Esta es la razón por la cual los bovinos en el trópico buscan la sombra en ciertas horas del día y los búfalos se introducen al agua o en las áreas pantanosas.

Valle (2008), resume este planteamiento de la siguiente manera:

“...La primera señal no se presenta de manera directa, sino que la observamos indirectamente mediante determinados cambios en los animales, especialmente durante el verano, en la cual disminuye la capacidad de sustentación de los potreros (cantidad y calidad de los pastos), aumenta la temperatura corporal de los vacunos, se incrementa la tasa respiratoria y el volumen de sangre superficial, se reduce el consumo de alimento, se deprime la actividad metabólica, se reduce la ganancia de peso y producción de leche, disminuye la eficiencia reproductiva, y otras muchas funciones, todas ellas para que los animales logren una mayor eficiencia en establecer el equilibrio térmico con el ambiente...”

El trabajo de Espinoza y colaboradores (2008) demuestra el comportamiento

etológico de los animales en cuanto a los patrones de consumo y utilización del pasto y las especies del bosque en el trópico, variando su selección en función del día y el uso de los pastos cuando se introduce el componente bosque como un sistema silvopastoril.

Por consiguiente, el consumo y la selectividad animal al componente vegetal estarán igualmente determinados en función de la biodiversidad ecológica de la pastura, la disponibilidad, accesibilidad y a la carga animal que establezca el hombre; pero también a la condición climática.

El sobrepastoreo o subpastoreo, originados por el manejo de la carga animal, tienen

una incidencia sobre la productividad de la pastura, creando así diversas condiciones agroecológicas, ya que además de relacionarse con el consumo animal y la biodiversidad *per se*, incide en la aparición de otras especies, como las malezas, las que a su vez pueden ser hospederas de ciertos insectos y plagas. De esta manera se afecta la disponibilidad y la accesibilidad del forraje a ser cosechado por el animal.

La Figura 1 muestra igualmente, como tanto el factor de manejo de la carga animal, como lo relacionado a la selectividad vegetal y el consumo, afectan todo el ciclo completo de la Biodiversidad ecológica del pastizal.



*Efecto clima, manejo agronómico y carga animal en potreros al sur del estado Aragua, Venezuela. Producto del sobrepastoreo, pastoreo en residuos de cosecha y la desertificación de los suelos aparecen malezas como el algodón de seda (*Calotropis procera*)*

Clima

Animal



Planta

Suelo

En conclusión, el ecosistema pastizal es un sistema totalmente integrado, donde la respuesta del pasto estará determinado por los factores clima, suelo, planta y animal. Pero su equilibrio dependerá en gran medida por el manejo que el hombre como administrador de los recursos

le dé a la pastura, donde su dependencia será el clima, aún cuando en ocasiones podrá usar el recurso hídrico disponible. No obstante, con un conocimiento adecuado de la información climatológica puede disminuir ese impacto.

Conozcamos un poco sobre las sabanas en Latinoamérica

América latina se extiende desde los 30°N hasta los 55°S con muchos tipos de clima, debido a la posición geográfica y las diferentes altitudes. Sin embargo, las mayores extensiones de tierras se encuentran en los trópicos con variaciones extremas de temperatura y precipitación pluvial (CIAT, 1975).

El término “tropical” designa geográficamente la superficie comprendida entre el trópico de Cáncer (23°26'14"N) y el trópico de Capricornio (23°26'14"S), donde el clima no es uniforme y varía con factores inalterables de ambiente, vegetación, suelos, aguas marítimas, pero interactuando entre ellos, tal como se mencionó en el capítulo anterior. Toda esta región ocupada entre las dos coordenadas de los trópicos se les denomina zona intertropical.

A nivel del trópico americano, los suelos Oxisoles y Ultisoles ocupan cerca de 850 millones de hectáreas y se extienden desde el sur de México hasta el norte de Paraguay; donde Brasil, Colombia, Perú, Venezuela y Bolivia presentan la mayor cantidad de estos suelos con 572,71 (68% del país); 67,45 (57%); 56,01 (44%); 51,64 (58%) y 39,54 (57%) millones de hectáreas, respectivamente. Dichos suelos presentan una fertilidad natural muy baja con un pH ácido, en las cuales 300 millones de ha aproximadamente están cubiertas por sabanas y el resto por bosques (CIAT, 1978).

Estudios recientes llevados a cabo por Aidey colaboradores (2012), usando información suministrada por los satélites de la NASA, encontró que en Latinoamérica y El Caribe, las praderas y sabanas inundadas han disminuido en un 5,9 % al pasar de una

superficie de 229.696 km² en el año 2001 a 217.476 km² para el 2010, sugiriendo como causa de esta disminución el cambio de uso del suelo.

Ello indica los cambios que se han estado generando en estos Biomas como consecuencia del antropocentrismo. Sin embargo, aun así las sabanas tropicales y subtropicales presentan una considerable superficie para alimentar a la población.

La mayor extensión de sabanas tropicales se localiza en África subsahariana, oriental y meridional, seguidas de Sudamérica y Australia.

Los ecosistemas de esta región son generalmente frágiles y su funcionamiento es complejo, por lo que se requieren sistemas de manejo apropiados para superar una serie de restricciones que dificultan su explotación agropecuaria, entre las que se destacan la distribución pluviométrica (una prolongada época seca y veranillos entre la época lluviosa), la baja fertilidad de los suelos en función de la alta toxicidad de aluminio (Al), la alta adsorción de fósforo (P), la alta densidad aparente, la reducida capacidad de retención de humedad, la elevada susceptibilidad a erosión y la alta incidencia de plagas y enfermedades (CIAT, 1978).

Los números a nivel latinoamericano, y en especial, el ecosistema de sabanas tropicales (aprox. 300 millones de hectáreas), reflejan que el ecosistema pastizal presenta una gran superficie, y requiere urgentemente de técnicas de manejo con tecnologías adecuadas que permitan el incremento de la productividad animal y vegetal a mediano plazo, para poder alimentar a una población que va creciendo a un ritmo acelerado.

Importancia de los elementos en las plantas forrajeras

En el presente documento, sólo se abordarán las funciones más importantes de los macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), nutrientes secundarios (calcio, magnesio y azufre) y micronutrientes (zinc, hierro, manganeso, cobre, boro y molibdeno):

1. Nitrógeno (N):

- Interviene en la formación de proteínas y la activación de las enzimas.
- Incrementa la producción de materia seca (mayores rendimientos de MS/ha), debido a que forma parte de las enzimas responsables de regular el crecimiento y formación del material vegetal.
- Es un componente de los aminoácidos, ácidos nucleicos, clorofila, alcaloides y vitaminas.
- El nitrato (NO₃) y el amonio (NH₄) facilitan la absorción de fósforo (P).
- Una elevada fertilización con N disminuye la absorción del boro (B) y causa toxicidad a la planta.
- N es altamente móvil dentro de la planta.

Diversos estudios realizados en Paraguay indican que cuando se aplica nitrógeno al cultivo, entre el 35 y 80% es destinado para la planta, 7 a 29% va para la materia orgánica, entre el 1.1 y 30% se volatiliza, 0.13 a 6.9% se desnitrifica y entre 0.01 y 23% es lixiviado (García, 2008).

Comenta el autor antes mencionado que la pérdida promedio de fertilizante nitrogenado por el efecto de la lluvia es de 5 g N/mm (5% con 1,000 mm de lluvias), así como las pérdidas por volatilización se presentan entre 40 y 50% cuando el nitrógeno en forma de amoníaco es aplicado y no incorporado al suelo, mientras que cuando se incorpora, ésta pérdida se reduce a sólo un 5%.

2. Fósforo (P):

- Es fundamental para el desarrollo de las raíces (mayormente en las primeras etapas de crecimiento de la planta) y el tejido meristemático.
- Forma parte de las nucleoproteínas, lipoides y fosfolípidos.
- Interviene en la síntesis de carbohidratos.
- Permite la transferencia y almacenamiento de energía, así como en el metabolismo de las proteínas.
- Actúa sobre el crecimiento y división celular.
- Desempeña un papel fundamental en la respiración y fotosíntesis (fosforilación).
- Favorece la absorción de magnesio (Mg).
- Bajos contenidos de P requieren más B.
- Exceso de P interacciona en forma negativa con el hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn) y cobre (Cu).
- Grandes cantidades de fosfatos disminuye la disponibilidad de azufre (S) y calcio (Ca).
- Su deficiencia se manifiesta en retardo del crecimiento de la planta

3. Potasio (K): Dependiendo del suelo y el estado de desarrollo del pasto, es el nutriente que se toma en mayor cantidad, en especial las leguminosas y pastos de corte.

- Síntesis de proteína, floración y movimiento de azúcares a través del floema.
- Mantiene la presión osmótica y neutraliza las cargas eléctricas dentro de la célula.
- Es un elemento clave en la fotosíntesis, transporte de fotosintatos y para la reserva de almidones en la planta.
- Interviene en la síntesis de carbohidratos.
- Evita que la planta se marchite de forma prematura.
- Tiene un rol importante en la correcta formación de las estomas.

- Es un activador de más de 60 sistemas enzimáticos.
- Afecta la absorción de ciertos nutrientes y por lo tanto influye en el valor nutritivo de la planta para la alimentación del ganado.
- Fortalece el tallo, mejorando su capacidad de tolerancia a la sequía y para mejorar el rendimiento de biomasa al ser combinado con el N.
- El K es antagónico con el Mg, Ca, Zn y sodio (Na). Exceso de K dificulta la absorción

de Ca, Mg, Na y Zn. Dicho exceso puede provocar hipomagnesemia o tetania de los pastos en el ganado, en especial en el momento del rebrote de la planta a inicios del período lluvioso.

- La relación K/Ca debe ser superior a 2, pero inferior a 10.
- K es altamente móvil dentro de la planta, lo que le permite trasladarse rápidamente de tejido viejo a tejido nuevo o a los órganos de almacenamiento.



4. Magnesio (Mg):

- Es un componente básico de la clorofila, por lo que cumple un papel importante en el proceso fotosintético de la planta.
- Es un elemento cofactor en las reacciones enzimáticas.
- Interviene en la formación de azúcares, síntesis de carbohidratos y ácidos grasos.
- Activa el metabolismo de los carbohidratos, grasas y proteínas.
- Interviene en el transporte de los fosfatos.
- Su deficiencia reduce significativamente el rendimiento del cultivo.
- Es un elemento importante para la fijación de nitrógeno.
- Mg es antagónico con el K, Ca y Na.
- Aplicaciones excesivas de K y amonio

pueden inducir a la deficiencia de Mg.

- La relación K/Mg debe ser superior a 2, pero inferior a 10.
- La relación Ca/Mg suele ser de 2:1.
- Existe sinergismo del Mg con las absorciones de B, P y K.

5. Calcio (Ca):

- Su función está relacionada con la división celular, manteniendo la integridad de las membranas.
- Necesario para el desarrollo de los meristemas apicales.
- Es un elemento clave para la división mitótica.
- Fortalece la estructura de la pared celular y ayuda a la planta para protegerse contra ciertas enfermedades fungosas.

- Estimula el desarrollo de hojas y raíces.
- Por ser antagónico, el exceso de Ca provoca deficiencia de K, Mg, Fe, Mn, Cu, B y Zn
- Existe sinergismo del Ca con las absorciones B, P y K.
- Elevada concentración de Ca puede precipitar el B.
- El Ca es muy poco móvil.

6. Azufre (S):

- La función del S es su participación en la estructura de las proteínas, por lo tanto, mejora el contenido de proteína cruda.
- Transfiere energía a la planta.
- Ayuda en la síntesis de los ácidos grasos.
- El S tiene un efecto sinérgico con el N. Plantas con mayores requerimientos de N requieren también mayor cantidad de S para la formación de las proteínas.
- Por su sinergia con el N, el S es un elemento clave para el crecimiento y desarrollo de la planta, influyendo en el rendimiento de biomasa.
- Interviene en el proceso fotosintético.
- Es esencial para la formación de la clorofila.
- Su función está ligada a las vitaminas (biotina, tiamina y la coenzima A).
- Importante en la formación de nódulos para la fijación de N por las leguminosas.
- Es un elemento inmóvil.

7. Zinc (Zn):

- Aumenta la eficiencia de utilización del P.
- Cumple un rol importante en el transporte de electrones.
- Deficiencia de Zn reduce la absorción del agua (H₂O).
- Exceso de Zn influye negativamente en la absorción del Mg, es decir reduce la absorción.
- Importante para el crecimiento y desarrollo normal de la elongación de la planta.
- Clave en la formación de enzimas para ciertas proteínas.
- Interviene en la formación de la clorofila, síntesis de carbohidratos y el proceso

fotosintético.

- Es antagónico con el Fe.
- Es un elemento inmóvil en la planta.

8. Hierro (Fe):

- Importante en la formación de proteínas, transferencia de energía y para el crecimiento de la raíz.
- Catalizador para la síntesis de la clorofila, pero no forma parte de ella.
- Está involucrado en la respiración de la planta.
- Interviene en la fotosíntesis.
- Actúa en la fijación de nitrógeno.
- Cofactor de varias reacciones enzimáticas.
- Concentraciones altas de Cu, Mn, Zn o níquel (Ni) inducen deficiencia de Fe.
- El Fe es antagónico con el P y Zn
- Es un elemento inmóvil en la planta.



9. Manganeso (Mn):

- Su función se relaciona con el transporte de electrones.
- Interviene en la síntesis de clorofila y carbohidratos, en los procesos de fotosíntesis, así como en la síntesis de ácidos grasos.
- Se encuentra relacionado con el metabolismo del N y los azúcares.
- Exceso de Mn influye negativamente en la absorción del Ca y Mg, es decir reduce la absorción.
- Es antagónico con el hierro (Fe).
- La relación Mn/Fe debe ser de 1:2
- Es un elemento inmóvil en la planta.

10. Cobre (Cu):

- Permite el desarrollo de la planta como componente fundamental de diversas hormonas de la planta.
- Participa en el metabolismo de las raíces y en la formación de la pared celular.
- Interviene en el proceso metabólico de la fotosíntesis y la síntesis de carbohidratos y ácidos grasos.
- Interviene en las reacciones de óxido-reducción.
- Participa en la fijación de N.
- Es antagónico con el Fe, Zn, Mn, P y S.
- El Cu es un elemento inmóvil.

11. Boro (B):

- Participa en el transporte de azúcares y metabolismo del N, H₂O y carbohidratos en la síntesis de la pared celular.
- Está ligado a la Materia Orgánica.
- Se encuentra asociado con el metabolismo del P, Mg y Ca.
- Exceso de B limita la absorción de K y Mg.
- Deficiencia de B en la planta reduce la absorción de P y K.
- Es un elemento inmóvil en la planta.

12. Molibdeno (Mo):

- Los requerimientos del Mo son considerablemente menores cuando las plantas absorben N en forma de amoníaco.
- Es un elemento clave para la fijación simbiótica del N en leguminosas.
- Interviene en el metabolismo del P.
- El Mo es un elemento inmóvil en la planta.

¿Por qué fertilizar pastos?

La primera razón para la respuesta a esta pregunta, se basa en que todos los organismos vivos debemos alimentarnos, y ese alimento que consumimos son aporte de diversos nutrientes, como los minerales, proteínas, grasas, hidratos de carbono y vitaminas. Esto quiere decir que para que el ser vivo pueda cumplir con sus diversas funciones, hay permanentemente una demanda en diferentes cantidades de todos estos elementos.

En el Cuadro 1 se muestra una aproximación de la cantidad de nutrientes extraídos en animales para producción de carne y leche.

Cuadro 1. Extracción de nutrientes por distintos productos pecuarios.

NUTRIENTE	CARNE	LECHE
	(g/kg carne)	(g/kg leche)
N	27.2	0.6
P	6.8	1.0
K	1.5	1.2
S	1.5	0.4
Ca	12.8	1.1
Mg	0.4	0.01

Tomado de García y colaboradores (2002)

Estos números indican que un novillo que produzca 200 kg carne/ha/año, extrae aproximadamente 5.4 kg de N, 1.4 kg de P, 0.3 kg de K y S, 2.6 kg de Ca y 0.1 kg de Mg. Pero, en el caso de una vaca, que además de producir leche, requiere mantenerse y re-

cuperar peso para su próximo parto, deben considerarse ambas extracciones. Por ejemplo, si la vaca produce 2,000 kg/lactancia y requiere 60 kg para recuperar su peso, entonces esa vaca extraería 2.8 kg de N (1.2 kg por leche y 1.6 por carne).

Para el pasto y los cultivos agrícolas, los nutrientes son esenciales para poder producir y reproducirse, y dichos nutrientes los aporta el suelo. En tal sentido, si los mismos no se reponen, las pasturas se degradan y tanto los pastos como los cultivos presentarán bajos rendimientos.

Cada especie de pasto tiene un potencial, el cual va a depender de su capacidad genética y su adaptabilidad al medio ambiente.

Los pastos naturales en las sabanas cuando son fertilizadas, su impacto en la producción de biomasa es bajo y no justifica la inversión, tal como lo demostró Rao y colaboradores (2001). Ello se debe a que genéticamente el potencial de producción

de biomasa de los pastos nativos es bajo. Sin embargo, si la fertilización es a base de fósforo, la respuesta se observa en la aparición de especies de mejor valor forrajero, principalmente leguminosas, mejorando así la dieta animal y el valor nutritivo del pastizal.

En cambio, en los pastos introducidos el rendimiento va a depender en alto grado del manejo de la fertilización. Esta respuesta se observa en el Cuadro 2.

El trabajo realizado en Panamá por Bolívar y colaboradores con el pasto Faraguá o Yaraguá (*Hyparhenia rufa*) demuestra lo relacionado a la potencialidad intrínseca de cada especie, donde si bien es cierto que la práctica de la fertilización incrementó la biomasa, éste incremento no compensa la inversión a realizar. En tal sentido, es necesario conocer los requerimientos de las especies a fertilizar y relacionarlo con su potencial de producción, como por ejemplo el de la *Brachiaria decumbens* de un trabajo realizado por Barreto y colaboradores

Cuadro 2. Efecto de la fertilización sobre el rendimiento de materia seca en pastos tropicales.

ESPECIE	FERTILIZACIÓN				LOCALIDAD
	SIN	CON	SIN	CON	
	t MS/ha/año		kg MS/ha/día		
<i>Andropogon gayanus</i>	6.2	14.4	16.9	39.5	Guárico, Venezuela
<i>Brachiaria decumbens</i>	0.3	4.7	4.7	12.9	Guárico, Venezuela
<i>Brachiaria Cv Mulato</i>	-	-	6.56	14.43	Santander, Colombia
<i>Digitaria decumbens</i>	10.8	22.2	29.6	60.8	Guárico, Venezuela
<i>Digitaria swazilandensis</i>	2.7	7.5	7.4	20.5	Guárico, Venezuela
<i>Echinochloa polystachya</i>	8	30	21.9	82.2	Guárico, Venezuela
<i>Hyparhenia rufa</i>	1.48	1.83	24.7	30.5	Chiriquí, Panama
Promedio	4.91	13.44	15.97	37.26	

Fuente: Navajas (2011), Bolívar y colaboradores (1990), Espinoza y Argenti (1995).

(citado por Espinoza y Argenti, 1995), donde se aprecia que el potencial de producción de biomasa bajo fertilización es 15 veces más que el rendimiento obtenido cuando no se fertiliza.

La degradación de una pastura puede deberse, entre otras causas (ambientales, mecánicas y humanas), al manejo de la carga animal y su relación con la ausencia de la fertilización. Cuando la pastura introducida no es fertilizada, sus rendimientos de biomasa irán mermando con el transcurso de los años, hasta el punto de obtenerse rendimientos similares a los de un pasto nativo, tal es el caso de la *Brachiaria decumbens* mostrada en el Cuadro 2.

Existen numerosos trabajos en el mundo que demuestran que la producción de materia seca se incrementa entre un 15 y 95%, cuando se aplica la práctica de la fertilización. Los cuadros 2 y 3 así lo reflejan. Pero, para abordar estas alternativas es necesario primero conocer las cantidades de nutrimentos en el suelo y cuáles son los requerimientos nutricionales de los pastos establecidos o por establecer.

Cuadro 3. Tasas de crecimiento en diferentes pasturas tropicales (Kg MS/ha/día).

ESPECIE	FERTILIZACIÓN	
	SIN	CON
<i>Cynodon nlemfuensis</i>		53 - 104
<i>Digitaria decumbens</i>		58
<i>Brachiaria decumbens</i>	21	36
<i>Panicum maximum</i>	31	60 - 115
<i>Pennisetum purpureum</i>		129 - 155
<i>Brachiaria ruziziensis</i>		58 - 139
<i>Hemarthria altissima</i>		68
<i>Hyparhenia rufa</i>	12	
<i>B. ruziziensis + Pueraria phaseoloides</i>	25 - 54	

Fuente: Chacón y colaboradores (2007)

Son muchos los ganaderos y técnicos que tienden a utilizar una alta o baja carga animal, desconociendo que existe un punto de equilibrio, denominada carga animal óptima, en la cual se obtiene una mayor productividad por animal y superficie.

Una buena calidad de la pastura, le permitirá al productor disminuir los gastos de alimentación, siempre y cuando la pastura, compuesta por gramíneas y leguminosas de excelente valor nutritivo, cubra los requerimientos del animal, o al menos minimicen la cantidad de suplemento o complemento a suministrar.

La **Carga Animal** es el aspecto más importante del manejo de una finca ganadera.

La carga animal modifica la composición botánica de la pastura, la estructura de la vegetación consumida, el valor nutritivo y alimenticio de la vegetación, la tasa de crecimiento de la pastura y su disponibilidad, la respuesta animal, la carga parasitaria de los animales, el estatus nutricional e hídrico del suelo, la susceptibilidad a la erosión del suelo, la macro y microfauna del suelo, el impacto ambiental de los sistemas de producción, la persistencia de la pastura y la rentabilidad del sistema de producción.



Requerimientos nutricionales de las gramíneas

El mayor reto en la ganadería es lograr establecer y mantener una pastura por lo menos por un período de 15 años de manera estable, pero para lograrlo es necesario conocer ciertos aspectos de manejo agronómico (número de potreros, rotación de potreros, sistemas de pastoreo, días de descanso, días de ocupación, fertilización, control de malezas, plagas y enfermedades, entre otros), así como el manejo de los animales (carga animal, principalmente).

De acuerdo a diversas muestras de especies forrajeras tomadas por diversos investigadores en Latinoamérica, se ha determinado que más del 75% de las muestras son deficientes en los elementos Fósforo, Zinc y Molibdeno; mientras que, para el caso contrario, es decir, que contienen niveles elevados, se encuentran el Hierro y Manganeseo. Ello se debe a

diversos factores de clima y suelo, además de las capacidades propias de las plantas. Los pastos difieren mucho genéticamente, por lo que sus requerimientos nutricionales variarán en función del potencial genético de la especie y su estado de crecimiento. Asimismo, su capacidad de adaptación al ambiente donde se encuentra o va a ser introducido, sugiere que cada especie tiene un requerimiento en específico. Los cuadros 4 y 5 muestran cómo varían los niveles críticos de ciertos elementos según la especie de pasto y la concentración de minerales de acuerdo a la edad de la planta.

Una vez muestreado el terreno y el tejido foliar, se envían las mismas al laboratorio para los análisis físico-químicos.

Al momento de obtener las muestras foliares es pertinente conocer cuál es la especie forrajera y en que ciclo se encuentra

Cuadro 4. Variación de la composición mineral del follaje en pastos de acuerdo a la edad de la planta.

PASTO	EDAD	CONCENTRACIÓN DE MINERALES EN LA MATERIA SECA						
		N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn
	(DIAS)	(%)					(ppm)	
<i>Panicum maximum</i>	14	2.96	0.18	2.24	0.41	0.28	38	
	28	2.40	0.14	2.33	0.34	0.23	34	
	42	1.81	0.13	2.80	0.34	0.20	36	
	56	1.55	0.10	2.64	0.34	0.17	32	
	70	1.26	0.08	2.53	0.31	0.14	32	
<i>Hyparrhenia rufa</i>	28		0.28	1.68	0.40	0.46	51	
	56		0.17	0.63	0.20	0.36	30	
	84		0.11	0.57	0.23	0.58	37	
<i>Digitaria decumbens</i>	28		0.16	1.32	0.56	0.39	35	192
	84		0.11	0.74	0.50	0.38	22	188
	140		0.12	0.37	0.66	0.39	31	317
<i>Pennisetum purpureum</i>	28		0.33	2.38	0.61	0.42	40	138
	84		0.15	1.20	0.38	0.28	28	111
	140		0.11	0.34	0.43	0.36	33	128

Cuadro 5. Niveles críticos de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y azufre (S) para cinco especies de gramíneas.

ESPECIE	CONCENTRACIÓN EN LA PLANTA (% del peso seco)			
	P	K	Ca	S
<i>Andropogon gayanus</i>	0.10	0.95	0.23	0.15
<i>Brachiaria brizantha</i>	0.09	0.82	0.37	
<i>Brachiaria decumbens</i>	0.10	0.83	0.37	0.16
<i>Brachiaria humidicola</i>	0.08	0.74	0.21	0.14
<i>Panicum maximum</i>	0.17		0.60	0.15

Tomado de Rodríguez y Navarro, 2000

(crecimiento, floración, reproducción y maduración), ya que cada ciclo tiene un requerimiento distinto y ciertos elementos son muy móviles. Es importante conocer la movilidad de los nutrientes en suelo y plantas, así como las reacciones químicas de los mismos, a fin de determinar la dosis y época de aplicación asociada a la demanda de la planta.

Un aspecto a considerar para la toma de la muestra de suelo, es evitar los sitios donde los animales han orinado o excretado recientemente, a los fines de no contaminar la muestra y generar análisis sesgados o errados que puedan dar recomendaciones equivocadas.

El suelo, es el factor clave y estratégico para el aprovechamiento estratégico de una buena fertilización. En tal sentido, se debe conocer en primera instancia las condiciones físicas del suelo, donde la estructura influye directamente en los diferentes procesos de la fertilización, ya que los espacios porosos son los que permiten la aireación y la capacidad para retener la humedad en el suelo, permitiendo así el desarrollo de las raíces y la absorción de los nutrientes químicos u orgánicos aplicados y existentes en el suelo. En tal sentido, es importante medir la compactación y densidad aparente del suelo, ya que tanto el pisoteo de los animales como el peso de las maquinarias, tienden a reducir esos espacios porosos, lo que hace menos eficiente la fertilización, causando

pérdidas económicas por los efectos antes mencionados (solubilización, lixiviación y lavado por escorrentía).

Similar efecto se presenta con la textura. Suelos arenosos tiende a lixiviar más rápido el fertilizante, mientras que en suelos arcillosos hay mayor retención. Pero también, la textura es importante para las reacciones químicas debido a las cargas positivas y negativas que contienen los diversos coloides presentes en el suelo.

En las pasturas bajo pastoreo, existe lo que se denomina como Ciclo Biológico de Nutrientes, por lo que siempre estará presente el reciclaje de nutrientes. En tal sentido, las muestras de suelo deben ser tomadas cada cierto tiempo (4 a 5 años), ya que este tipo de sistemas con animales a pastoreo se presentan cambios, debido a la extracción permanente del follaje por parte de los animales, pérdidas por lixiviación, incorporación de nutrientes orgánicos (heces, orinas y saliva), fijación biológica de nitrógeno por parte de leguminosas nativas e introducidas, o bien por descomposición del mantillo o material senescente.

Cuando se requiere biomasa para alimentar los animales, bien sea a pastoreo o corte, se necesita una alta producción y ello indica fertilizar potreros. No obstante, la fertilización dependerá del sistema utilizado y de la especie forrajera. Por ejemplo, los pastos de corte son altamente

demandantes en nitrógeno, mientras que en los pastos para pastoreo son menores. Por otro lado, si una misma especie de pasto es usada para pastoreo o corte (henificación), la dosis también variará, ya que para el primer caso (pastoreo) las cantidades a aplicar serán menores, debido al ciclo biológico de nutrientes.

Existen estudios que indican que la cantidad de nitrógeno en heces de vacas en producción varía entre 20 y 40 g/kg de materia seca y en la orina oscila entre 6 y 15 g/litro, entre tanto para potasio varía entre 4 y 14 g/kg MS heces y 6 a 16 g/litro de orina. Obviamente, estos valores variarán en función de la edad y estado fisiológico del animal. Estos datos deben ser considerados para la realización de los cálculos matemáticos en la fertilización de las pasturas.

Para la toma de las muestras de hojas y tallos, se deben considerar la edad del tejido o planta, tipo de tejido y las diferencias entre las especies, variedades o ecotipos dentro de una misma especie.

Con respecto a la edad de la planta, el Ca y el B son los elementos menos móviles en la mayoría de las especies, pero N, P, K y Na se reciclan rápidamente de los tejidos viejos a los jóvenes, mientras que la movilidad del Mg, S, Fe, Zn y Mn presentan una posición intermedia. En tal sentido, los tejidos jóvenes son empleados para los nutrientes menos móviles, mientras que los tejidos más viejos son para los más móviles.

Con relación a las especies, variedades o ecotipos, entre ellas se pueden presentar una amplia variabilidad, tanto en sus requerimientos nutricionales, como en sus habilidades para absorber y acumular elementos minerales. Las especies como el pasto sabanero (*Andropogon gayanus*) y el pasto aguja (*Brachiaria humidicola*) tienen niveles críticos bajos y son muy

comunes en zonas de suelos ácidos deficientes en fósforo; en cambio guinea (*Panicum maximum*) y capín melao (*Melinis minutiflora*) tienen un nivel crítico interno más alto y por tal motivo las exigencias de fertilización son mayores que las anteriores.

Cuando se tiene registro de los potreros, principalmente en cuanto a su producción de materia seca, uno de los primeros síntomas a observar es la reducción de la tasa de crecimiento del pasto, en función del rendimiento de materia verde y seca, así como la altura de la planta y cobertura del potrero. Posteriormente comienzan a aparecer síntomas visuales, como aparición de especies de menor valor forrajero, ciertas malezas y decoloración en los pastos principales.

En ocasiones, a simple vista es posible detectar las deficiencias nutricionales en los pastos, principalmente los macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio).

En los cuadros 6 y 7 se muestran los síntomas de deficiencias nutricionales en plantas forrajeras, tanto en macros como micronutrientes, los cuales deben ser corroborados con un análisis de tejido.



Cuadro 6. Sintomatología de deficiencia mineral de macronutrientes en plantas.

NUTRIENTE	SINTOMAS DE DEFICIENCIA
Nitrógeno	Crecimiento lento y retardado. La planta se torna de color verde pálido a amarillenta. Clorosis generalizada y de hábito etiolado (hojas débiles, escasas, tallo alargado). Las partes más viejas son las primeras en mostrar síntomas.
Fósforo	Retardo del crecimiento. Color púrpura-naranja en hojas viejas y verde oscuro en hojas jóvenes en leguminosas. En gramíneas se observan pigmentaciones rojas, púrpuras o café localizada a lo largo de las venas. El desarrollo de las raíces es muy deficiente. En deficiencia severa la planta deja de crecer.
Potasio	Hojas viejas de color amarillo intenso en la punta y bordes, con puntos necróticos en las hojas. En ocasiones, las hojas son verdes oscuras o verde azulosas, similares a la deficiencia de fósforo. Son susceptibles al doblamiento. Ocurre la muerte descendente cuando es severa la deficiencia. Soporta menos el estrés hídrico y las heladas.
Calcio	Muerte descendente similar a la del potasio. Afecta el crecimiento de las raíces (inhibición radicular).
Magnesio	Hojas viejas con clorosis marginal, algunas veces acompañadas con pigmentaciones de tono rojizo. Su deficiencia en la planta se traduce en la reducción de la actividad fotosintética y de la síntesis de las proteínas.
Azufre	Hojas jóvenes de color amarillo. En deficiencia severa toda la planta se torna amarilla (similar al N). En leguminosas, las hojas jóvenes presentan amarillamiento a lo largo de la nervadura principal. Deficiencia severa provoca clorosis en toda la planta con muy poco crecimiento.

Fuente: Arévalo y Castellano (2009); Espinoza (2003)

Cuadro 7. Sintomatología de deficiencia mineral de micronutrientes en plantas.

NUTRIENTE	SINTOMAS DE DEFICIENCIA
Cobre	Retardo del crecimiento de hojas jóvenes con puntos blancos o desteñidos, muerte de los meristemos apicales. Tallos jóvenes sufren de muerte descendente y son reemplazados por tallos provenientes de las yemas más bajas. Las plantas anuales pueden morir en estado de plántulas.
Hierro	Amarillamiento intervenal en hojas jóvenes y al final del ciclo de la hoja se torna de color blanco. Deficiencia común en suelos de pH alcalinos.
Manganeso	Similares a las del Fe y el Zn. Pueden presentarse manchas necróticas en las hojas. Las hojas presentan malformación, conocida como oreja de ratón u oreja de conejo. En especies del Género <i>Andropogon</i> , ciertas <i>Brachiarias</i> y en <i>Panicum</i> , las hojas viejas presentan coloración normal, mientras que las hojas jóvenes son blancuzcas.
Zinc	Hojas alargadas y síntomas similares al Fe. Las hojas son pequeñas y no hay elongación de los entrenudos. Cuando la deficiencia es severa las hojas se retuercen, secan y la planta muere.
Boro	Hojas jóvenes enrolladas, tallos ásperos y rajados, muerte de los puntos de crecimiento. Las puntas de las hojas son de color verde pálido con un tinte bronceado. Igualmente puede causar quemazón en la punta y los bordes de las hojas viejas. Susceptibilidad a infecciones bacteriales a nivel radicular.
Molibdeno	Clorosis intervenal con venas de color verde claro. Hojas con aspectos moteados similares a la deficiencia de manganeso. Los márgenes de las hojas tienden a doblarse y enrollarse.

Fuente: Arévalo y Castellano (2009); Espinoza (2003)



Deficiencia de azufre en hojas jóvenes de pasto híbrido Caimán. Aragua, Venezuela.

Deficiencia de Calcio (Ca), Molibdeno (Mo) y Zinc (Zn) en pasto elefante Cuba OM-22 (Pennisetum purpureum x Pennisetum tiphoides) en Chiriquí, Panamá.



Deficiencia marcada de macros, principalmente fósforo y nitrógeno en Brachiaria humidicola, El Tigre, estado Anzoátegui, Venezuela.



Ahora bien, ¿Que podría ocasionar estas deficiencias, tanto en gramíneas como en leguminosas?

Entre otros, tenemos:

1. Pérdida de la siembra al inicio del cultivo, dado a la debilidad inicial, lo que la hace susceptible a plagas, enfermedades con raíces débiles y superficiales que al ser pastoreadas no tienen suficiente anclaje y el animal las arranca. Sin embargo, esta última consecuencia es más factible en suelos muy arenosos, pero menor en suelos francos y arcillosos.

2. Plantas en condiciones de enanismo, principalmente en leguminosas y gramíneas exigentes en requerimientos nutricionales. Por lo tanto, se observan retardos en el crecimiento de los pastos y forrajes y recursos agroalimentarios en general (cultivos para forrajes).

3. Anormalidades internas a la planta, como la deformación de tejidos y acumulación de compuestos orgánicos. Este último sólo se determina por estudios histológicos.

4. Reducción considerable de los rendimientos de biomasa (materia verde y materia seca), con o sin síntomas visuales en hojas y tallos.

5. Las diversas interacciones entre los elementos o nutrientes, pueden provocar enfermedades animales y hasta la muerte por toxicidad o debilidad, debido a efectos sinérgico o antagónico entre los diversos nutrientes presentes en la planta. Es decir, la deficiencia de un nutriente al interferir en la absorción de otro elemento, puede provocar una alta concentración de ese otro elemento, provocando niveles tóxicos en la planta.

Recomendaciones generales para el uso de Fertilizante

1. Considerar las recomendaciones del técnico, basadas en los requerimientos de la especie y los análisis de laboratorio.

2. Considerar época de aplicación y pendiente del terreno para evitar contaminación de las aguas para riego y consumo.

3. Usar las normas de seguridad recomendadas por el fabricante, en especial cuando son abonos foliares (tapaboca, lentes de seguridad, guantes, impermeables).

4. Para abonos orgánicos, estar seguros que el material que proviene de otras fincas, no se encuentre contaminado por productos químicos (herbicidas, plaguicidas, fungicidas) y no contenga desechos (clavos, alambre, etc.).

5. Almacenar los fertilizantes en espacios secos y ventilados, evitando la humedad. Deben estar retirados del resto de los productos químicos como los pesticidas.

6. Cada saco debe llevar su identificación, bien sea impresa en el saco o un etiquetado (si tienen ambos es mejor).

7. Los fertilizantes líquidos deben estar separados de los sólidos.

8. Bajo ninguna circunstancia los fertilizantes deben estar almacenados conjuntamente con los alimentos.

9. Llevar un control de Registros de uso por potrero (cantidad, fecha de aplicación, niveles de fertilización, rendimientos, etc.).

10. Relacionar el punto anterior con la productividad primaria. Es decir, Kg de fertilizante aplicado/Kg de materia seca obtenido.

Interrelación Fertilización:Carga Animal

Importante es mencionar, que la aplicación de la práctica de fertilización, al incrementar la producción de materia seca automáticamente debe reajustarse la carga animal. De no ser posible, utilizar estrategias como el almacenamiento de forrajes.

Los trabajos clásicos de Stobbs durante los

años 60 y 70 del siglo XIX, permitieron demostrar que en la medida que se aplican tecnologías, como el uso de la fertilización, la asociación de gramíneas-leguminosas y la irrigación, incrementan considerablemente la producción de leche, debido al efecto que presentan la aplicación de tecnologías sobre el incremento de la carga animal (Figura 2).

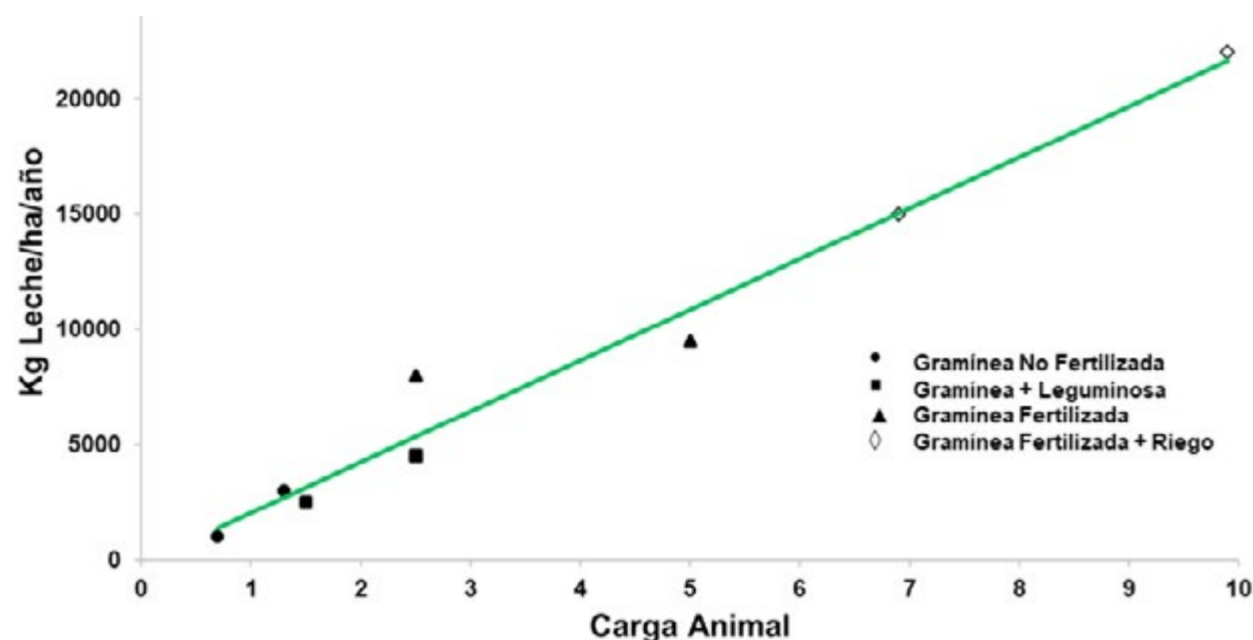


Figura 2. Relación entre carga animal y fertilización sobre la producción de leche.

Fuente: Stobbs (1976)

Un ensayo realizado en sabanas del estado Guárico, Venezuela, en pasturas introducidas y suelos con bajo contenido de fósforo, se usaron dos tratamientos para medir la oferta y utilización de la pastura. Para ello, se usó un testigo (sin fertilización) y un segundo tratamiento donde se aplicó 46 kg de N/ha (urea) y 75 kg/ha de P₂O₅ (roca fosfórica parcialmente acidulada), utilizando una carga animal fija de 1,25 UA/ha. Los resultados mostrados en el Cuadro 8, reflejan el incremento en la oferta al pasar de 1.884 a 2.167 kg MS/ha/corte. Sin embargo, la utilización fue mayor donde no se fertilizó. Ello evidencia la necesidad de aumentar las cargas animales cuando se usa la fertilización, ya que de lo contrario, se tiene un efecto negativo en la productividad animal y vegetal.

Cuadro 8. Oferta de materia seca (MS) y utilización en pasturas fertilizadas o no.

VARIABLE	FERTILIZACIÓN	
	SIN	CON
Oferta MS (kg/ha/corte)	1,884	2,167
Utilización, %	41	29

Fuente: Espinoza y colaboradores (2005)

Es común que cuando un técnico aborda el tema de la fertilización, los pocos ganaderos que la utilizan se refieren sólo a la aplicación de nitrógeno a base de urea. Los nutrientes en general, no sólo son necesarios para la planta, sino también para las necesidades básicas de los animales.

En la medida que mejor sea el balance de nutrientes en la planta, además de cumplir con sus funciones a nivel vegetal, lo hace más disponible para los animales y por consiguiente, los requerimientos para los animales son menores, trayendo consigo una disminución en la suplementación mineral.

La aplicación adecuada y estratégica de fertilizantes influye también en la eficiencia reproductiva y el peso al destete, tales el caso del uso de un banco de proteína a base de *Stylosanthes humilis*, fertilizado con superfosfato triple (Cuadro 9), donde se demuestran los incrementos de estas variables cuando se fertiliza.

Cuadro 9. Efecto de la aplicación de superfosfato triple sobre aspectos reproductivos en vacas multiparas, pastoreando bancos de proteína.

NIVEL (kg/ha)	CONCEPCIÓN (%)	PARICIÓN (%)	PESO AL NACER (kg)	PESO AL DESTETE (kg)
0	66	68	28.6	180.2
126	73	76	30	197.9
327	84	90	30	202.5

Fuente: Tomado de Espinoza y Argenti (1997)

Otro trabajo que tuvo como finalidad estudiar el efecto de la fertilización fosfatada en la relación suelo-planta-animal, demuestra las ventajas del uso de fuentes fosfóricas en dicha relación (Díaz y colaboradores, 2004). En un área de cinco hectáreas, ubicada en una altiplanicie aluvial, cuyos suelos son de textura franca con bajo contenido de potasio, medio en calcio, bajo en fósforo y materia orgánica, de pH ácido, se evaluaron tres tratamientos, a saber: Control (0 Kg P/ha) y 84 Kg P₂O₅ en forma de Roca Fosfórica, una como Roca

Fosfórica parcialmente acidulada al 50% (RFPA), y otra en forma de fosforita sin acidular (RF). Todos los potreros fueron fertilizados con 50 Kg/ha de urea y se utilizaron becerros de raza Nellore recién destetados de peso promedio 193 Kg con una carga animal que osciló entre 1.3 y 2 UA/ha, para la época seca y lluviosa, respectivamente. Los resultados de este trabajo muestran las ventajas, tanto en la planta como en el animal, cuando se usa la fertilización con fósforo y nitrógeno (Figura 3).

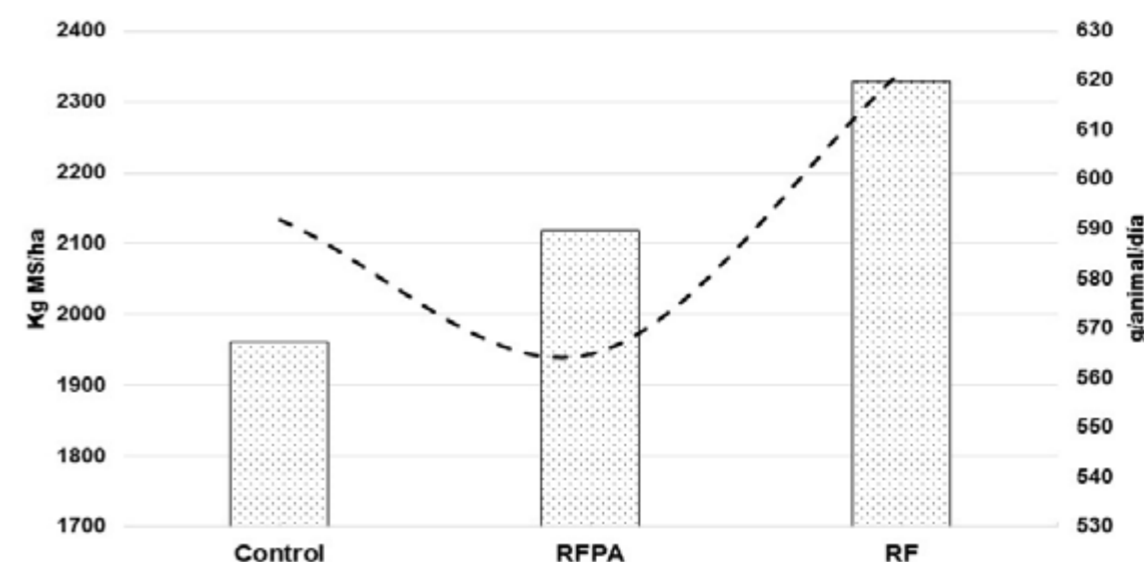


Figura 3. Efecto de la fertilización con fósforo y nitrógeno sobre la producción de materia seca y ganancia diaria de peso en novillos.

Fuente: Díaz y colaboradores (2004)

La importancia de este trabajo tiene varios aspectos. El primero, es observar la interacción en la combinación de nutrientes macros como son el fósforo y el nitrógeno, y donde pareciera indicar que, para el caso de suelos ácidos, la liberación lenta del fósforo es más eficiente para la productividad primaria y secundaria cuando se combina con el nitrógeno, que en el caso de la disponibilidad inmediata del elemento fósforo. Los autores también encontraron mayores tenores de calcio (0,22 vs 0,24%) y fósforo (0,14 y 0,15%) en la planta cuando se usó la roca fosfórica. Esto se tradujo en una mayor concentración de fósforo en las heces de los animales (0,3% en el tratamiento control, 0,5% en RF y 0,6% en RFPA). Esto último es muy importante para el reciclaje de nutrientes en el campo en términos de fertilizante orgánico. Esta relación incidió en un balance de equilibrio positivo en el sistema, siendo considerablemente mayor en los tratamientos donde se aplicó el fósforo (Figura 4), al tener un balance de 2; 13 y 16 Kg de P/ha/año para los tratamientos sin fertilización, roca parcialmente acidulada y roca fosfórica sin acidular, respectivamente. Para el caso del tratamiento control, este equilibrio estuvo relacionado con el uso de la carga animal.

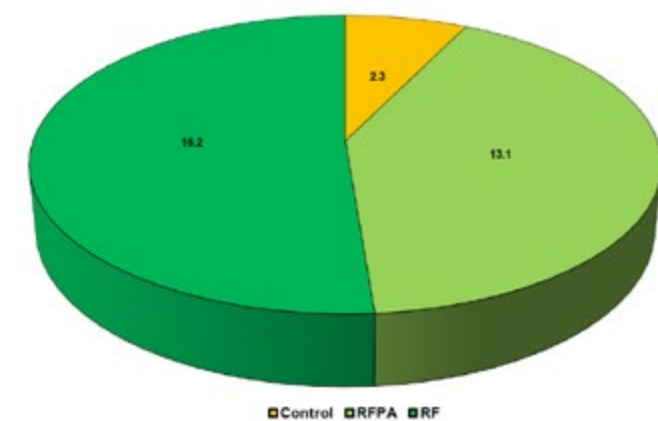


Figura 4. Balance del elemento fósforo en la relación suelo-planta-animal en pasturas fertilizadas en suelos ácidos.

Fuente: Díaz y colaboradores (2004).

En la Figura 5, se refleja el contenido de fósforo en sangre de los animales bajo tratamiento. Este aspecto es muy importante recalcar, ya que permite detectar si el animal está bien nutrido, como resultó en este estudio. El P es esencial en el transporte y utilización de energía, encontrándose en todas las células vivas en el ácido nucleico, mejorando la utilización de los alimentos. También es importante en la reproducción ya que mejora la fertilidad, la tasa de nacimiento, la tasa de crecimiento y fortalece el sistema esquelético del animal, entre otras funciones en el organismo.

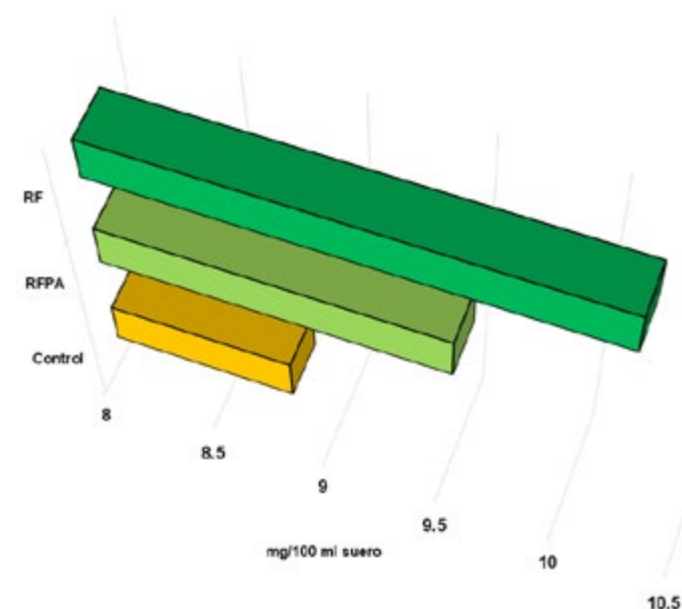


Figura 5. Contenido de fósforo en sangre en bovinos pastoreando pasturas fertilizadas con urea y roca fosfórica parcialmente acidulada y sin acidular.

Fuente: Díaz y colaboradores (2004)



La ausencia de fertilización como causa de mortalidad y desbalances minerales en animales



“Una pastura deficiente en nutrientes puede causar desbalances minerales, recurriendo al consumo de piedras y tierra.”

Son muy amplios los trabajos que abordan lo relacionado al efecto de la respuesta animal ante una deficiencia o un desbalance de minerales, trayendo como consecuencias desde pérdidas de peso, retrasos en la reproducción y hasta la mortalidad de los animales. En el Cuadro 10, se muestran los elementos minerales que inciden en los aspectos productivos, reproductivos y sanitarios.

Claro está, estos desórdenes y factores de riesgo en los animales, sólo será factible si no se aplican correctivos minerales en la dieta de los animales y se limitan solamente a suministrar pastos de muy baja calidad o con desbalances de nutrientes.

Tal como se mencionó anteriormente sobre la importancia de los elementos en las plantas forrajeras, una deficiencia de magnesio en los pastos puede causar la Tetania de los pastos, conocidas también como hipomagnesemia o síndrome de la vaca caída. Esta enfermedad se encuentra asociada a la deficiencia de magnesio en la planta forrajera, provocando un trastorno de excitabilidad muscular en el animal. El riesgo se presenta cuando la relación foliar K/(Ca+Mg) de la materia seca es superior a 2.2%, el Mg es inferior a 0.2%, Ca menor a 0.4% y los animales no son suplementados con minerales.

Además de los elementos potasio y calcio, los cuales están relacionados también a esta enfermedad, el fósforo es un nutriente clave para mejorar la absorción del magnesio en la planta. La hipomagnesemia fue muy importante en el pasado. Hoy día, con todos los conocimientos generados en materia de nutrición, es muy poco probable que se presenten ciertas enfermedades carenciales y desórdenes metabólicos, puesto que es muy común la suplementación mineral en los animales.

Sin embargo, es preciso conocer la cantidad de nutrientes que está aportando el pasto, mediante un análisis bromatológico, a los fines de evitar desbalances cuando se suministran minerales.

De acuerdo con varios autores, citados por Toll Vera y colaboradores (2011), los factores de interferencia a nivel del metabolismo vegetal, se deben al antagonismo que existe entre el K⁺ y el Mg⁺⁺. Altas concentraciones de K⁺ en gramíneas en activo crecimiento, inhiben la absorción de Mg⁺⁺ en rumiantes, incrementando el riesgo de presentación de hipomagnesemia. Igualmente, el rebrote de los pastos en las primeras lluvias, presentan altas concentraciones de potasio (K⁺), lo que eleva la relación K/Ca + Mg a niveles altamente peligrosos para los animales.



Fotografía archivo online de Mark Marathon. (https://en.wikipedia.org/wiki/Osteophagy#/media/File:Bull_chewing_bone_4.jpg)

Deficiencia de minerales trae consecuencias secundarias, entre otras como la enfermedad del Botulismo.

Cuadro 10. Desórdenes reproductivos, productivos y sanitarios asociados a la Deficiencia Mineral.

CAUSAS Y CONSECUENCIAS	P	Mg	Ca	K	Fe	Cu	Zn	Mn	Co	Na
Aborto					X	X		X		
Alteraciones estrales	X	X	X		X	X	X	X	X	
Anemia					X				X	
Baja calidad seminal		X	X	X						X
Baja libido	X					X	X			
Bajos porcentajes de gestación	X		X		X	X	X	X	X	
Baja producción láctea	X	X	X						X	
Crecimiento retardado	X			X			X		X	
Debilidad muscular				X						
Degeneración testicular						X	X			
Desórdenes nerviosos				X						
Dificultad para la monta	X		X							
Dificultad en el parto	X		X			X	X			
Fiebre de la leche			X							
Infecciones postparto		X	X							
Mortalidad embrionaria						X		X		
Pérdida de peso y apetito				X			X		X	
Pobre desarrollo testicular							X			
Pobre estructura ósea	X		X							
Problemas podales						X	X			
Quistes foliculares	X				X			X		
Retención placentaria		X	X			X				
Retraso en la involución uterina			X							
Retraso de pubertad	X								X	
Tetania de los pastos		X								

Fuente: Álvarez, 2001; INATEC, 2016.

Caso contrario, exceso de magnesio puede producir anestro o alteraciones estrales y retención de placentas. En el macho puede afectar la calidad seminal, incidiendo de esa forma en una baja preñez de las vacas y novillas. Otra incidencia que se puedan presentar en los animales cuando no se fertiliza es la intoxicación y muerte por sustancias cianogénicas (glucósido cianogénico), los cuales se encuentran presentes en algunas especies forrajeras, como por ejemplo en el pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* y *C. nlemfuensis*), pasto Alicia (*C. dactylon*) y en sorgo forrajero (*Sorghum* spp).

Los cianógenos constituyen típicos

compuestos de defensa y las plantas solo los sintetizan cuando se encuentran sometidas a estrés hídrico, atacadas por plagas, enfermedades, deficiencias nutricionales o por pisoteo de los animales. Pero también, la cianogénesis tiende a elevarse por la deficiencia de fósforo en el suelo o en terrenos ricos en materia orgánica y/o fertilizada con N, bajo nivel de P y sin un manejo adecuado del pastoreo.

En Costa Rica, se han reportado problemas de envenenamiento con cianógenos en potreros de pasto estrella sin fertilizar, coincidiendo con varias condiciones de mucha nubosidad, suelo deficiente y estrés (Carmona, 2009).

En visita realizada en una finca comercial de levante y engorde, donde se presentó una alta mortalidad (40%) de animales con un peso promedio de 360 kg, de las muestras enviadas al laboratorio se evidenció la presencia de glucósido cianogénico en el pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*), como consecuencia del manejo realizado al mismo, entre otros: Días de descanso (23 días), ausencia de fertilización nitrogenada y fosfatada, elevada proporción de malezas como la brusca (*Cassia occidentalis*), que aunque no hubo presencia de este antimetabolito, es conocida su presencia en la planta (Benavides, 2003); igualmente se observó ataque de plagas de *Mocis latipes* y *Spodoptera frugiperda*, confirmada por la presencia tanto de mariposas como larvas, las cuales estimulan la concentración

de Glucósidos Cianogénicos en el pasto estrella. Aunado a ello, el ayuno al cual fueron sometidos los novillos (29 horas), los cuales debieron consumir rápidamente grandes cantidades de pasto con presencia de glucósido, fueron probablemente los causantes de la mortalidad presentada de forma repentina (Espinoza, 2009).

El fósforo en la pastura es un elemento clave, no sólo para nutrir la planta, sino para evitar posibles intoxicaciones y enfermedades en los animales.

Igualmente, un desbalance del elemento potasio en suelo y planta también puede acarrear problemas con tetania de los pastos.

Economía y Bioeconomía en la fertilización de pastos

Año tras año, la respuesta de técnicos y productores al tema de la fertilización es la factibilidad económica y su enfoque radica en este punto, para justificar no invertir en esta práctica de manejo, aún sin llevar a cabo los aspectos teórico-prácticos del mismo.

Desde el punto de vista económico para decidir una inversión y determinar qué tan rentable es la misma, normalmente se consideran los indicadores de tasa interna de retorno (TIR), relación beneficio:costo (B/C) y valor presente de los beneficios netos (VPN).

Rincón y colaboradores (2018), evaluaron el efecto de la fertilización sobre el cultivar llanero de *Brachiaria humidicola* en el Piedemonte llanero de Colombia, concluyendo que una fertilización básica + urea (kg/ha: P 20, Ca 18, Mg 20, K 18, S

31 y N 110) generó un ingreso/ha de 658 US\$ superior con respecto al tratamiento donde no se utilizó fertilización.

Por otro lado, un trabajo realizado en Honduras, usando varios niveles de fertilización nitrogenada (0, 50, 100 y 150 kg/ha) en el pasto híbrido cobra (*Brachiaria híbrido*, cv CIAT BR02/1794), encontraron la mayor relación beneficio/costo cuando se usa 100 kg/ha (Mejía y colaboradores, 2018).

En el Módulo Lechero de la Estación Experimental Ganadera del CATIE en Costa Rica, durante 15 años consecutivos se estudió el potencial que tienen los sistemas basados en gramíneas fertilizadas con nitrógeno (250 kg/ha/año) en forma fraccionada después de cada pastoreo, para sostener una carga animal alta (aprox. 5 UA/ha), y de esta forma favorecer el logro de

niveles elevados de productividad lechera (>10,800 kg/ha/año) en el trópico bajo. El estudio demostró que bajo las condiciones en que operó el sistema, es factible producir leche a bajo costo (US\$ 0.13 a 0.26/litro), lo cual hace competitivo el sistema en una etapa de apertura de mercados si se considera el precio internacional de la leche.

Igualmente, se evidenció la solidez financiera de la propuesta tecnológica, ya que durante el período bajo estudio la Tasa Interna de Retorno (20.6%) del sistema fue el doble del costo de oportunidad del capital (10%) (Pezo y colaboradores, 1991).

Tomando en consideración el precio de los insumos, mano de obra, equipos para la fertilización, el precio de los productos (carne y leche) y estimando la eficiencia de conversión de la materia seca (kg de materia seca por kg de carne o leche) es factible evaluar económicamente el uso de fertilizantes en potreros, tal como lo plantea García y colaboradores (2002). Estos autores mencionan que una eficiencia agronómica superior a los 20 kg de materia seca/kg de N y 18 kg MS/kg de P aplicado es altamente rentable el sistema. La eficiencia de conversión resultó ser de 15 kg MS/kg de carne y 1.2 kg MS/litro de leche.

Para estimar la eficiencia del uso del nutrimento se debe hacer una estimación

del aumento en la producción de materia seca, resultante de la aplicación de un nivel dado de fertilizante, comparado con la misma pastura sin fertilizar (Pezo, 2018).

Ahora bien, la bioeconomía es un término no muy conocido entre productores y técnicos del área. Dicho término, es un modelo económico que se fundamenta en el conocimiento de la producción, utilización de recursos biológicos renovables y su conversión en productos con valor agregado.

En este sentido, productores de un programa desarrollado en Colombia por el IICA, utilizaron biofertilizantes en sistemas silvopastoriles, logrando incrementar la oferta forrajera entre un 35 y 150%, frente a sistemas de monocultivos (IICA, 2013).

En El Salvador, se realizó un estudio en maíz (*Zea mays*, Recurso Agroalimentario de mayor eficiencia para la alimentación de vacas lecheras) fertilizado con gallinaza y estiércol bovino, a los fines de usar una fuente de fertilización de más bajo costo. Los resultados indicaron que la rentabilidad fue de 0.062 y 0.084 US \$/qq de gallinaza y estiércol bovino, respectivamente, lo cual, al ser comparado con el sulfato de amonio, la fertilización orgánica resultó ser más económica (Sánchez e Isidoro, 1993).



Estrategias de Fertilización en Pastos y Recursos Agroalimentarios (RRAA)

Los Recursos Agroalimentarios (RRAA) son el conjunto de alimentos fibrosos o bajos en fibra que son producidos en la finca o unidad de producción y destinados para la alimentación de los distintos grupos de animales. Ello implica los pastos y forrajes, cultivos agrícolas, sistemas agroforestales (silvopastoriles, agropastoriles, agrosilvopastoriles, silviagrícolas y uso del bosque para consumo animal), residuos agrícolas, conocidos también como RAF (residuos agrícolas fibrosos) y los RANT (residuos agrícolas no tradicionales), bancos de energía, bancos de proteína, bancos asociativos.

Mediante la aplicación de los RRAA se establecen modalidades alimenticias de complementación y suplementación, cuyo propósito es mejorar la eficiencia del sistema de producción ganadero e incrementar su productividad.

Ahora bien, ¿cómo hacer hoy día para mejorar el estado nutricional de los pastos y lograr mejores rendimientos con mayor valor nutritivo?

Además, ¿Qué hacer para que el ganadero disminuya sus costos por alimentación exógena, dado los elevados costos de la práctica de la fertilización química?

Y ¿Qué hacer para bajar los costos de producción de los RRAA?

Las respuestas a esta serie de interrogantes, se basarán en una serie de alternativas o estrategias. Cada una de las alternativas abajo mencionadas para fertilizar áreas, son estrategias para incrementar la cantidad y calidad de la materia seca a ofrecer, con el consecuente incremento de la producción animal (carne y leche) y la rentabilidad del sistema de producción. Es de mencionar que, si tales estrategias se

llegarán a utilizar, la inversión en tiempo y dinero probablemente no justifique a mediano y largo plazo la inversión, si las mismas no están acompañadas de un manejo agronómico y zootécnico adecuado y eficiente, como son: fertilización (manejo fundamental en el aspecto agronómico), días de descanso y ocupación de los pastos, rotación apropiada de potreros, manejo de la carga animal, riego (en caso de ser posible), alturas de corte o pastoreo, almacenamiento de forraje oportuno, entre otros.

Por otro lado, para una elevada producción de leche y carne, es difícil que la fertilización orgánica pueda sustituir totalmente a la fertilización química. En todo caso, el uso de la aplicación de abonos orgánicos y purines, pueden resultar en una disminución en la aplicación de fertilizantes químicos y por ende bajarán los costos.

Un estudio reciente efectuado por la Universidad Cranfield en Reino Unido, ha demostrado que la agricultura ecológica u orgánica en sí sola no es factible y es más perjudicial para el cambio climático que las prácticas convencionales, al considerar la necesidad de requerir más tierras. Una de las razones es que cuando se usa esta práctica de manejo, los animales duran mayor tiempo pastando, por lo que se incrementa la emisión de metano, incidiendo en una mayor cantidad de gases de efecto invernadero (Temple, 2019).

Comenta este autor que, en el caso de la agricultura orgánica se evita el uso de fertilizantes sintéticos a base de nitrógeno, pesticidas y organismos genéticamente modificados; y que el uso del estiércol y el cultivo rotacional pueden aumentar la cantidad de carbono al suelo. Pero, los rendimientos de los cultivos no superan a los de la agricultura convencional.

Para el caso de la ganadería orgánica, los investigadores de la Universidad de Cranfield, concluyen igualmente que cuando los animales pastorean en pastizales abiertos, pueden estimular la aparición y crecimiento de otras plantas en la captura de dióxido de carbono, reduciendo las emisiones asociadas a la ganadería de carne.

A continuación, mostraré varias estrategias que podrían disminuir los costos de la fertilización en pasturas y los recursos agroalimentarios para la alimentación animal.



Leguminosa Cratilia (Cratilia argentea)

1. La fertilización estratégica, de acuerdo al objetivo que se persiga.

La misma estará basada en las necesidades de macros y micronutrientes por parte de la especie y el fin de la producción de pastos.

Un programa de fertilización para producir semillas de pastos es distinto a la requerida para sólo aumentar la cantidad de biomasa.

Las demandas nutricionales de las gramíneas varían entre ellas. inclusive, una misma especie puede tener requerimientos distintos, tal es el caso de las variedades de *Panicum maximum*. La variedad Mombaza es muy distinta al cultivar Massai, éste del Colonião y éstas de la guinea común. Todas pertenecen a una misma especie y a un mismo género, pero sus requerimientos varían considerablemente entre una y otra.

Una finca, cuyo objetivo es producir biomasa en grandes cantidades para producción de pacas o rollos de heno, su mejor aliado es el nitrógeno. Pero si, además, requiere de un material que presente un buen valor nutritivo, entonces

debe considerar el resto de los macro y micronutrientes que requiere la especie seleccionada para tal fin.

Por otro lado, un programa de fertilización de gramíneas es muy distinto al requerido para las leguminosas forrajeras.

Las leguminosas no requieren de aplicación nitrogenada, salvo durante el establecimiento, en caso que no esté presente la cepa de *Rhizobium* específica para la especie que va a establecer. En estos casos, se puede aplicar una dosis baja, solamente durante el establecimiento (25 kg/ha de N).

Es muy importante conocer el requerimiento de la especie que va a introducir en la finca.

Para obtener buenos rendimientos y los pastos permanezcan en el tiempo, deben ser fertilizadas adecuadamente y manejar eficientemente el potrero con el resto de las prácticas agronómicas y zootécnicas.



La suplencia de nutrientes vía inorgánica es una opción estratégica de acuerdo a las necesidades de la planta y al objetivo que se persiga.

Si el objetivo es tener los mejores potreros con el rebaño de producción y decide dejar el escotero para potreros con menos requerimiento, entonces, aplicar fertilización fraccionada o no a los potreros donde pastorean las vacas de ordeño. En este caso la fertilización es posterior al

pastoreo y dar el descanso suficiente para el pasto. De esa manera, estaría abonando sólo un porcentaje de la finca. Pero, para el caso de las escoteras y el resto del rebaño, ajustar las cargas animales y fertilizar los mismos cada cierto tiempo (lo define el productor y el técnico).



2. Introducción de especies gramíneas capaces de tomar nutrientes de capas más profundas y forrajeras tolerantes a bajos niveles.

Así como sucede genéticamente con los animales, pretender obtener la misma productividad en un ambiente totalmente distinto a su medio original, resulta ser todo lo contrario. Igual sucede en las plantas. Si una vaca de raza Holstein es capaz de producir más de 50 litros diarios en una zona templada, esa misma vaca al ser trasladada a un clima tropical, le será extremadamente difícil producir una cantidad similar, salvo que la tecnología que utilicen sea de un elevado costo y aun así, es prácticamente imposible que llegue a producir los mismos 50 litros.

Esto indica que, desde el punto de vista vegetal, la respuesta productiva de cada especie, no solamente depende de sus características genéticas, sino también del medio ambiente en donde crece.

La introducción y manejo de especies forrajeras dentro del sistema ganadero permite mejorar e incrementar la disponibilidad de materia seca para los animales. Por ello, es necesario seleccionar especies de acuerdo a la adaptabilidad edafoclimática, objetivos del sistema de producción, especie animal, relación costo-beneficio, entre otros.

La idea de establecer especies forrajeras que demanden altas cantidades de nutrientes en suelos marginalmente

pobres, debe considerarse la aplicación de enmiendas y fertilizantes, en virtud que, de no suministrarse los nutrientes, el pastizal tendrá bajos rendimientos y por consiguiente, baja respuesta animal. Además, que la vida útil se reduce considerablemente.

Como se mencionó en la primera estrategia de este documento, con respecto a los distintos requerimientos para diferentes cultivares de una misma especie de *Panicum maximum*, las capacidades de extracción entre cada una de ellas son variables, ya que la densidad radicular es distinta y su capacidad de adaptación a distintos ecosistemas también varían.

Hoy día, se encuentran en el mercado distintos híbridos del Género *Brachiaria*. Estos híbridos tienen una mayor capacidad de extracción y una densidad radicular muy amplia y profunda, por lo que también sus requerimientos varían considerablemente, con respecto a sus padres originales. Entre estas especies desarrolladas se encuentran Mulato I, Mulato II, Yacaré o Caimán, Cobra, Camello, entre otras.

El Cv Mulato I tiene requerimientos distintos al Mulato II. Si bien, ambos cultivares presentan una buena respuesta a la fertilización, el mejor comportamiento



Las gramíneas híbridas como el Mulato II tienen raíces profundas, lo cual les permite mayor exploración para obtener agua y nutrientes.

del primero se ubica en suelos de mediana a buena fertilidad, mientras que Mulato II se adapta a un amplio rango de suelos de baja a alta fertilidad, soportando incluso la acidez. Trabajos realizados por el CIAT con Mulato I, fertilizado durante la fase de establecimiento en un suelo ácido duplicó su producción de biomasa (4.8 a 8.7 t MS/ha) e incrementó también en más del doble la longitud de sus raíces. Igualmente se ha determinado que Mulato, no requiere niveles superiores a los 100 kg de N/ha durante su establecimiento, ya que la aplicación por encima de estos niveles no justifica su aplicación (Argel, 2007 y Palacios, 2011).

Tanto Mulato, como Caimán, presentan un gran desarrollo radicular en condiciones favorables. Resultados de investigación generados en Centroamérica con Mulato I, sugieren que la presencia de aluminio intercambiable en el suelo es lo que limita la productividad y persistencia en suelos pobres y ácidos, y que la ausencia del aluminio es lo que explica la tolerancia a la sequía, aunado a un desarrollo radicular profundo con altos contenidos de carbohidratos no estructurales en hojas y tallos (Argel y colaboradores, 2006).

Seguidamente se mencionan algunas especies de pastos que tienen ciertas características de adaptación a diferentes ambientes, como ejemplos para mostrar las diversas exigencias de cada una:

Brachiaria brizantha, cv. Toledo

Es una especie que presenta también un sistema radicular profundo, el cual le permite tolerar la sequía. Sin embargo, en suelos ácidos de baja fertilidad presenta baja respuesta agronómica en sequía, pero responde muy bien cuando inicia el período lluvioso. Al igual que Mulato I, su mejor desempeño es en suelos de mediana a buena fertilidad.

Brachiaria humidicola.

Gran capacidad de enraizamiento,

adaptable a suelos de muy baja fertilidad natural, desde arenosos hasta arcillosos y resistente al pisoteo y largos períodos de sequía. Es poco exigente a nutrientes.

Digitaria umfolozi.

Conocida como pangola pelúa, es también una especie híbrida, producto del cruzamiento entre *Digitaria setisalva* y *D. valida*, ambas originarias de África. Tolera la sequía y a la humedad, responde a la fertilización nitrogenada y fosfatada. Tolerante tanto a la quema como al pastoreo, con gran capacidad de rebrote.

Panicum maximum, cv. Massai.

Tiene una gran ventaja con respecto a todos los materiales provenientes del *Panicum maximum*, ya que no sólo puede adaptarse a suelos con un pH cercano a 5,5, sino que además puede soportar niveles más bajos de fósforo que los tradicionales, lo que incide en una mayor producción de parte aérea y raíces en suelos aún con alta concentración de aluminio. Ello indica que su sistema radicular está más adaptado a las condiciones adversas del suelo (compactación, baja fertilidad, alta acidez y déficit hídrico). Por ser menos exigente a la fertilidad del suelo, requiere de menos fertilización que las variedades tradicionales.

Cynodon plectostachyus.

Conocida como pasto Estrella Africana. Susceptible a suelos muy ácidos con problemas de saturación de aluminio y toxicidad por hierro. Exigente en fertilización para mostrar su potencial de producción, pero tolera la salinidad.

Para finalizar esta estrategia de uso, se menciona la siguiente Regla de Oro (Chacón y colaboradores, 2008):

“La regla de oro para el manejo de los recursos alimentarios está en el principio de adecuar el potencial de estos recursos

al potencial del animal con que se trabaja, y en gran medida optimizar el uso de los recursos alimentarios disponibles de manera de tener sistemas de producción más sustentables, tanto desde el punto de vista ecológico como económico. Esto requiere de

3. Uso de fuentes inorgánicas alternativas, como la roca fosfórica en suelos ácidos y de baja fertilidad natural.

En la sección de Interrelación Fertilización: Carga Animal se realizó una primera mención a esta alternativa de fertilización, en la cual se mostró los efectos favorables de la roca fosfórica.

Cuando se decide utilizar la roca fosfórica, llamada también fosforita, es clave conocer el grado de acidez del suelo, ya que, dependiendo del mismo, la liberación del fósforo será más lenta o no.

La ventaja de usarlas es que su aplicación puede ser cada dos a cinco años (dependiendo de ciertos factores que serán mencionados más adelante), debido a su lenta liberación. Su utilización se favorece con la disolución a un pH igual o menor de 5.5, con baja concentración de iones de Ca en solución, bajos contenidos de P y baja fertilidad natural del suelo.

El mineral que más contiene la roca fosfórica es el carbonato de calcio (CaCO₃), por tal razón la fosforita también puede



la aplicación de los principios de nutrición y alimentación de los rumiantes; así como también del conocimiento sobre fisiología de la producción animal, agronomía y manejo de los recursos alimenticios fibrosos.”

usarse como enmienda para corregir acidez del suelo.

La eficiencia agronómica de la fosforita en las pasturas y RRAA dependerá de los siguientes factores: reactividad, propiedades físico-químicas del suelo, condiciones climáticas, especies demandantes en fósforo que influyen en su rendimiento y las prácticas de manejo zootécnico y agronómico a las que son sometidos. Pero, para que esta eficiencia sea máxima es recomendable incorporarla al suelo mediante pase de rastra.

En este sentido, es importante considerar la granulometría, ya que este fertilizante inorgánico alternativo, es relativamente insoluble, por lo que el tamaño de la partícula tiene un efecto importante en su tasa de disolución en el suelo. En tal sentido, su efectividad y solubilidad se incrementa por el tamaño de la partícula, la cual debe ser menor a 0.15 mm. Mientras más fina sea la partícula, el grado de contacto

El pasto sabanero (Andropogon gayanus) y la Brachiaria humidicola son especies adaptables a suelos de pobre fertilidad, y responden muy bien a la fertilización con roca fosfórica

entre la roca fosfórica y el suelo, la tasa de disolución será mayor. No obstante, la práctica de aplicar estos materiales en campo, es un tanto molesta, por la gran cantidad de polvo que se presenta durante su aplicación. En tal sentido, es necesario considerar que la mejor hora para aplicarla es cuando el viento sea muy bajo, o no se presente. Además, se recomienda usar tapabocas y lentes protectores durante su aplicación.

El otro factor importante es el clima. El agua en el suelo facilita la solubilidad de las rocas. Por lo tanto, la precipitación, la humedad relativa, la temperatura y la evaporación son factores interactuantes e importantes para la eficiencia agronómica de la fosforita. En este sentido, se requiere de tiempo y agua alrededor de las partículas para la disolución y aprovechamiento por las plantas.

La dosis y época de aplicación dependerá, del nivel de fósforo y acidez del suelo, así

como la fecha de inicio de las lluvias, o el momento previo a la inundación para caso de pastos que soportan inundación. Es común encontrar niveles de fósforo muy bajos en América Latina. En tal sentido, en suelos muy bajos en P, la FAO (2007), recomiendan dos opciones basados en diversos experimentos por investigadores a nivel mundial: A través de la aplicación de fertilizantes solubles en agua, llevar el nivel de fertilidad a un nivel medio de P y posteriormente aplicar la roca fosfórica; y en segundo aspecto, incorporar niveles elevados de roca fosfórica (500 a 1,000 kg/ha), seguidas por aplicación regular de dosis de mantenimiento a base de fósforo.

Existen especies de pastos tolerantes a condiciones de acidez y de baja fertilidad que pueden ser fertilizados con fosfatos de mediana solubilidad, como las rocas fosfóricas naturales y modificadas, que además de aportar fósforo de forma inmediata, tienen un efecto residual (Comerma y colaboradores, 2005).



Una de las grandes ventajas de la aplicación de roca fosfórica en suelos ácidos de baja fertilidad es la estimulación en el incremento de la población de leguminosas nativas en los potreros, mejorando además del suelo, la dieta animal. En la foto Centrosema pubescens, como especie nativa.

Especies como *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria dictyoneura*, *Brachiaria decumbens*, *Andropogon gayanus* y *Digitaria swazilandensis*, además de adaptarse a suelos con pH ácido, tienen la particularidad de adaptarse a suelos con bajos contenidos de nutrientes del suelo, disminuyendo así la fertilización a ser aplicada. Por lo tanto, son pastos que toleran diferentes niveles de acidez y adaptación a baja fertilidad natural, por lo que una de las estrategias para mejorar sus rendimientos sería la aplicación de este tipo de fertilizantes.

Otro aspecto de manejo importante para la utilización de la roca es definir y separar las unidades fisiográficas (banco, bajío, estero). En tal sentido, para las sabanas inundadas (leves o fuertemente), la época de pastoreo es un determinante para definir la época de fertilización, dependiendo del objetivo que se persiga (Tejos, 2002; citado por Comerma y colaboradores, 2005). Para el caso de especies introducidas que soportan inundación, como el caso del Tanner Grass (*Brachiaria radicans* o *Brachiaria arrecta*), o cuando se usen recursos agroalimentarios para alimentación animal como el arroz (*Oriza sativa*), se sugiere aplicar la fosforita incorporada dos semanas antes de la inundación, debido a que el pH del suelo

generalmente aumenta con la inundación, promoviendo la disolución de la roca.

En un estudio realizado para evaluar la tasa de crecimiento en suelos ácidos (pH de 4,6 y 1,4 meq/100 g de suelo de aluminio intercambiable) en la especie leguminosa arbustiva leucaena (*Leucaena leucocephala*), se demostró que con la aplicación de 500 kg/ha de roca fosfórica se incrementa dicha tasa en más del 30% con respecto al testigo (0 kg/ha de fósforo), la cual es de una gran ventaja para esta especie, durante toda su fase de establecimiento, que para suelos ácidos y pobres, oscila alrededor de 8 a 12 meses después de sembrada.

Los estudios revelan que más que el pH del suelo en sí, el problema de usar leucaena en estas condiciones, radica más es en el contenido tóxico de aluminio intercambiable. Por tal razón, en estos casos es recomendable la aplicación de sulfato de calcio a fin de disminuir la toxicidad de este elemento, debido a la acción de lavado que pueda ejercer el calcio sobre el aluminio, lo cual trae consigo otra ventaja, como es la aplicación de calcio, macroelemento fundamental para el desarrollo de la leucaena, que conjuntamente con el fósforo, son importantes para este tipo de suelos.



Leucaena leucocephala

Especies que soportan inundación o láminas de agua como el Tanner Grass (Brachiaria radicans), Alemán (Echinochloa polystachya) y pasto híbrido Caimán se sugiere incorporar la fosforita dos a tres semanas antes de la inundación.



Pasto Alemán



Arroz



Pasto Tanner

4. Uso de la tecnología de punta. Geoinformación.

La Geoinformación implica el uso de las tecnologías de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sensores remotos, imágenes satelitales y Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo que permite estimar, evaluar y entender variaciones climáticas y ambientales, para aplicar correctivos rápidamente, como sería evaluar con mayor precisión la densidad óptima de siembra, estimar fertilizantes a aplicar y predecir con más exactitud la producción de los cultivos (Ibañez, 2014).

Machado (2018), basado en las definiciones de la GIAC/CISM, define a la geoinformación como la aplicación de tecnologías de información y comunicación (SIG, teledetección, GPS, cartografía digital, internet, etc.), para la colección, almacenamiento, análisis, presentación, distribución y manejo de información espacialmente referida, para apoyar la toma de decisiones.

Los SIG, herramienta fundamental para procesar toda la información generada por los sensores remotos, son un conjunto automatizado de elementos físicos (Hardware), lógicos (Software), personas y metodologías, que interactúan de manera organizada para adquirir, almacenar, procesar, consultar, distribuir y publicar datos geospaciales que permiten producir información, el cual generará una base racional para la toma oportuna de decisiones, y ejecución de acciones sobre un objeto o fenómeno del mundo real (Machado, 2018).

El empleo de imágenes satelitales, el uso del dron en el campo, la toma de muestras geolocalizadas, elaboración de mapas de fertilidad y necesidades nutricionales, permiten ajustar los requerimientos de cada especie forrajera o de recursos agroalimentarios para la producción animal.

Es importante conocer que cada especie forrajera tuvo su región de origen con sus características agroecológicas muy bien definidas, las cuales influyen en su patrón genético y determinan su potencial de producción bajo condiciones ambientales similares a las de su origen. Al momento de establecer pastos introducidos o cualquier recurso agroalimentario (maíz, sorgo, arroz, caña de azúcar, yuca, entre otros) para la alimentación animal, se requiere de informaciones básicas relacionadas con la zona donde se va a trabajar, con el objetivo de minimizar los errores relacionados con la adaptación de las especies y el rendimiento de los mismos.

Es preciso determinar inicialmente cómo se encuentra lo relacionado a los factores que afectan la producción de pastos, tales como temperatura, insolación, humedad atmosférica, régimen pluviométrico (lluvias), fotoperíodo, altitud, longitud y las características texturales, estructurales y nutricionales del suelo. Por ejemplo, para obtener excelentes rendimientos en la producción de semillas forrajeras a nivel tropical, además de las características físico-químicas del suelo y la precipitación (cantidad y distribución), es muy importante el fotoperíodo, el cual está estrechamente relacionado con la altitud y longitud.

Pasos para usar la tecnología de la Geoinformación.

Inicialmente, mediante información geoespacial disponible en entes oficiales e internet se realiza la localización geográfica del Fundo, Finca o Unidad de Producción. Para ello se procede a la búsqueda y procesamiento de datos climáticos de la región, estudios de suelos previos, mapas de relieve del terreno, así como imágenes satelitales para observar la variabilidad espacial de la cobertura vegetal y uso actual de las tierras. Además

de obtener, de ser posible, los planos de la unidad de producción, los cuales son digitalizados, georeferenciados y vectorizados para superponerlos sobre la información geoespacial obtenida. Luego se va a campo y se procede a la

toma de escenas fotográficas, a partir del vuelo con el vehículo aéreo no tripulado (conocido como dron), para generar un mosaico de escenas fotográficas y obtener el Ortofotomapa aéreo a una resolución de 5 cm (Figura 6).

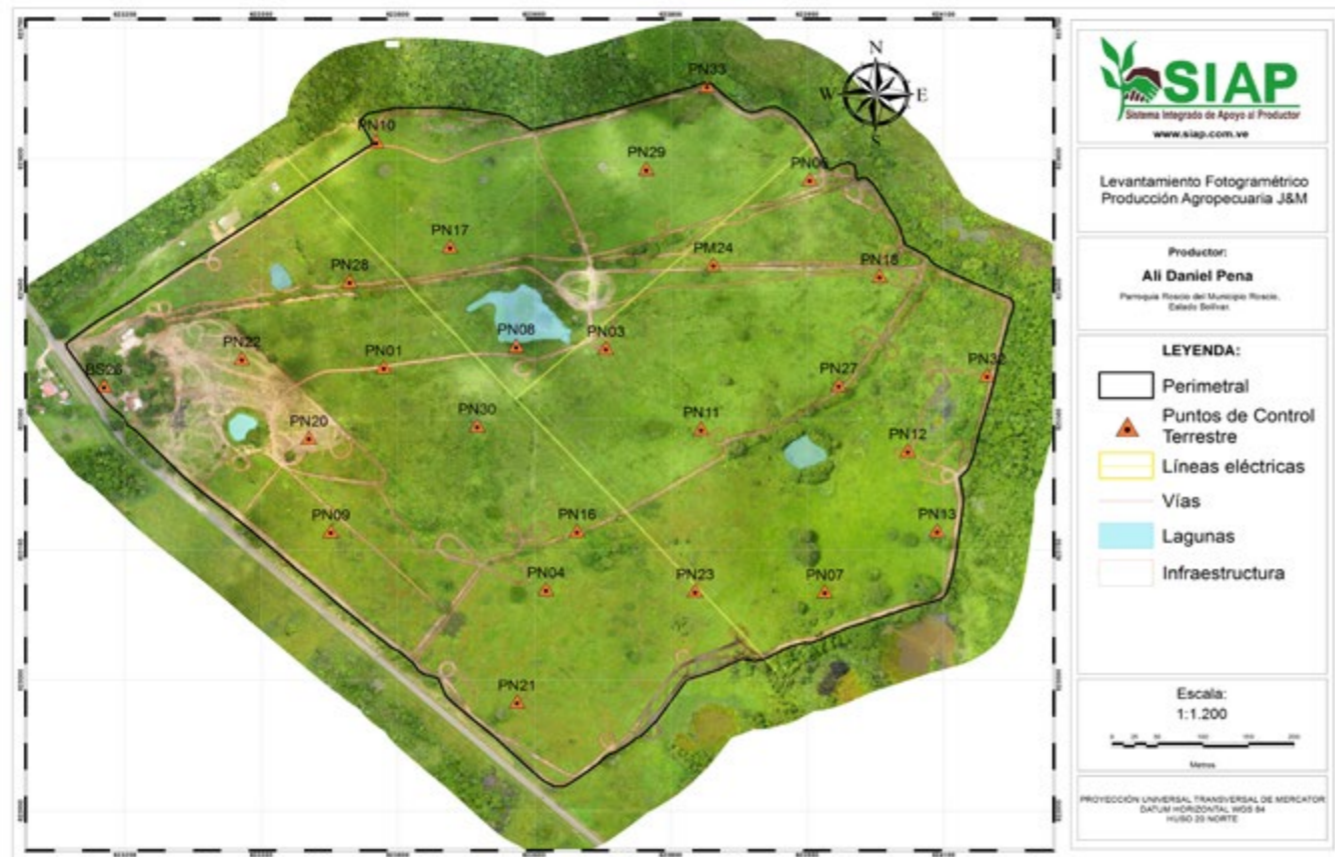


Figura 6. Generación de Ortofotomapa aéreo de alta resolución.

Fuente: Espinoza y Sevilla (2019)

Posteriormente, con la información georeferencial e imágenes capturadas por el sensor óptico del dron en campo, se procesa dicha información mediante ciertos programas computarizados especiales para tal fin.

Una vez analizada la información se procede a delimitar unidades preliminares de manejo, mediante la fotointerpretación del Ortofotomapa, para proceder al levantamiento en campo de los estudios de suelo y vegetación.

En este aspecto fundamental se busca conocer las propiedades físicas y químicas de los suelos que tengan alta correspondencia con el éxito de determinados tipos de utilización de las tierras en la finca. Dentro de ello se desea conocer la disponibilidad de nutrientes, acidez (pH) de los suelos, texturas (% de arena, limo y arcillas) y el contenido de materia orgánica, aspectos fundamentales para saber la fertilidad de los suelos y así conocer la necesidad real de fertilizantes y enmiendas (cal) para hacer un uso racional y eficiente de los mismos. Los resultados de este aspecto dependen

de la representatividad de la muestra de suelos obtenida y es por eso que se busca una correcta distribución de los puntos en la totalidad de superficie de la finca.

Una vez analizado el ortofotomapa y los distintos mapas de cobertura vegetal, modelo digital de información, entre otros aspectos, se procede a separar las diversas unidades fisiográficas presentes en la finca para la selección de los puntos geolocalizados para el muestreo de suelos (Figura 7). En tal sentido, con la ayuda de un GPS se localizan dichos puntos en el campo, para proceder a realizar un estudio detallado del suelo, hasta un metro de profundidad y la toma de muestras por cada punto. Una vez enviada la información al laboratorio, se genera un mapa de propiedades físico-química de suelos (Figuras 8, 9 y 10), de tal manera de ajustar el manejo referido a la fertilización granular, foliar y uso de enmiendas, entre otros aspectos a considerar.

Asimismo, con la información del ortofotomapa se ubican los puntos geolocalizados para la toma de tejido de los pastos y los cultivos o recursos agroalimentarios de la finca, para obtener igualmente mapas de fertilidad y valor nutritivo. Estos servirán para elaborar las dietas nutricionales para los animales, y corregir deficiencias o excesos de nutrientes en el pasto y los recursos agroalimentarios, que son destinados para elaboración de silaje, henolaje, heno, o suministro en fresco.

Con la información obtenida de los laboratorios de suelos y cultivos (análisis bromatológicos y minerales), se procede a determinar los requerimientos de las especies de pasto presentes por área, a los fines de ajustar las dosis de fertilizantes. De esta manera, el ahorro en la práctica de la fertilización es considerable, ya que permite ajustar los requerimientos del pasto o cultivo donde realmente hace falta (Figuras 11, 12 y 13).



Fotografía de un Perfil de Suelo para los estudios.

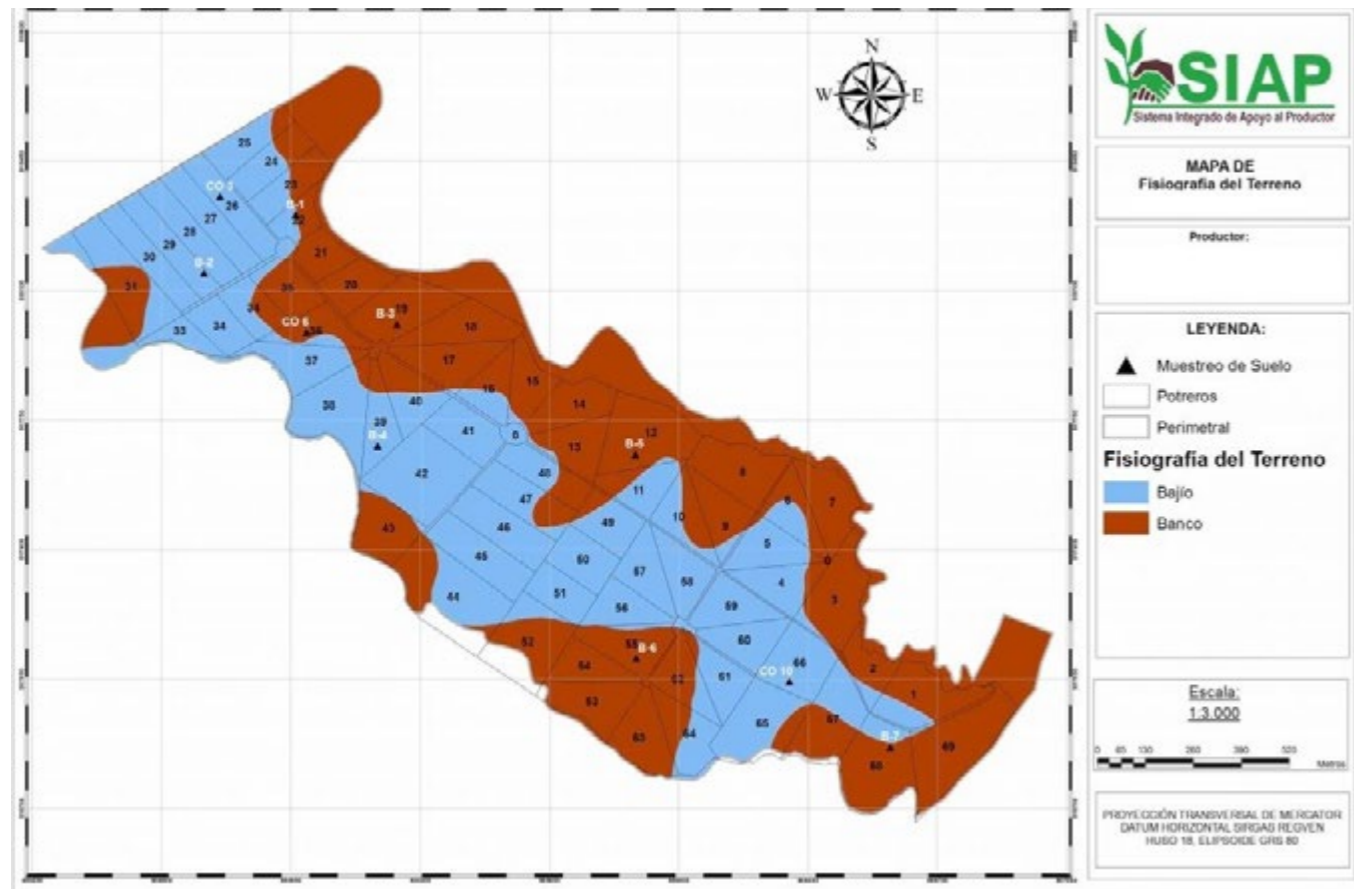


Figura 7. Unidades fisiográficas y de manejo para la selección de muestras a laboratorio.

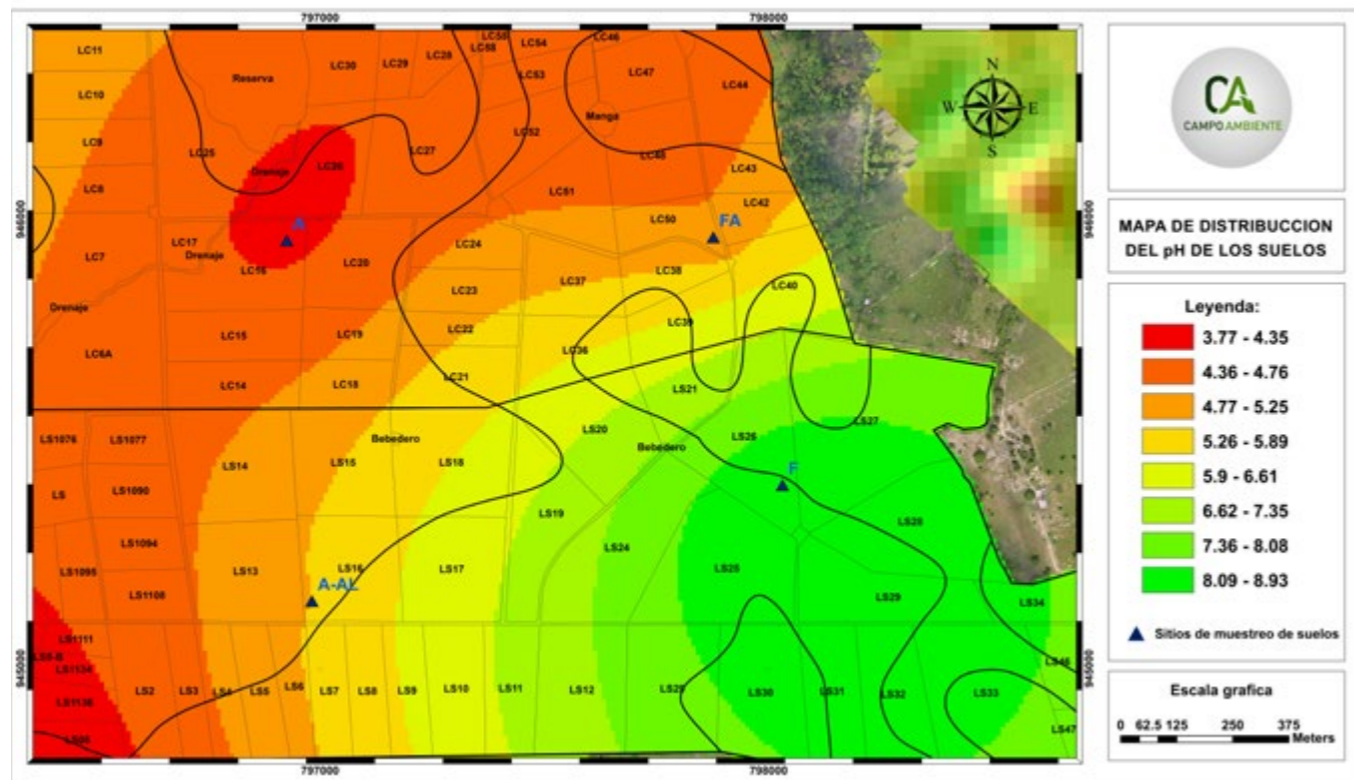


Figura 8. Niveles de pH en suelo en toda la finca.

Fuente: Espinoza y Sevilla (2019)

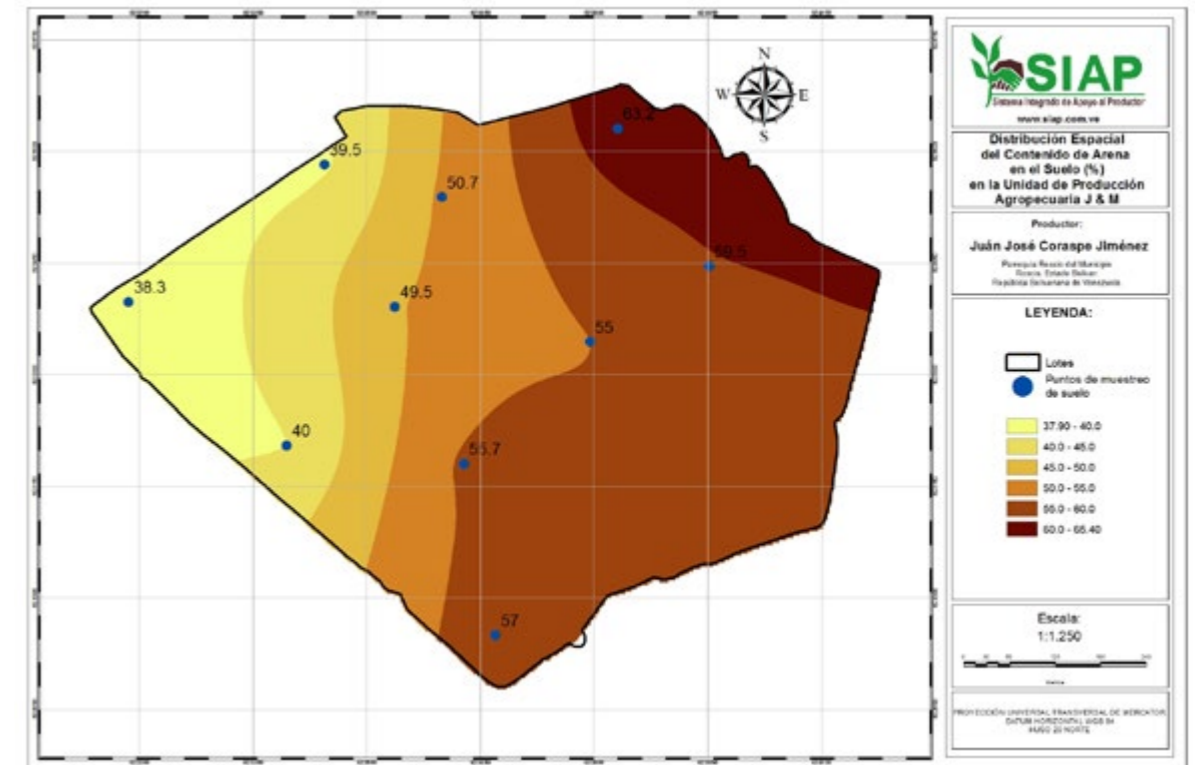


Figura 9. Mapa de propiedad de textura del suelo. Contenido de Arena.

Fuente: Espinoza y Sevilla (2019)

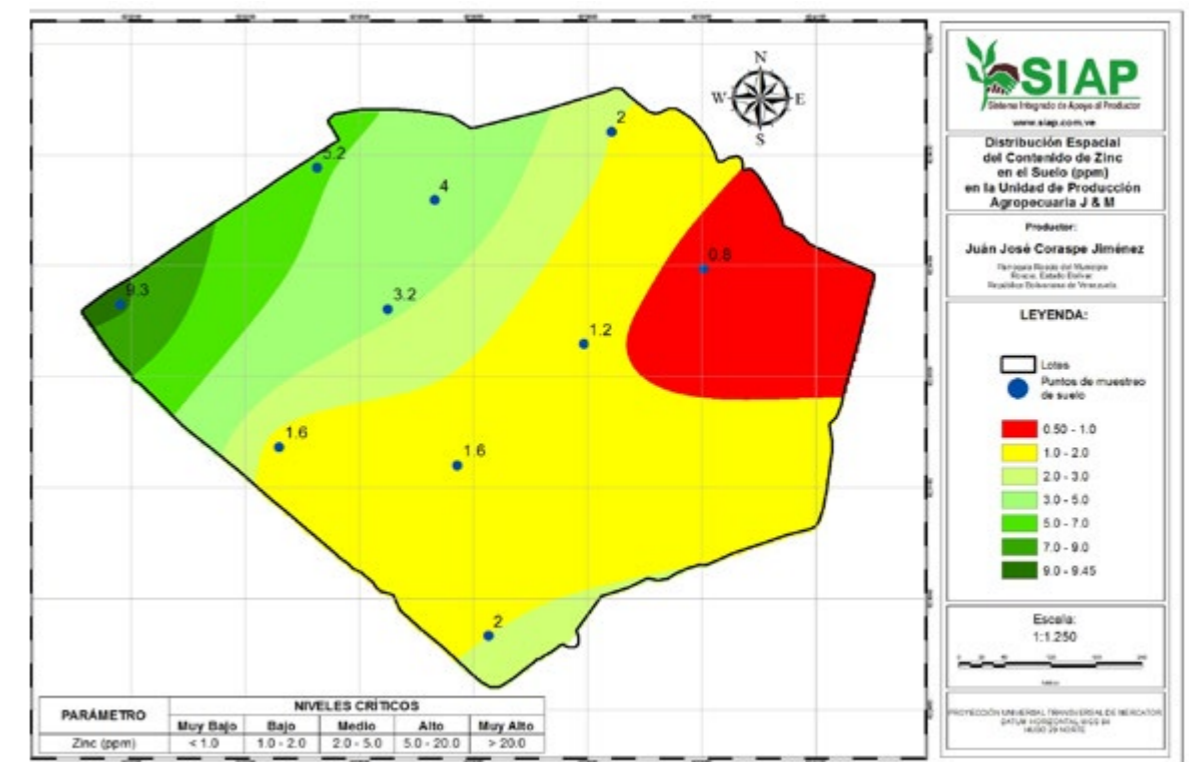


Figura 10. Mapa de propiedad química de suelo. Contenido de Zinc.

Fuente: Espinoza y Sevilla (2019)

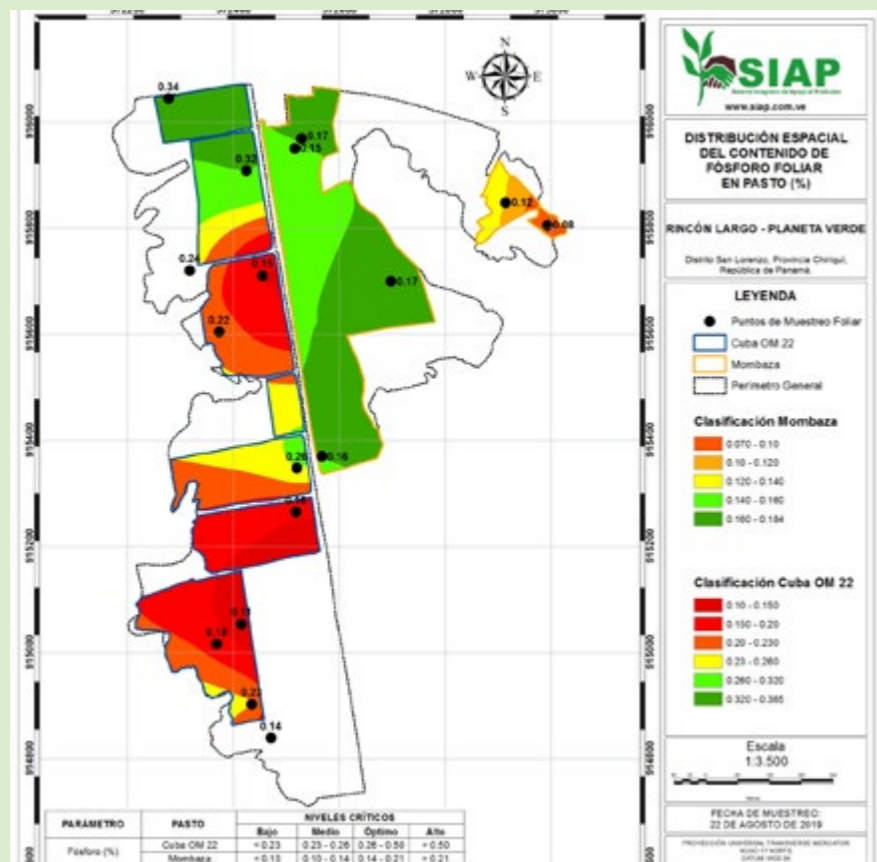


Figura 11. Distribución espacial del contenido de P en tejido de pastos en la finca.

Fuente: Espinoza (2019)

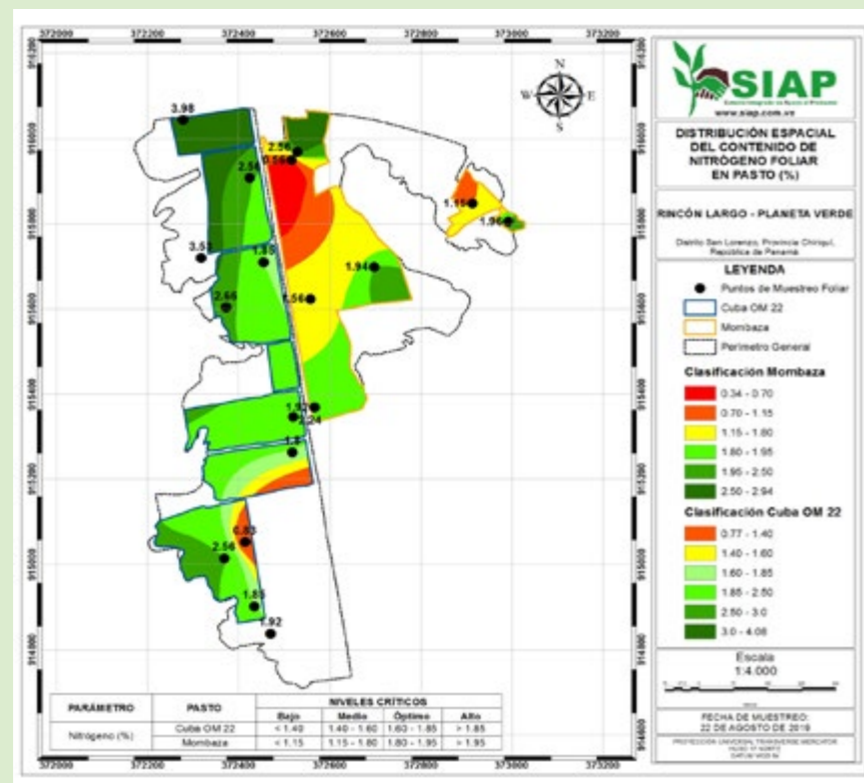


Figura 12. Distribución espacial del contenido de N en tejido de pastos en la finca.

Fuente: Espinoza (2019)

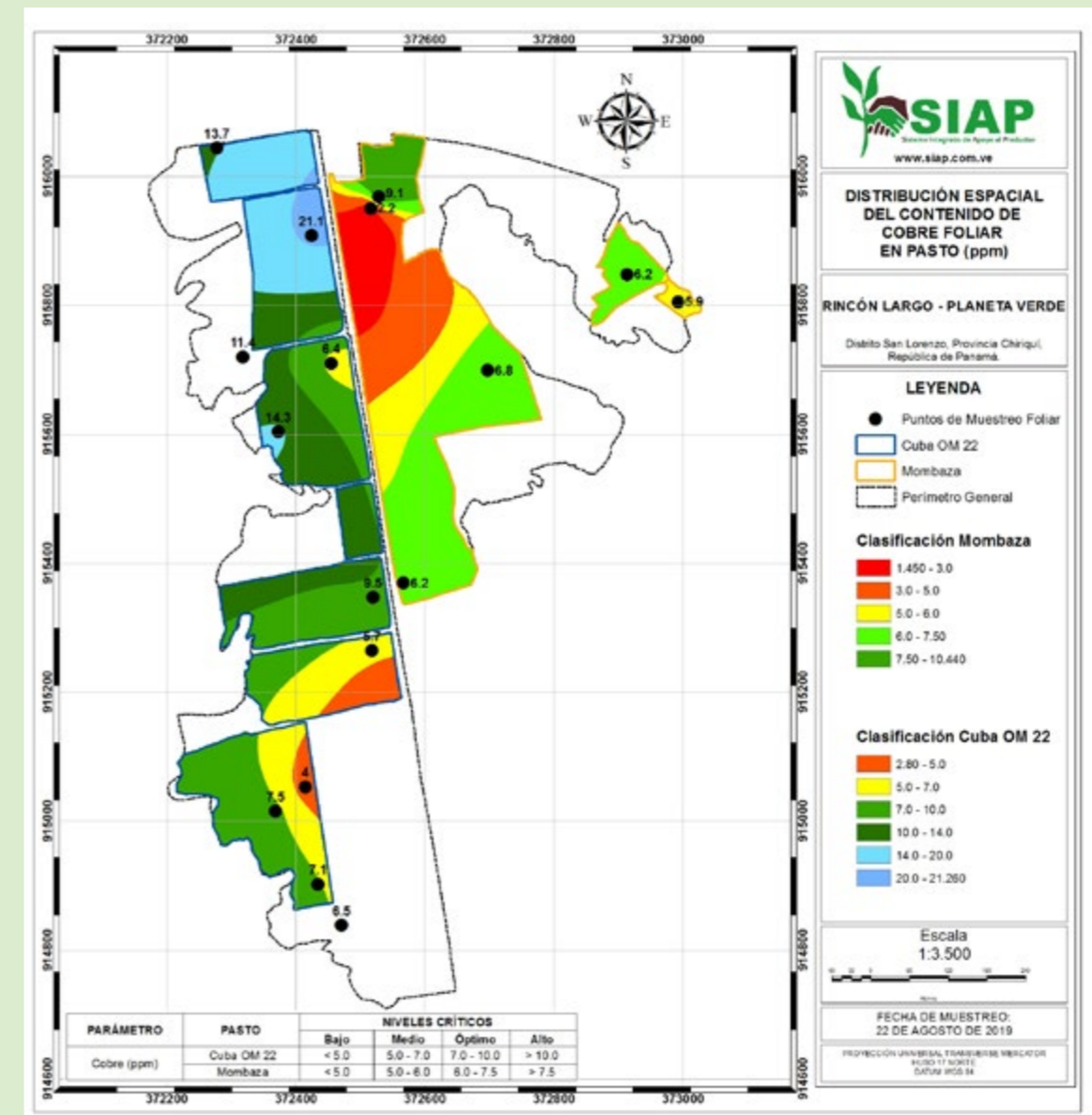


Figura 13. Distribución espacial del contenido de Cu en tejido de pastos en la finca.

Fuente: Espinoza (2019)

Como se ha mencionado anteriormente es preciso recordar nuevamente, que para una eficiente fertilización en pastos se deben tener en cuenta varios aspectos: el requerimiento de la especie y el animal, los niveles presentes en suelo y tejidos de la planta, así como la distribución y cantidad de lluvias. Una vez obtenidos estos elementos de sustento, se elabora un plan de fertilización para la mejora de los pastos (Figura 14).

Finalmente, mediante el uso de las imágenes obtenidas con el Dron, se establecen valores para determinar el índice de vegetación o NVDI, por sus siglas internacionales (Normalized Difference

Vegetacion Index), conocido también como índice de salud del pasto, potreros o cultivo (Figura 15). Dicho índice permite estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja (Mapping Gis, 2015). Este índice refleja el uso de la carga animal y el manejo de los potreros. Un índice de salud nos permite observar cómo está la regeneración de la pastura y si es el momento o no de rotar potreros.

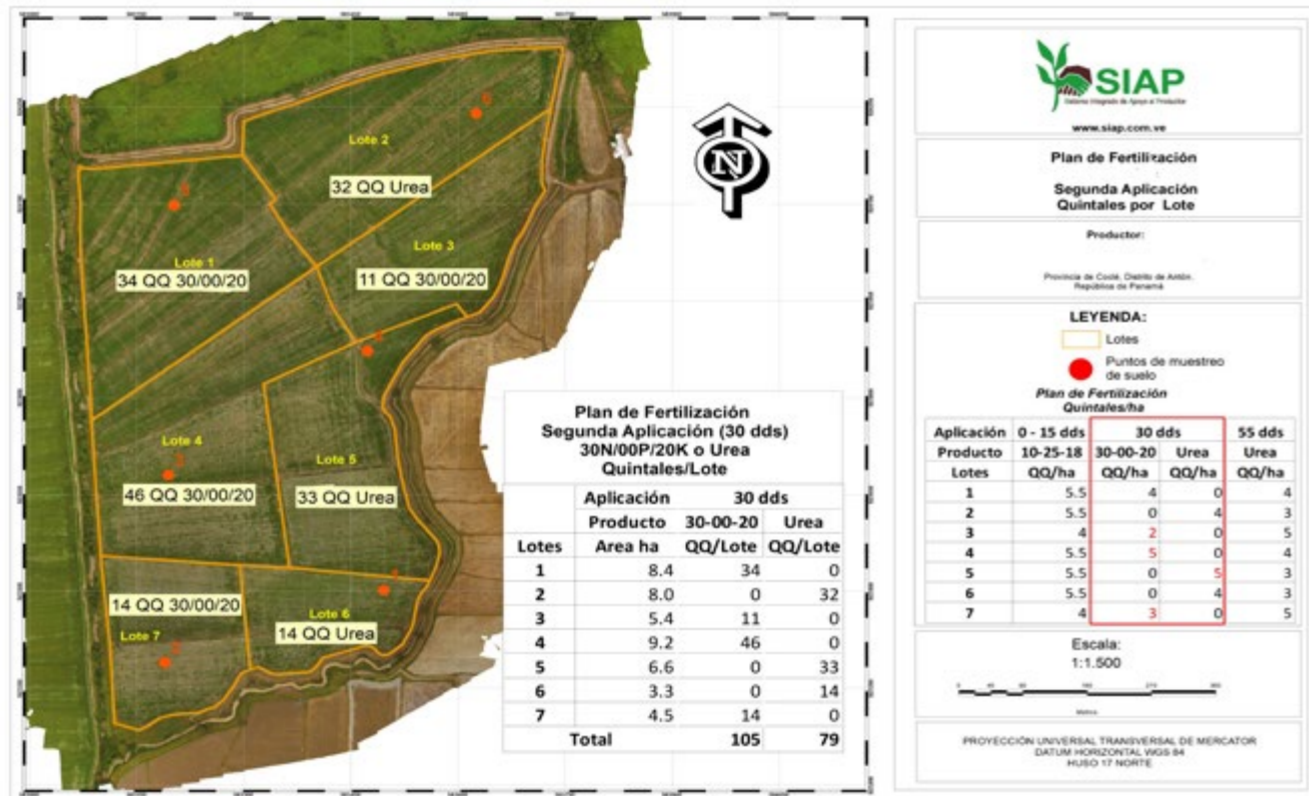


Figura 14. Niveles de fertilización con urea de acuerdo a diversos lotes.

Fuente: SIAP, 2019

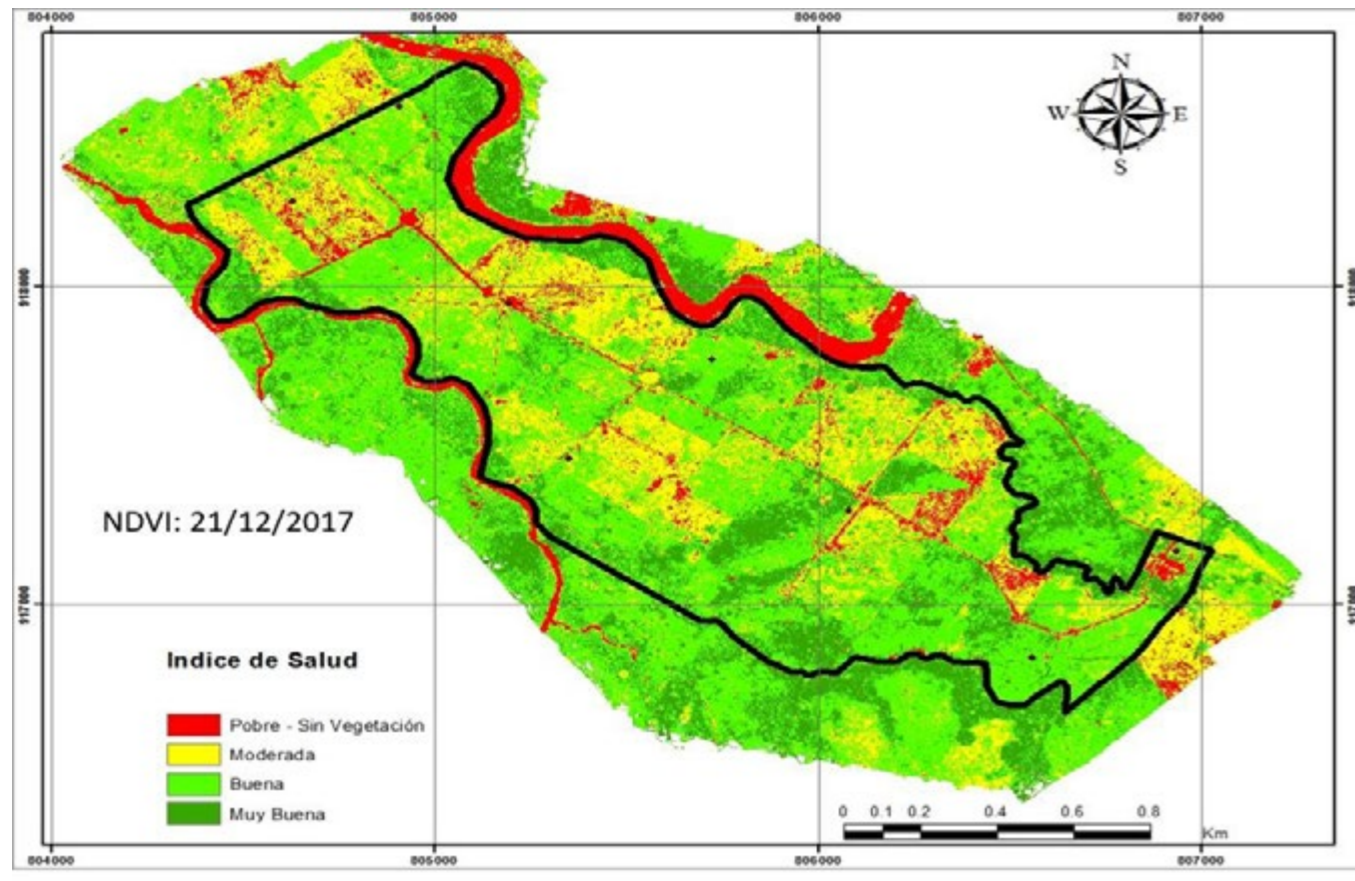


Figura 15. Índice de salud de potreros en finca La Coromoto, Venezuela

5. Establecimiento de Bancos de Energía.

Espinoza (2000), define a los Bancos de Energía como la inversión de áreas estratégicas que se destinan para el almacenamiento y suministro de nutrientes y biomasa con el propósito de satisfacer los requerimientos animales. Asimismo, indicó que el uso de un banco de energía viene dado por la ubicación de áreas estratégicas a establecer en la unidad de producción (fincas), bien sea de pastos adaptados a la zona o de otro cultivo energético (caña, sorgo, maíz, entre otros) que permita incrementar la cantidad de biomasa comestible, en términos de materia seca, tanto en cantidad como en calidad, y por ende aumentar la producción y productividad por animal y superficie de carne y/o leche. En tal sentido, la práctica de la fertilización se destina sólo a estas áreas desde el punto de vista estratégico.

Este tema sobre el uso de Bancos de Energía lo discutiremos en un capítulo aparte en una próxima edición.

Sin embargo, es pertinente mencionar que esta estrategia de uso dependerá de los objetivos que persiga el productor, tales como el sistema de producción, el sistema

de alimentación, las características edafoclimáticas de la zona y su capacidad de potencial de uso de la tierra, si es para mantener un grupo de animales en ciertos períodos del año o sólo para mantener el rebaño en dichas épocas, el tamaño de la finca y el área destinada para el banco de energía, estrategias de manejo del banco y el resto de la finca, entre otros.

La ventaja del Banco de Energía, es que es un área potencial para incrementar la biomasa y la calidad del mismo (dependiendo igualmente del cultivo), por lo que la fertilización de pequeñas áreas, además de ser más fácil para manejar, es factible y económicamente rentable.

El trabajo de Espinoza y colaboradores (2002), demostraron que con sólo utilizar un 20% de la superficie con *Brachiaria humidicola* en zonas de sabanas venezolanas de baja fertilidad incrementó la oferta forrajera entre un 37 y 60%, dependiendo del período lluvioso.

El cultivo de maíz como Recursos Agroalimentario para la producción animal, puede ser usado como un Banco de Energía, para ser suministrado en el momento oportuno, definido por el productor o técnico.



6. Utilización de abonos orgánicos y Purines.

Dependerá de la especie animal. Asimismo, la cantidad a aplicar dependerá de los aspectos físicos-químicos del suelo.

Es necesario conocer de donde provienen este tipo de abonos, ya que se pueden diseminar semillas de malezas de otras áreas que no existen en la zona, o provocar alguna incidencia de parasitosis en los animales que pastoreen o sean alimentados con las pasturas fertilizadas orgánicamente.

Es un método importante para la recuperación de suelos a mediano y largo plazo.

Las excretas animales son fuentes orgánicas que deben ser aplicadas correctamente a fin de evitar contribuir con la propagación de enfermedades, tanto en plantas como en animales.

La acidez del suelo también es importante a considerar. Las plantas en general, para poder mantener el equilibrio en su interior, absorbe cationes, liberando H⁺,

contribuyendo así a la reducción del pH del suelo. Si a este aspecto, le agregamos que la materia orgánica aporta también H⁺ (reduciendo aún más el pH del suelo) y bicarbonato (HCO₃) que, al combinarse con los cationes básicos, los lava del perfil, y promueve así condiciones favorables para mayor acidez. Por otro lado, cuando se aplica materia orgánica al suelo, también se activa un proceso de mineralización de la materia orgánica, liberando NH₄⁺, como producto final de la descomposición, acidificando también el suelo. Igualmente, la aplicación de fertilizantes nitrogenados que contengan o produzcan amonio (NH₄⁺), como el caso de la urea, también acidifican el suelo, a menos que lo absorba directamente la planta (Espinoza, 2003). Por tanto, estos aspectos deben ser considerados para establecer un balance entre producción de biomasa y calidad de sitio.

La aplicación indebida al suelo, puede acidificar y provocar reacciones adversas con otros nutrientes. El uso de fertilizantes orgánicos sólidos requiere de



grandes cantidades a aplicar, claro está, dependiendo de los análisis de suelos y la cantidad de elementos que contengan. No obstante, es una alternativa viable que debe ser considerado al momento de evaluar costos, siempre y cuando sea aplicado con criterios técnicos.

Por otra parte, se encuentran también los purines, los cuales, a diferencia del anterior son la mezcla de la excreta sólida (heces y alimentos) con los líquidos del manejo que se producen en la finca o granja (principalmente orinas y agua proveniente del lavado de los corrales). Estos son fermentados, pero contienen una carga contaminante bastante elevada. Pueden ser de origen bovino, bufalino, caprino, equino, ovino o porcino.

Los sistemas de lechería, ceba en confinamiento y cerdos, son los que más purines producen. Éstos contienen cantidades de nutrientes, los cuales deben ser conocidos mediante un análisis de laboratorio (mayormente N, P, K y Zn), así como alto contenido de materia orgánica. Sin embargo, los purines son más peligrosos para la contaminación del ecosistema si no son bien manejados, principalmente lo referido a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos.

Cuando se producen purines, se deben seguir ciertas normativas, las cuales van a depender de cada país donde se encuentre el sistema de producción, aspecto éste que debe ser considerado a la hora de construir instalaciones y aplicaciones para tal fin.

La Superintendencia de Servicios Sanitarios de Chile y Fedeleche, a través del Ministerio de Agricultura de Chile, establecieron una guía muy práctica en el año 2006, sobre el manejo de purines en lechería, las cuales se detallan textualmente a continuación:

1. Ordenamiento predial.

En el diseño de las instalaciones de una explotación lechera (salas de ordeño, patios

de alimentación y distribución, etc.), es fundamental considerar el potencial de producción de purines del establecimiento. Al respecto, se recomienda:

- Ubicar los patios de alimentación, de distribución y salas de ordeño en zonas altas dentro de la explotación, de forma que facilite la movilización de purines hacia las áreas de almacenamiento o canales de distribución internos del predio para fertilización por transporte directo.

- Emplazar las instalaciones de acopio de purines (piscinas o lagunas, pozos purineros), a una distancia de alrededor de 20 metros respecto a quebradas, cursos o cuerpos de agua superficiales naturales y artificiales, y construir obras de contención que impidan, en caso de rebalses, escurrimiento de purines hacia dichos cuerpos de agua.

- Considerar en el diseño de los pisos una pendiente de alrededor del 3 al 4%, y en fosos y otros sistemas de conducción de purines, una pendiente del 5%, para facilitar el escurrimiento de los purines.

- Construcción de sistemas de intercepción, conducción y evacuación de aguas lluvias, que impidan su escurrimiento hacia los corrales, salas de ordeño, instalaciones de acumulación de purines (piscinas o lagunas, pozos purineros), y sitios de acopio del estiércol. Instalar canaletas en la totalidad de los techos de las instalaciones, o de fosos u otros sistemas de desvío de precipitaciones.

2. Manejo de purines en la sala de ordeño y corrales.

- Realizar un primer barrido en seco, manual o mecánico, de corrales y salas de ordeño, y posteriormente usar un sistema de lavado con agua a alta presión y bajo caudal. Con esta medida se busca minimizar el ingreso de aguas limpias al sistema.

- Cuando se trate de corrales con piso de concreto, se recomienda realizar dos limpiezas por día.
- En el caso de corrales con piso de tierra, se recomienda retirar el estiércol periódicamente. Si existiese riesgo de escurrimientos hacia cursos de agua superficial, el retiro debe ser previo a la época de lluvias.
- Reutilizar el agua proveniente del lavado del sistema de enfriamiento de leche.
- Se debe mantener un control estricto en el uso de detergentes y desinfectantes en el lavado de la sala de ordeña, usando las dosis recomendadas por los fabricantes.
- Desviar las aguas lluvia a través de canaletas, práctica que cobra gran relevancia en las explotaciones del sur del país.
- Mantener en óptimas condiciones las cañerías e instalaciones del sistema de lavado a fin de evitar pérdidas de agua.
- Evitar mantener mangueras con agua corriendo.
- Para reducir la generación de excretas de los animales en la sala de ordeña y/o patio de alimentación, se recomienda evitar situaciones que generen stress al rebaño.



3. Aplicación de purines al suelo.

Es necesario contar con sistema de homogenización del purín, previo a su distribución en el suelo. Para estos efectos se utilizan, entre otros sistemas, los pozos purineros, que son estructuras en las que se almacena en forma transitoria el purín, a través de un sistema de agitación. Estos pozos se usan, además, para separar la fase sólida y líquida. Al respecto, se recomienda considerar en su construcción y manejo, lo siguiente:

- El terreno donde se ubiquen pozos purineros debería presentar una pendiente que impida el escurrimiento superficial fuera de éste.
- Evaluar la conveniencia de contar con más de un pozo en base a la cantidad de purines que genere la explotación, con el objeto de facilitar su manejo posterior.

• Considerar la construcción de pozos circulares ya que facilitan la homogenización de su contenido. La construcción de taludes (paredes inclinadas) dependerá del tipo de suelo, así, suelos más livianos deberán tener una inclinación de 1:1 ó 1:2, es decir, por cada un metro de profundidad uno o dos metros horizontales. En suelos más firmes, esta proporción podrá ser de 1:0,5.

• Implementar un sistema de impermeabilización del pozo purinero para evitar infiltraciones, considerando el tipo de suelo y características del sector en que éstos se ubiquen.

• Desviar precipitaciones, a través de canales o zanjas, para evitar su ingreso al pozo purinero.

• Utilizar rejillas en los fosos o canales que



Producción y almacenamiento de purines proveniente de la sala de ordeño. Barinas, Venezuela

conducen los purines al pozo, de forma de evitar el ingreso de materiales no deseados como trozos de madera, alambres, piedras, arena, etc.

- Disponer de infraestructura necesaria, como lagunas o piscinas impermeabilizadas, para la acumulación de purines en la época en que no es posible aplicarlos al suelo.

- Realizar un análisis químico del contenido de nitrógeno de los purines y del suelo en que será aplicado, y de acuerdo a las necesidades del cultivo, calcular la dosis de aplicación.

- Realizar la aplicación cuando las condiciones del suelo y climáticas lo permitan, no aplicar en épocas de lluvia intensa o cuando existan riesgos de saturación del suelo.

- Utilizar un sistema y tasa de aplicación de purines que permita su distribución en el suelo en forma homogénea.

- Evitar la aplicación de purines al atardecer o durante la noche ya que si existiese alguna falla en el sistema de aplicación sería difícil detectarla.

- No aplicar purines en suelos con una pendiente mayor al 15%.

- En las aplicaciones de purines dejar una franja de protección no menor de 3 m de quebradas y de cuerpos y cursos de aguas naturales y artificiales.

- No aplicar purines en suelos con inundación frecuente y en suelos donde se puedan producir apozamientos (lagunas).

- No aplicar purines en cultivos de frutas y hortalizas que se desarrollan a ras de suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo.

Importante es evitar contaminar las fuentes de agua por mal uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos. Las normativas y leyes deben cumplirse con rigurosidad.



En la Figura 16 se observa una aproximación en la distribución de nutrientes de los purines provenientes del ganado, donde se aprecia la alta repartición porcentual de fósforo, calcio, cobre, zinc, hierro y manganeso (no implica cantidad de nutrientes) que aporta la materia fecal; mientras que en la orina se distribuye mayor cantidad de nitrógeno, potasio y sodio.

La aplicación de purines tiene un efecto favorable en el incremento del rendimiento de los pastos, obteniéndose entre un 18

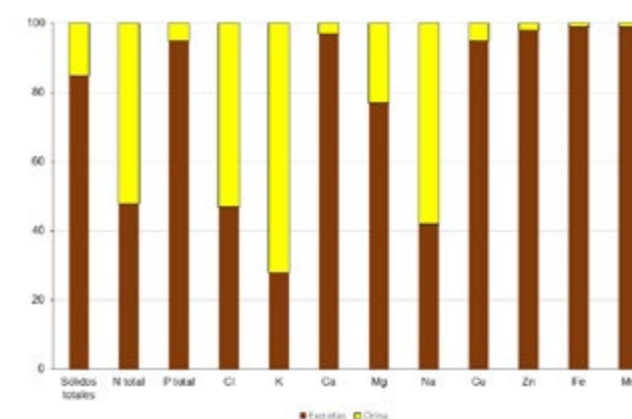


Figura 16. Distribución porcentual de nutrientes en heces y orina en vacas lecheras.

Fuente: Safley et al. (1984), citado por Salazar (s/f).

y 40% más de MS que cuando la pradera no es fertilizada (Figura 17). No obstante, el autor de este documento concluye que es necesario considerar los nutrientes que aportan complementariamente los fertilizantes comerciales y viceversa. En ese sentido, la aplicación de sólo nitrógeno y potasio en dosis de 100 Kg/ha en el ensayo mostrado por Salazar (s/f) tiene un efecto superior al 60% con respecto al control y más del 20% con respecto al mejor tratamiento con la incorporación de purines.

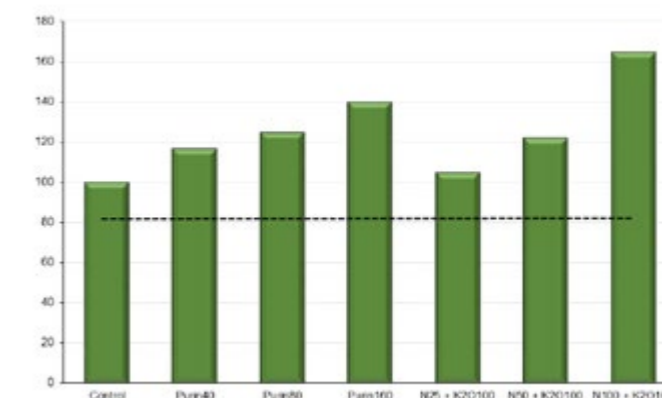


Figura 17. Incremento porcentual en el rendimiento de pastos en Chile.

Fuente: Salazar (s/f)

En conclusión, es preciso aclarar que para poder mantener una productividad de biomasa adecuada y balanceada cuando se usan abonos orgánicos (sólidos, semisólidos y líquidos) se recomienda complementar con la fertilización química, a los fines de terminar de cubrir los requerimientos de la planta, y ésta muestre su potencialidad. A menos, que se ajuste el sistema de producción (carne o leche), referido a un ajuste de la carga animal, adecuándola a la capacidad de sustentación del pasto.

7. Uso intensivo de la pastura con ajuste de Carga Animal.

La Carga Animal es otra de las estrategias para la fertilización de los pastos, dado al ciclo biogeoquímico que ello representa.

Como también se ha comentado con anterioridad, el hecho de los animales pastar directamente se presenta el ciclo biológico de los nutrientes, mediante entradas y salidas de nutrientes vías urinarias, fecales, atmosféricas, edáficas y climáticas. En dicho ciclo biológico suceden procesos de absorción, extracción, liberación, utilización y reutilización de los nutrientes dentro del sistema.

Por ejemplo, las reservas de fósforo en suelo, por ser un elemento poco móvil en el mismo, va a depender del balance entre lo que extraen las pasturas, las malezas, los animales y la reposición vía enmienda (caso rocas fosfóricas), fertilizantes químicos y los abonos orgánicos, tanto sólidos, como líquidos. Sánchez y colaboradores (2002),

indican que el P se encuentra mayormente en forma de minerales poco solubles y en la materia orgánica. Comentan estos autores, que es fácil establecer el balance de este elemento dentro del sistema ganadero. De forma general, la única vía a considerar como entrada es a través de la fertilización química y orgánica, y la salida es a través de la exportación de sus productos. Por tanto, bajo un sistema de pastoreo donde no hay fertilización fosfatada, el sistema está sujeto a una pérdida constante de P.

En el caso del azufre (S), el pastoreo acelera el ciclo de dicho nutriente, en virtud que el animal lo ingiere en forma orgánica y las devuelve al sistema en forma inorgánica, directamente disponibles para la reutilización por la pastura. En cambio, bajo un sistema de corte, dicho elemento requiere de un período más largo para mineralizarse y pasar a la fracción disponible.



En América Latina se está implementando hoy día el sistema de pastoreo tipo Voissin, donde se usan elevadas cargas animales en espacios pequeños para aprovechamiento de Fertilización orgánica.

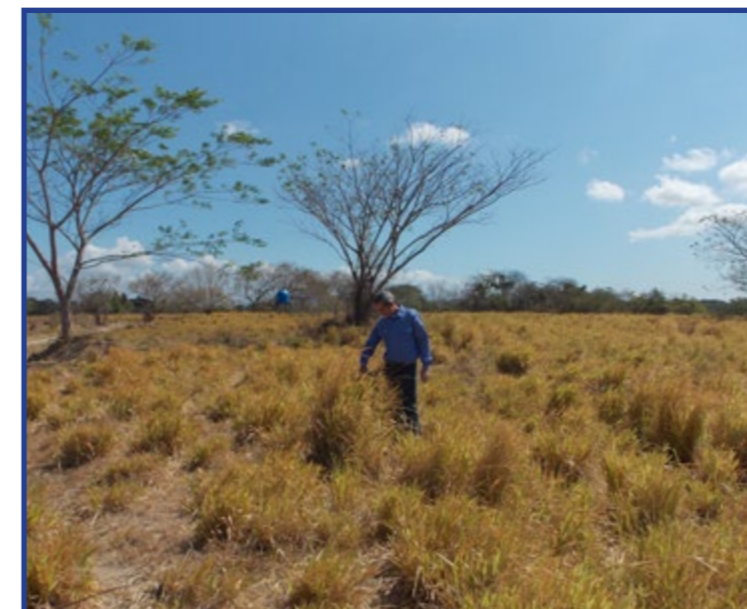
Se estima que aproximadamente entre el 75 y 95% del peso de los alimentos que consumen los animales herbívoros bajo pastoreo, los reciclan y devuelven al suelo, a través de las deposiciones. Y es este aspecto, es uno de los puntos donde se basa el uso de los sistemas de pastoreo voissin y pastoreo de ultra densidad, donde se usan altas cargas animales en espacios pequeños con tiempos de reposo variables. Investigadores y técnicos que usan este sistema de pastoreo, plantean como resultado un aumento biológico del suelo mediante la materia orgánica, mejoras tanto en la estructura, como en la

porosidad y retención del agua, lo que se conoce como ley de fertilidad creciente.

No obstante, es preciso aclarar que si no conoce a profundidad todos los elementos requeridos para utilizar altas cargas animales en rotaciones intensivas, las elevadas cargas animales usadas en esas áreas pequeñas puede resultar en compactación del suelo y sobrepastoreo. Por ende, puede suceder todo lo contrario a lo planteado en cuanto a la estructura físico-química del suelo. Además de afectar la disponibilidad de los forrajes como consecuencia del mal manejo.



El uso de cargas animales altas implica una fertilización orgánica, con el consecuente reciclaje de nutrientes. Pero un mal manejo traerá consecuencias muy negativas al sistema.



Ajustar cargas animales es una estrategia fundamental para manejar potreros y estimar la cantidad de excretas y orinas que pueden los animales dejar en el potrero.

8. Establecimiento de leguminosas forrajeras.

Esta estrategia de uso permite principalmente la disminución de la aplicación de fertilizantes nitrogenados al sistema, debido a la relación simbiótica que existe entre la planta y las bacterias del género *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*, mediante la cual se capta el nitrógeno atmosférico y se reincorpora al sistema. Además, mejora la calidad nutritiva de la dieta animal.

Las leguminosas por poseer una raíz pivotante, no sólo le permite obtener agua a niveles más bajos que las gramíneas, sino que también, su desarrollo radicular le permite extraer los nutrientes que se encuentren a mayor profundidad. Por ello es importante, cuando se van a establecer leguminosas forrajeras, realizar un perfil de suelo y tomar muestras a mayores profundidades, que las comúnmente tomadas (0 – 20 cm).

Estas pueden ser establecidas bien sea en

asociaciones o como bancos de proteína.

Hay leguminosas herbáceas como el *Arachis pintoii* (maní forrajero), *Pueraria phaseoloides* (kudzú tropical), *Centrosema macrocarpum* (centrosema) y el *Calopogonium mucunoides* (calopo), entre otras; semi-arbustivas como el *Stylosanthes capitata* (capica), *Stylosanthes guianensis* (estilo), *Stylosanthes hamata* (estilo, verano) y algunas especies del género *Desmodium* (pega pega); las hay también arbustivas como *Leucaena leucocephala* (leucaena, guaje, falso cují), *Cratylia argentea* (cratilia), *Gliricidia sepium* (mahomo negro, rabo e ratón) y el grupo de arbóreas como el *Samanea saman* (samán), *Enterolobium cyclocarpum* (caro caro) y las diversas especies del género *Erythrina* (eritrina, ceibo rojo). Estos dos últimos grupos de leguminosas, son usadas hoy día en los sistemas silvopastoriles, agrosilvopastoriles y en agroforestería en general, siendo llamados como árboles fijadores de nitrógeno.



Bancos de Kudzú tropical (*Pueraria phaseoloides*) en suelos pesados.

(Foto archivo Eduardo Chacón+).



El género Centrosema es muy común observarla en Latinoamérica en diversos ecosistemas.



El Calopogonium mucunoides es otra especie presente a nivel de Latinoamérica

Al igual que las gramíneas, cada especie tiene un requerimiento distinto y también captan y aportan cantidades distintas de nitrógeno al sistema.

Existen hallazgos que indican que leucaena fija anualmente entre 300 y 500 kg/ha de nitrógeno. No obstante, esta cantidad de nitrógeno atmosférico fijado, no necesariamente lo aporta completo a la especie acompañante, ya que parte de este nitrógeno fijado lo usa para sí misma y otra parte lo reincorpora al sistema. Bueno y Camargo (2015) encontraron que 28 días después de la siembra, leucaena fijó en los primeros 25 cm de profundidad del suelo la cantidad equivalente a 175 kg N/ha y cuando profundizaron a los 50 cm, la fijación fue de 162 Kg/ha. El suelo originalmente tenía un equivalente de 89 kg/ha, lo que quiere decir que, bajo las condiciones de dicho estudio, la leucaena fijó una cantidad equivalente a 249 kg N/ha. Sin embargo, ¿Qué cantidad puede transferir la leucaena a la especie de gramínea acompañante?

El estudio realizado por Camacaro y colaboradores (2004) reportó que,

Existen hallazgos que indican que leucaena fija anualmente entre 300 y 500 kg/ha de nitrógeno. Además es una especie muy apetecida por los animales.

dependiendo de la densidad de plantas, leucaena fija entre 90 y 160 kg N/ha/año, pero solamente transfiere a las gramíneas entre 20 y 60 kg/ha/año del N fijado, es decir entre un 22 y 38%. Estas condiciones de inferioridad en la fijación de N, fue atribuido por los autores al factor manejo y edad de la planta. Ello indica que estamos en la presencia de una planta que suministra buena cantidad de nitrógeno, por lo que podemos disminuir la cantidad de fertilizante nitrogenado a aplicar en potreros cuando leucaena es asociada a gramíneas.

De todos estos trabajos en leucaena, permiten inferir que al usar leucaena en sistemas asociados a gramíneas (conocidos también como sistemas silvopastoriles), el ahorro en fertilización nitrogenada oscila entre 30 y 50 US\$/ha.

Pero, existen otras especies que transfieren mayor cantidad, como es el caso de la *Albizia lebbek*, conocida como árbol de siri, la cual puede transferir hasta un 65% a la gramínea acompañante (Camacaro y colaboradores, 2004).



Por otro lado, existen evidencias científicas que sugieren en el caso de las leguminosas herbáceas, la transferencia de nitrógeno oscila entre 12 y 17% para el caso de siratro de agua (*Macroptilium atropurpureum*) y pega pega (*Desmodium intortum*).

Diversos autores señalados por Ruiz y Molina (2014), han estimado que las especies leguminosas *Centrosema*

pubescens (nombre vulgar centrosema), *Pueraria phaseoloides* (kudzú tropical) y la mezcla de estas dos con la leguminosa *Calopogonium mucunoides* (calopo) pueden fijar entre 150 y 295 Kg de N/ha/año. No obstante, sugirieron también que esta cantidad podría ser mayor, ya que no se consideró el N aportado por las hojas caídas, producto de la senescencia.

Leucaena leucocephala, excelente leguminosa forrajera en bancos de proteína. Es una especie ampliamente distribuida en Latinoamérica. En Panamá es común observarla de forma naturalizada.



(Foto archivo Eduardo Chacón+).

9. Uso de los sistemas agroforestales.

Estos sistemas también permiten el reciclaje de nutrientes. Además, generan una gran cantidad de beneficios al ecosistema y a los animales mismos.

Los sistemas agroforestales son abarcados por el término de la Agroforestería, la cual es definida como el sistema que engloba el uso de la tierra con la producción y utilización de especies leñosas combinadas con ganadería y/o cultivos agrícolas, procurando preservar el suelo, fuentes de agua y los refugios de fauna. Dicho concepto abarca, desde el libre pastoreo de rumiantes domésticos o silvestres en bosques naturales de grandes superficies, pasando por módulos agroforestales para la producción de leche o carne en determinadas superficies cercadas, utilizando de forma racional el ramoneo del follaje de árboles, arbustos, cultivos, residuos de cosecha y bejucos naturales o introducidos.

La agroforestería combina los elementos de agricultura con los elementos forestales dentro de una misma unidad de tierra, buscando la sustentabilidad del sistema que se esté trabajando.

En la agroforestería, el componente arbóreo tiene particular importancia debido a que el mismo influye directamente sobre las características físico-químicas del suelo, el microclima, el equilibrio ecológico, la hidrología y al ambiente en general.

A nivel electrónico existe mucha literatura relacionada a este tema y en la que puede ahondar al respecto, en especial a lo que se refiere a su definición y los diversos componentes que la conforman.

Pero, *¿Por qué se considera y se le da tanta importancia a la Agroforestería?*

Las respuestas a esta interrogante se deben a muchos aspectos, no obstante,

podríamos mencionar tres de ellos:

1. La presión demográfica mundial para cubrir sus necesidades alimenticias y energéticas; donde se ha recurrido al sacrificio de los bosques para la expansión de cultivos agrícolas.
2. Los ecologistas y ambientalistas han ejercido presión internacional para asegurar las generaciones futuras a través de la conservación ambiental.
3. La fuerte degradación de los suelos a nivel tropical, donde en muchos casos no hay respuesta a la aplicación de fertilizantes inorgánicos.

Dentro de la rama de la agroforestería, se encuentran los siguientes Sistemas Agroforestales: **Silvopastoril** (integración de los componentes animal y vegetal, dentro de éste pasto y árbol o arbusto), **Agrosilvopastoril** (integración de cultivos agrícolas con árboles, arbustos y el componente animal), **Agrosilvicultura** o **Agrosilviagrícola** (árboles y/o arbustos asociados con cultivos agrícolas) y **Forestal Multipropósito** (producción de alimentos alternativos, medicina, madera, cercas vivas, carbón, leña, entre otros).

Algunos ejemplos sencillos de estos sistemas son:

- **Silvopastoril:** Pastoreo directo con: leucaena, mahomo negro, samán, botón de oro (conocida también como árnicá), guásimo.
- **Agrosilvopastoril:** Pastoreo directo o de acarreo con: palma aceitera, Guandú o quinchoncho, leguminosas arbustivas combinadas con maíz o sorgo, uso de árboles frutales en asociación con especies forrajeras para pastoreo directo o corte y acarreo.
- **Agrosilvicultura:** combinaciones como

uso de la eritrina como sombra para café y cacao, siembra de arbustivas como botón de oro para sombra temporal en cultivos de café y cacao.

- **Forestales multipropósitos:** en este sistema entran las cercas vivas, cortinas rompevientos, especies medicinales o para biocidas, como teca, nacedero, moringa, etc.

Es importante mencionar que, dentro de todas éstas interacciones árboles o arbustivas-cultivo-animal, también son necesarios los factores humano y climático; ya que el primero es quien maneja estos sistemas, teniendo una repercusión en lo social, productivo y económico; y el segundo influye sobre un mejor confort, tanto para los animales, como para el hombre y el animal, a través del ambiente que lo rodea.

El uso de árboles en explotaciones agrícolas permite la recuperación de las propiedades físico-químicas del suelo, debido a que éstos tienen la capacidad de extraer las reservas minerales más profundas, permitiendo así la utilización de los nutrimentos que se pierden por proceso de lixiviación y reincorporarlas al sistema a través de la hojarasca y otras partes de la planta. Así, la estructura del suelo mejora como resultado del incremento de la materia orgánica, producto de una acción disociadora de las raíces de los árboles y la actividad de los microorganismos del suelo, ayudando de esta manera a desarrollar agregados del suelo más estables. El incremento de la materia orgánica debajo de los árboles permite una mayor actividad microbiana y una mejoría del microclima. Igualmente, la temperatura del suelo se modera por la sombra y la cubierta de la hojarasca.

Cuando se utilizan árboles y especies arbustivas en los sistemas agropecuarios, el contenido de fósforo disponible en el suelo se incrementa de cuatro a siete veces

bajo los árboles, mientras que los totales de carbón y potasio aumentan de dos a tres veces. El contenido de nitrógeno, calcio y magnesio se incrementan entre 1.5 a tres veces. Todos estos incrementos se atribuyen a la redistribución de minerales por la caída de hojas y la acumulación de materia orgánica cerca de los árboles.

En este sentido, Farrel y Altieri (2014) indican textualmente lo siguiente:

“La inclusión de especies compatibles y convenientes de perennes leñosas en terrenos de cultivos, pueden dar como resultado un mejoramiento acentuado en la fertilidad del suelo, mediante lo siguiente:

1. Aumento en los contenidos de materia orgánica del suelo por la adición de hojarasca y otras partes de plantas.
2. Un ciclaje eficiente de nutrientes dentro del sistema y consecuentemente una mejor utilización de los nutrientes tanto nativos como los nutrientes aplicados.
3. La fijación biológica de nitrógeno y la solubilización de nutrientes relativamente escasos, por ejemplo, el fósforo por medio de la actividad de micorrizas y bacterias solubilizadoras de fosfato.
4. Aumento en la fracción cíclica de nutrientes de las plantas y reducción de la pérdida de nutrientes más allá de la zona absorbente de nutrientes del suelo.
5. Interacción complementaria entre las especies componentes del sistema, dando como resultado una repartición más eficiente de los nutrientes entre sus componentes.
6. Economía adicional de nutrientes debido a diversas zonas absorbentes de nutrientes de los sistemas de raíces de las especies componentes.
7. Efecto moderador de la materia orgánica del suelo en reacciones de suelo extremo y la consecuente liberación y disponibilidad de nutrientes.”



Sistema Silvopastoril, utilizando la especie arbórea leguminosa *Samanea saman* como sombra.



Levante de becerros en sistemas silvopastoriles con Leucaena leucocephala. Esta es una especie multipropósito y de múltiples ventajas en cualquier sistema ganadero. Sin embargo, requiere de suelos que no sean ácidos.



Sistema agroforestal multiestrata donde se combinan, especies arbustivas, leguminosas arbóreas y gramíneas.

En los sistemas silvopastoriles, el contenido de minerales a nivel de las heces es mayor, en comparación al pastoreo sin la presencia de árboles o especies arbustivas, tal como se aprecia en el Cuadro 10.

Son muchas las especies que se usan en

los sistemas agroforestales. Entre ellas se encuentra, además de las mencionadas con anterioridad, cratilia (*Cratylia argentea*), adaptable a suelos ácidos. En el Cuadro 11 se muestran otras especies utilizadas para tal fin.

Cuadro 10. Contenido mineral en heces de vacas lactantes en pastoreo rotacional de pasturas a base gramíneas puras comparadas con un sistema de silvopastoreo.

TIPO DE PASTURA	CONTENIDO MINERAL (% MS)				
	N	P	K	Ca	Mg
Gramíneas	1.13	0.36	0.82	0.6	0.4
Silvopastura	1.46	0.42	1.17	0.9	0.5

Fuente: Botero y Russo (1997)

Cuadro 11. Especies arbóreas y arbustivas que pueden ser usadas en diversos arreglos agroforestales.

ESPECIE	SISTEMA AGROFORESTAL			
	SILVO	AGROSILVO	SILVIAGRICOLA	FORESTAL MULTIPROPOSITO
	PASTORIL			
<i>Acacia macracantha</i>	X			
<i>Acacia mangium</i>	X			X
<i>Albizia lebbeck</i>	X		X	X
<i>Cajanus cajan</i>		X		
<i>Cratylia argentea</i>	X			
<i>Cassia moschata</i>	X			
<i>Elaeis guineensis</i>	X	X		X
<i>Elaeis oleifera</i>	X	X		X
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	X		X	X
<i>Erythrina spp</i>	X	X		
<i>Guazuma ulmifolia</i>	X		X	X
<i>Gliricidia sepium</i>	X	X	X	
<i>Inga edulis</i>	X		X	X
<i>Leucaena leucocephala</i>	X	X		
<i>Leucaena spp</i>	X	X	X	X
<i>Moringa oleifera</i>	X			X
<i>Morus alba</i>	X			X
<i>Pithecellobium dulce</i>	X			X
<i>Prosopis juliflora</i>	X			X
<i>Samanea saman</i>	X	X	X	X
<i>Pterocarpus indicus</i>	X			X
<i>Sesbania sesban</i>	X			X
<i>Tithonia diversifolia</i>	X			
<i>Trichanthera gigantea</i>	X	X		X

Es importante reseñar la utilidad que tienen los árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en la agroforestería. Éstos, incrementan el nivel del nitrógeno en el suelo por su capacidad de fijación del N atmosférico y del aporte de materia orgánica a través de la hojarasca, tallos finos, ramas, flores, frutos y raíces muertas. También pueden incrementar la disponibilidad de fósforo, calcio, potasio y magnesio. Pero, desde el punto de vista ambiental, su mayor importancia radica en la captación de carbono (C), por lo que estos sistemas, al igual que los bosques, son considerados como sumideros de carbono o reservorios de carbono.

En ganadería, la dinámica del C va a depender si la pastura utilizada es a base de especies nativas o introducidas, si son gramíneas o leguminosas, si las gramíneas son híbridas o no y el tipo de pastoreo que se emplee. Pero, lo que si se ha demostrado es que en los sistemas ganaderos las pérdidas de carbono son menores que en aquellos suelos donde se producen cultivos agrícolas.

Otro aspecto importante cuando se utiliza la fertilización nitrogenada en gramíneas, es su contribución al almacenamiento de carbono. Una pastura bien manejada tiene un elevado potencial para almacenar C orgánico en el suelo y por ende es capaz de incrementar su actividad (Kanninen, 2006).

En Venezuela, utilizando el mahomo negro (*Gliricidia sepium*) en un sistema silvopastoril se cuantificó una tasa de fijación de carbono de 124 kg C/ha/año (Arias y colaboradores, 2006).

Continuando con los resultados observados en leucaena como especie de muchas bondades para el trópico, los cuales van desde el punto de vista de producción animal y vegetal, hasta sus aportes al mejoramiento del suelo, se mencionan seguidamente otras ventajas desde el punto de vista físico de suelos.

En los cuadros 12 y 13 se aprecia como con el transcurso de los años los beneficios en las propiedades físico-química del suelo son mayores. Una de las mediciones más importantes relacionadas con las propiedades físicas del suelo, es el mejoramiento del drenaje interno (tasa de infiltración), donde se observa el incremento al pasar de 0.6 a 1.66 cm/min. Sin embargo, desde el punto de vista químico, su mejoramiento por el aporte de leucaena es aún mejor, observándose incrementos por el orden del 3,000% de N, 307% de K y 174% de materia orgánica. Considerando, que tanto N, como K son macronutrientes indispensables y costosos para las gramíneas, un buen manejo de asociaciones de gramíneas con leucaena, reducirá los costos de mantenimiento de pasturas.

Cuadro 12. Propiedades físicas del suelo en plantaciones de Leucaena.

AÑOS DE SIEMBRA	DENSIDAD DE PARTÍCULA	POROSIDAD	TASA DE INFILTRACIÓN	RESISTENCIA AL PENETRÓMETRO
	(Kg/m ³)	(%)	(cm/min)	(kg/cm ²)
0	2,552	64.1	0.60	3.15
9	2,663	69.2	0.88	2.69
12	2.698	68.7	1.50	2.52
21	2,668	69.5	1.66	2.34

Fuente: Lalljee y colaboradores (1998).

Cuadro 13. Niveles de nutrimentos del suelo en plantaciones de leucaena.

AÑOS DE SIEMBRA	pH	DISPONIBILIDAD		MATERIA ORGÁNICA	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻
		P	K			
		(%)				
0	4.93	11	138	2.62	102.2	40
9	5.85	12	304	3.50	108.4	62
12	6.80	11.6	368	3.77	98.5	56.8
21	6.95	10	424	4.56	104.8	71.8

Fuente: Lalljee y colaboradores (1998).

Sistema agroforestal en Cantón de Pérez Zeledón, Costa Rica.



*El nacedero (**Trichanthera gigantea**) es una especie que puede ser usada en distintos sistemas de producción animal. Es una planta que conserva los manantiales.*

Ambas especies pueden ser usadas como sistemas multiestratos asociadas a Leguminosas



*Las especies conocidas como palma, corozo o palma aceitera, pertenecientes al género **Elaeis** son plantas que proporcionan buenas fuentes de ácidos grasos para la alimentación animal.*

10. Uso de los sistemas agropastoriles.



“La caña de azúcar es un recurso estratégico para época de escasez forrajera..”

Este sistema puede ser considerado también como parte de los sistemas agroforestales, ya que se refiere a la integración de los cultivos agrícolas con el componente animal, bien sea para pastoreo directo o corte y acarreo. La diferencia con respecto al agrosilvopastoril, es que en este último se usan los tres componentes en conjunto (cultivo, leñosa y animal), mientras que cuando se refiere al agropastoril, es solo el uso del cultivo agrícola para la alimentación directa, conservación de forrajes o para corte y acarreo.

En el Cuadro 14 se observan algunos usos de sistemas agropastoriles.

Para el caso de arbustivas se considera solo para corte y acarreo, sin embargo, en estos casos también pueden ser considerados como silviagrícolas, con la diferencia

que acá el cultivo es destinado para la alimentación animal dentro de la misma finca.

Los frijoles pueden ser de las diversas especies existentes, tales como el *Phaseolus vulgaris* y las diversas especies del género *Vigna*.

Ahora bien, ¿Cómo puede ser una estrategia la disminución de fertilizantes en estos sistemas?

Ya hemos mencionado cómo el uso de leguminosas ayuda a la disminución de fertilizantes. Por otro lado, la práctica de sistemas cero labranza, labranza mínima o convencional para la siembra de cultivos agrícolas, implica fertilización para el cultivo. De esta manera, el pasto también absorbe los nutrientes aplicados al cultivo.

Cuadro 14. Combinaciones de sistemas agropastoriles y agrosilvopastoriles multiestratas para pastoreo, corte y acarreo.

CULTIVO	PASTO	LEGUMINOSA				TITHONIA
		FRIJOL	GUANDÚ	ARBUSTIVA	HERBÁCEA	
Arroz	X					
Batata	X			X		X
Cana	X	X			X	
Citricos	X				X	
Maiz	X	X	X	X	X	
Pasto		X	X			X
Sorgo	X	X	X	X	X	
Tithonia	X	X	X	X	X	
Yuca	X	X	X			

Los restos de cosecha o el pastoreo de cultivos y pastos, permiten una mayor eficiencia en la integración suelo:planta:animal, por lo que el reciclaje de nutrientes se maximiza y permite disminuir la cantidad de fertilizante a aplicar, siempre y cuando sean correctamente manejados en términos de carga animal y rotaciones de potreros.

El uso de los sistemas agropastoriles, son Recursos Agroalimentarios para la alimentación animal de la finca, que

permite incrementar la disponibilidad de materia seca para el rebaño o grupo de animales, bien sea bajo la modalidad de complementación o suplementación, como sería el caso de los bloques multinutricionales o las harinas. Al ser cultivos agrícolas, las áreas utilizadas son sitios estratégicos y de menor tamaño, lo que permite usar un plan de fertilización más adecuado, aumentando así la cantidad de materia seca, sin necesidad de tener que fertilizar toda la finca para poder mantener los animales.



En los llanos venezolanos los productores combinan maíz y pasto para ensilar. Otros cosechan el grano y dejan el pasto y los restos de cosecha para los animales.

11. Uso de abonos verdes en Recursos Agroalimentarios, establecimiento de pastos o recuperación de pasturas degradadas.

Se conoce como abonos verdes a los cultivos agrícolas de ciclo corto (también llamados cultivos secundarios) o especies perennes en potreros o praderas (silvestres o introducidas), las cuales al ser cortadas o rastreadas son incorporadas al suelo para nutrir a otro cultivo principal a establecer o para recuperar la pastura. Es decir, se usa como un fertilizante natural, pero para ello este cultivo secundario debe contar con ciertas características, tales como: alto valor nutritivo, rápido crecimiento, rápida cobertura del suelo, capacidad para captar nutrientes de origen atmosférico, pluvial y de capas más profundas del suelo, alta tasa de descomposición para la producción de materia orgánica, elevada producción de hojas, de naturaleza succulenta, eficiente en el uso de agua en el suelo, capacidad para desarrollarse en suelos de baja fertilidad natural. Para el caso de leguminosas, que ésta tenga la capacidad de asociarse con las bacterias nitrificantes locales en suelos pobres.

Si el abono verde a utilizar proviene de gramíneas forrajeras tropicales, éstas son de regular a muy bajo valor nutritivo, por lo que sólo aportará pequeñas cantidades de nutrientes, producto de la descomposición de la materia orgánica. En este caso, es recomendable tomar el análisis de suelo posterior a este proceso para definir el ajuste de la fertilización química u orgánica a aplicar al pasto o cultivo a emplear (Recurso Agroalimentario).

En la medida que el cultivo para ser usado como abono verde tenga un follaje abundante y succulento, es mayor el contenido de humedad y por ende es más rápida la descomposición. En este sentido, para el caso de tierras de baja fertilidad tiene mayores ventajas, ya que su uso será

más rápido e influirá en el mejoramiento del suelo.

Un ejemplo de las bondades del uso de leguminosas para ser usado como abono verde, fue el desarrollado por Zahara y colaboradores (1986), citados por Ruiz y Molina (2014), quienes en un sistema silviagrícola de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) asociada en un 80% con kudzú tropical como abono verde y en forma de cobertura, utilizando técnicas isotópicas, encontraron que la fijación de nitrógeno estuvo alrededor a los 151 Kg de N/ha/año.

De acuerdo con la información suministrada por Biogroweb (2018) y EcuRed (2011), el uso de abonos verdes, no sólo tiene un efecto nutricional sobre el pasto a establecer o en los recursos agroalimentarios, sino que influyen también en los siguientes aspectos biológicos, nutricionales, físicos y químicos del suelo:

a) Dinamizan los procesos biológicos del suelo, estimulando de forma inmediata la actividad biológica y mejorando la estructura del suelo, por la acción mecánica de las raíces, exudados radiculares, formación de sustancias pre-húmicas al descomponerse y por la acción directa de las células microbianas y micelios de hongos.

b) Los abonos verdes aportan materia orgánica al suelo, por tanto, las propiedades físicas de éste se ven mejoradas, siendo mayor su permeabilidad y oxigenación.

c) Protegen al suelo de la erosión y la desecación durante el desarrollo vegetativo, y mejoran la circulación del agua en el mismo.

d) Pueden mejorar la estructura del suelo, producto del establecimiento de especies secundarias con raíces pivotantes y profundas. Esto permite que aumente la porosidad y permeabilidad del suelo, el ambiente microbiológico sea más propicio, ofrece cohesión a los suelos arenosos, por lo que los abonos verdes tienen un efecto positivo en recuperar suelos degradados y los que carezcan de estructura.

e) Aseguran la renovación del humus estable, acelerando su mineralización mediante el aporte de un humus más "joven" y más activo.

f) El abono verde está implicado en la movilización y reciclado de nutrientes, para formar parte de sus estructuras orgánicas que posteriormente serán incorporadas lentamente al suelo. Por lo tanto, aumentan la fertilidad natural del

suelo.

g) Enriquecen al suelo en nitrógeno, si se trata de leguminosas, e impiden, en gran medida la lixiviación del mismo y de otros elementos fertilizantes.

h) El establecimiento de leguminosas favorece el incremento del pH en suelos ácidos.

i) En su descomposición, se liberan o sintetizan sustancias orgánicas fisiológicamente activas, que tienen una acción favorable sobre el crecimiento de las plantas y su resistencia al parasitismo.

j) Limitan el desarrollo de malezas, directamente por el efecto de la cubierta vegetal en sí misma e indirectamente porque ciertos abonos verdes tienen poder de deshierbe.



Centrosema pubescens como abono verde en plantaciones de Teca (*Tectona grandis*) en el distrito de La Chorrera, provincia Panamá Oeste, Panamá

12. Combinación entre dos o varias de las estrategias mencionadas.

Una última estrategia para disminuir los costos por fertilización en pastos y los cultivos locales para la alimentación animal es usar la combinación de varias alternativas o estrategias de las 11 mencionadas en el presente documento. Como, por ejemplo, en suelos ácidos y de baja fertilidad natural (suelos pobres), el establecimiento y manejo de especies adaptadas a bajos niveles de

nutrientes (**Estrategia 2**), la aplicación de enmiendas a través de las rocas fosfóricas (**Estrategia 3**) y un estudio detallado que le permita mostrar la potencialidad de la finca, en qué cantidad y que sitio requiere aplicar, tanto la roca fosfórica como los demás nutrientes requeridos por la planta (**Estrategia 4**) y uso de los sistemas agroforestales (**Estrategia 9**).

Referencias

Agromática. s/f. Terra Sabvia. Importancia de los abonos verdes. <https://www.agromatica.es/abonos-verdes/> (Consultado el 28/02/2020).

Aide T., M. Clark, H. Grau, D. López-Carr, M. Levy, D. Redo, M. Bonilla-Moheno, G. Riner, M. Andrade-Núñez and M. Muñiz. 2012. Deforestation and reforestation of Latin America and the Caribbean (2001-2010). *Biotropica*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1744-7429.2012.00908.x> (Consultado el 29/04/2020)

Álvarez, J. 2001. Interpretación de los perfiles metabólicos: indicadores asociados al metabolismo mineral. In: *Bioquímica Nutricional y Metabolismo del Bovino en el Trópico*. Editorial Universidad de Antioquia, Colombia. 201 p.

Arévalo, G. y M. Castellano. 2009. Manual de Fertilizantes y Enmiendas. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 57p.

Argel, P., J. Miles, J. Guiot, H. Cuadrado y C. Lascano. 2007. Cultivar Mulato II (*Brachiaria* híbrido CIAT 36087): Gramínea de alta calidad y producción forrajera, resistente a salivazo y adaptada a suelos tropicales ácidos bien drenados. Centro de Agricultura Tropical (CIAT), Boletín, 22 p.

Argel, P., J. Miles, J. Guiot y C. Lascano. 2006. Cultivar Mulato (*Brachiaria* híbrido CIAT 36061): Gramínea de alta producción y calidad forrajera para los trópicos. Cali, Colombia. Centro de Agricultura Tropical (CIAT), 2005. Boletín. 28 p.

Arias, K., C. Ruiz-Silvera, M. Milla, H. Messa

y A. Escobar. 2006. Almacenamiento de carbono por *Gliricidia sepium* en sistemas agroforestales de Yaracuy, Venezuela. In: *Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales: Memorias de una conferencia electrónica realizada entre setiembre y diciembre del 2001 / Muhammad I., J. Mora y M. Rosales. – Turrialba, C.R.: CATIE, 2006. Disco compacto – (Serie técnica. Reuniones técnicas / CATIE; N°. 11)*

Baldizan A., C. Dominguez, D. García, E. Chacón y L. Aguilar. 2006. Metabolitos secundarios y patrón de selección de dietas en el bosque deciduo tropical de los llanos centrales venezolanos. *Zoot. Trop.*, 24(3):213-232

Baldizán, A., E. Chacón y G. Virgüez. 2003. Silvopastoreo de caprinos y bovinos. In: *Simposio Nutrición y alimentación del rumiante*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Maracay, Venezuela (CD ROM).

Biogroweb. 2018. Definición y ventajas de los abonos verdes. <https://biogroweb.com/agricultura-ecologica/definicion-y-ventajas-de-los-abonos-verdes/> (Consultado el 03/04/2020)

Bolívar, G., J. González y R. Montenegro. 1990. Efecto del período de descanso y dosis de nitrógeno sobre la producción de praderas de pasto faraguá (*Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapfs). I. Producción de la pradera. *Revista Ciencia Agropecuaria* (6):15-38.

Botero, R. y R. Russo. 1999. Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. In: *Sánchez, M. y M. Rosales (Eds.). Agroforestería para*

- la producción animal en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Estudio FAO Producción y Sanidad Animal N° 143, Roma, pp. 121-143.
- Botero, R. y R. Russo. 1997. Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en suelos tropicales. *In*: Tejos, R., C. Zambrano, M. Camargo, L. Mancilla y W. García (Eds.). III Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal. UNELLEZ, Barinas, pp. 49-63.
- Briske D. 1991. Developmental morphology and physiology of grasses. *In*: Heitschmidt R K, Stuth J W. (eds.) *Grazing Management: An Ecological Perspective*. Portland, Or: Timber Press, 85-108.
- Bueno, L. y J. Camargo. 2015. Nitrógeno edáfico y nodulación de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit en sistemas silvopastoriles. *Acta Agronómica*, 64(4):349-354.
- Camacaro, S., J. Garrido y W. Machado. 2004. Fijación de nitrógeno por *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* y *Albizia lebeck* y su transferencia a las gramíneas asociadas. *Zoot. Trop.*, 22(1):49-69.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). 2013. *Sistemas agropastoriles: Un enfoque integrado para el manejo sostenible de Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia*. Editado por Amézquita, E., I. Rao, M. Rivera, I. Corrales y J. Bernal. Cali, Colombia, 288 p. -- (Documento de Trabajo CIAT No. 223).
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1978. *Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos*. Tergas L. y Sánchez P. (Eds.). Serie 03SG-5. Cali, Colombia, 524 p.
- Centro Genético en Las Mercedes del Llano, Estado Guárico, Venezuela. Boletín IPAF en Línea, Año 8, N° 170, Abril. <https://drive.google.com/file/d/1c0VChRBmO9zCQowxO8BQ9LnH1Z99ztag/view> (Consultado el 17/03/2020).
- Espinoza F. 2013. Control y manejo integral de plagas que atacan el follaje de los pastos en Venezuela. *In*: Manejo de Pastos y Forrajes Tropicales. Cuadernos científicos Girarz 13. Perozo B. (Ed.) Fundación Girarz. Ediciones Astro Data S.A., Maracaibo, Venezuela, pp. 135-142.
- Espinoza F. 2009. Intoxicación por glucósido cianogénico en bovinos en el estado Cojedes, Venezuela. Estudio de caso. Informe no publicado, 14 p.
- Espinoza F., Hernández R. y Folache L. 2008. Etología de vaquillas doble propósito en un sistema silvopastoril durante el período seco en una sabana tropical. *Zoot. Trop.*, 26(4):429-438.
- Espinoza, F., Y. Díaz, J. Gil, C. Araque, A. Torres y J. Palma. 2005. Efecto de la fertilización sobre la oferta de forraje, utilización y ganancia de peso en sabanas. *Rev. BIOTAM Nueva Serie, Edición especial*, 457-459.
- Espinoza, F., A. Torres y E. Chacón. 2004. *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) y *Cují* (*Acacia macracantha* y *Mimosa tenuiflora*) como aporte de proteína económica en los sistemas doble propósito. *In*: Espinoza F. y C. Dominguez (Eds.) I Simposio Tecnologías apropiadas para la ganadería de los llanos de Venezuela. Cap. I. Recursos Agroalimentarios, pp. 47-70.
- Espinoza, F. e Y. Díaz. 2004. Agroforestería: Perspectivas en el trópico americano. Caso Venezuela. *In*: II Simposio Nutrición y Alimentación del Rumiante. Maracay, estado Aragua, 29 de julio, pp. 1-20 (CD ROM).
- Venezuela. *In*: R. Romero, J. Arango y J. Salomón (Eds.). XVIII Cursillo sobre Bovinos de Carne. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias Veterinarias, Maracay, Venezuela. pp 139-168.
- Díaz, Y., F. Espinoza y J. Gil. 2004. Efecto de la fertilización con fósforo en la relación suelo-planta-animal en suelos ácidos del estado Cojedes, Venezuela. *Zoot. Trop.* 22(4):289-297.
- EcuRed. 2011. Abono verde. https://www.ecured.cu/Abono_verde. (Consultado el 28/02/2020)
- Espinosa, J. 2003. Manual de nutrición y fertilización de pastos. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Quito, Ecuador. 100 p.
- Espinoza, F. 2019. Consideraciones finales del estudio en finca "Rincón Largo", Cultivos Planeta Verde. Horconcitos. Informe para el Sistema Integrado de Apoyo al Productor (SIAP), Panamá, 13 p. (No publicado).
- Espinoza, F. y V. Sevilla. 2019. Estudio de clima, vegetación y potencialidad de producción de Agropecuaria J & M en El Callao, estado Bolívar, Venezuela. Informe para el Sistema Integrado de Apoyo al Productor (SIAP), Panamá, 22 p. (No publicado).
- Espinoza, F., V. Sevilla y D. Machado. 2018. Composición botánica y manejo de fertilización de las Unidades de Producción "Los Samanes", "La California" y "La Coromoto". La Fría, estados Táchira y Zulia. Informe presentado al Sistema Integrado de Apoyo al Productor (SIAP). Venezuela, 35 p. (No publicado).
- Espinoza, F., D. Machado, V. Sevilla, G. Machado y P. Vialdechi. 2017. Utilización del sistema dron-cámara para optimizar los recursos agroalimentarios de un
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1975. El potencial para la producción de ganado de carne en América Tropical. Serie CS-10, Cali, Colombia. 307 p.
- Comerma, J., E. Casanova y V. Sevilla. 2005. Experiencias y perspectivas del uso de fertilizantes en pastizales en Venezuela. *In*: Romero R. y R. Salomón, (Comps.). XX Cursillo sobre Bovinos de Carne, UCV, Maracay, Venezuela, pp. 135-155.
- Criado, M. 2016. Una pequeña edad de hielo pudo cambiar la historia de la antigüedad. Artículo citado por el diario El País. Sección Historias. https://elpais.com/2016/02/08/ciencia/1454942821_371470.html (Consultado el 16/12/2019).
- Chacón, E., A. Querales y H. Marchena. 2009. Tecnologías alimentarias apropiadas para la producción con rumiantes en Venezuela. *In*: III Simposio sobre Recursos y Tecnologías alimentarias apropiadas para la producción bovina a pastoreo. San Cristóbal, estado Táchira, pp. 1-35 (CD ROM).
- Chacón, E., Virgüez, G., Espinoza, F., Baldizán, A. y Marchena, H. 2008. Tecnologías sostenibles para la ganadería en sistemas agrosilvopastoriles. *In*: V Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible, Maracay, estado Aragua, 43 p. (CD ROM).
- Chacón, E., H. Marchena, R. Carvajal, G. Virgüez y F. Espinoza. 2007. Programa de desempeño tecnológico en Recursos Agroalimentarios. *In*: Taller de Inducción sobre manejo de Pastos y otros Recursos Alimentarios para la Producción de Leche y carne con Bovinos a Pastoreo. Lácteo los Andes, 13 y 14 de noviembre. (CD ROM).
- Chicco, C. y S. Godoy. 2002. Nutrición mineral de los bovinos de carne en

Espinoza, F., Y. Díaz, E. Perdomo y L. León. 2002. Utilización del banco de energía como estrategia de manejo en sabanas del estado Cojedes. II. Producción de materia seca y valor nutritivo. *Zoot. Trop.*, 20(3):357-372.

Espinoza, F. y P. Argenti. 1997. Estrategias de fertilización en pasturas. *FONAIAP Divulga*, 55 (enero-marzo): 19-20.

Espinoza, F. y P. Argenti. 1995. Interrelación fertilización: carga animal. Maracay, Ven., Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 38 p. (Serie B N° 23).

Espinoza, F. y P. Argenti. 1990. Estrella africana. *Cynodon plectostachyus*. Maracay, Ven., Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 35 p. (Serie B N° 12).

Farrell, J. y M. Altierí. 2014. Sistemas agroforestales. En: *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Cap. 12. Sistemas alternativos de producción, pp. 229-243. https://socla.co/wp-content/uploads/2014/sistemasagroforestales_m.a._altieri.pdf (Consultado el 15/02/2020).

García-Bojalil C. 1994. Interrelación suelo-planta-animal. IV Curso: Producción e Investigación en Pastos Tropicales, LUZ, Maracaibo, pp. 70-88.

García, F. 2008. Dinámica de nutrientes en el sistema suelo-planta. Jornada de Actualización Minga Guazú, Paraguay, 11 de septiembre de 2008. International Plant Nutrition Institute. <http://lacs.ipni.net/ipniweb> (Consultado el 17/03/2020)

García, F., F. Micucci, G. Rubio, M. Ruffo e I. Daverede. 2002. Fertilización de forrajes en la región pampeana. Una revisión de los avances en el manejo de la fertilización

de pasturas, pastizales y verdes. Ed. Instituto de Potasa y el Fósforo (INPOFOS), Argentina, 72 pp.

Garza, G. 2014. Caracterización de la Pequeña Edad de Hielo en el México central a través de fuentes documentales. *Investigaciones Geográficas. Boletín* 85: 82-94.

Gonzalez, K. 2019. Importancia de fertilizar. Pastos y Forrajes. *Zootecnia y Veterinaria es mi pasión*. https://zoovetespasion.com/pastos-y-forrajes/importancia-de-fertilizar/?_mrMailingList=116&_mrSubscriber=15912 (Consultado el 30/01/2020).

Geoinnova. 2020. La bioeconomía como base de un desarrollo sostenible. <https://geoinnova.org/blog-territorio/la-bioeconomia-como-base-de-un-desarrollo-sostenible/> (Consultado el 16/03/2020)

Guevara, E. y F. Espinoza. 2006. Nuevos materiales forrajeros para la producción de leche y carne en las sabanas de Venezuela. *In: Taller de Inducción sobre manejo de Pastos y otros Recursos Alimentarios para la Producción de Leche y carne con Bovinos a Pastoreo*. Lácteos los Andes, 13 y 14 de noviembre. (CD ROM).

Ibañez, K. 2014. Agricultura inteligente y agricultura de precisión (Smart agriculture). <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2014/06/27/144648>. (Consultado el 30/07/2019).

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2013. Biofertilizante para sistemas silvopastoriles de la Región Caribe Colombiana. *In: Experiencias exitosas en bioeconomía/IICA*, Montevideo, 84 p.

Instituto Nacional Tecnológico (INATEC). 2016. Manual del protagonista. *Nutrición Animal*. 140 pp.

Kanninen, M. 2006. Sistemas silvopastoriles y almacenamiento de carbono: Potencial para América Latina. *In: Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales: memorias de una conferencia electrónica realizada entre setiembre y diciembre del 2001* / Muhammad I., J. Mora y M. Rosales. Turrialba, C.R.: CATIE, 2006. 1 disco compacto – (Serie técnica. Reuniones técnicas / CATIE; N° 11).

Lalljee, B., S. Facknath y A. Osman. 1998. Improvement of soil properties under long-term *Leucaena leucocephala*. *In: Shelton, H., R. Gutteridge, B. Mullen y R. Bray (Eds.). Leucaena – Adaptation, quality and farming systems. Aciar Proceedings* N° 86, Hanoi, Vietnam, pp. 178-180.

Machado, D. 2018. Monitoreo aéreo con drones, una alternativa para maximizar la producción agrícola. SIAP, Academia Nacional de la Ingeniería y el hábitat. [http://www.acading.org.ve/info/comunicacion/pubdocs/material_CR_tecnicas/agricultura/\(2018-08-01\)_MACHADO_Drones.pdf](http://www.acading.org.ve/info/comunicacion/pubdocs/material_CR_tecnicas/agricultura/(2018-08-01)_MACHADO_Drones.pdf). (Consultado el 31/7/2019).

Mapping Gis. 2015. NDVI: Que es y cómo calcularlo con SAGA desde QGIS. <https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/>, s/p. (Consultado el 10/12/2019).

McDowell, L. R., J. Velásquez-Pereira y G. Valle. 1997. Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. *Boletín*. 3ra edición. Departamento de Zootecnia, Centro de Agricultura Tropical, Universidad de Florida, Gainesville, USA. 84 p.

Martínez, F. 2019. Pastoreo rotacional Voisin. <https://infopastosyforrajes.com/sistemas-de-pastoreo/pastoreo-rotacional-voisin/> (Consultado el 17/03/2020).

Martínez, F. 2019. Pastoreo ultra alta densidad. <https://infopastosyforrajes.com/sistemas-de-pastoreo/pastoreo-ultra-alta-densidad/> (Consultado el 17/03/2020)

Mejía, H., K. Aparicio, R. Rubi y C. Ramírez. 2018. Efecto de la fertilización sobre el pasto *Brachiaria híbrido* cv CIAT BR02/1794 como medida de mitigación ante el cambio climático. *Rev. iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(7): 816-823.

Navajas, V. 2011. Efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa y la absorción de nutrientes en *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido* Mulato. Tesis de grado de Maestría de la Universidad Nacional de Colombia. Fac. Agronomía. Escuela de Posgrado, Bogotá. 57 p.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Organismo internacional de Energía Atómica (OIEA). 2007. Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. Zapata, F. y R. Roy (Editores Técnicos). *Boletín FAO Fertilizantes y Nutrición Vegetal* 13. Roma, 94 p.

Palacios E. 2011. Introducción del Pasto Mulato II (*Brachiaria Híbrido* Ciat 36087) a la Región San Martín. <http://www.perulactea.com/2011/08/12/introduccion-del-pasto-mulato-ii-brachiaria-hibrido-ciat-36087-a-la-region-san-martin/> (Consultado el 03/05/2020).

Pezo, D. 2018. Uso eficiente de fertilizantes en pasturas. CATIE, 1ra ed., Turrialba, Costa Rica, 56 p. (Serie técnica *Boletín técnico/CATIE*; n° 98).

Pezo, D. 1994. Interacciones suelo-planta-animal en sistemas de producción animal basados en el uso de pasturas: Algunas experiencias en el trópico húmedo. IV Curso: Producción e Investigación en

Pastos Tropicales, LUZ, Maracaibo, pp. 113-140.

Pezo, D., F. Holmann y J. Arze. 1991. Evaluación bioeconómica de un sistema de producción de leche basado en el uso intensivo de gramíneas fertilizadas, en el trópico húmedo de costa rica. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_CIAT/tropileche/pezo_et_al.pdf (Consultado el 17/03/2020).

Pinheiro, L. 2015. Pastoreo racional Voissin. Agricultura regenerativa. <https://www.agriculturaregenerativa.es/pastoreo-racional-voisin-prv/> (Consultado el 17/03/2020).

Rao, I., G. Rippstein, G. Escobar y J. Ricaurte. 2001. Producción de biomasa vegetal epígea e hipógea en las sabanas nativas. *In*: Rippstein, G., G. Escobar y F. Motta (Eds.). Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los llanos orientales de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, pp. 198-222. ISBN 958-694-033-0

Rincón, A., H. Florez, H. Ballesteros y L. León. 2018. Efectos de la fertilización en la productividad de una pastura de *Brachiaria humidicola* cv. Llanero en el Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Tropical Grasslands-Forrajés Tropicales*, 6(1):158-168.

Rodríguez T. y L. Navarro. 2000. Aspectos nutricionales a considerar en el manejo de algunas gramíneas forrajeras en los llanos orientales de Venezuela. *In*: FONAIAP (Ed). Establecimiento, manejo y recuperación de pasturas en sabanas bien drenadas. Maracay, Ven., Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Anzoátegui, pp. 58-67 (Publicación especial, N° 38).

Ruiz, E. y D. Molina. (2014) Beneficios asociados al uso de coberturas leguminosas en palma de aceite y otros cultivos

permanentes: una revisión de literatura. *Palmas*, 35(1), 53-64.

Sánchez, M. 1999. Sistemas agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en Latinoamérica tropical. *In*: Sánchez, M. y M. Rosales (Eds.). Agroforestería para la producción animal en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Estudio FAO Producción y Sanidad Animal N° 143, Roma, pp. 1-12.

Sánchez, B. y J. Isidoro. 1993. Respuesta bioeconómica de diferentes niveles de gallinaza y estiércol bovino como abonos orgánicos en el rendimiento del cultivo de maíz 3098 pioneer (*Zea mays*). Bachelor thesis, Universidad de El Salvador. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/17444/> (Consultado el 16/03/2020).

Salas R. y G. Cabalceta. s/f. Manejo del sistema suelo-pasto: Partida para la producción de forraje. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. http://www.proleche.com/recursos/documentos/Manejo_del_sistema_suelo-pasto_Dr_Rafael_Salas_y_M_Sc_Gilberto_Cabelceta.pdf (Consultado el 03/02/2020).

Salazar F. s/f. Manejo y utilización de purines de lecherías. https://www.consorcirolechero.cl/chile/docs/manejo-purines-seminario-conso_rcio-lechero.pdf (Consultado el 04/02/2020)

Salinas J. s/f. Requerimientos nutricionales de pastos tropicales. Guía del programa de Pastos Tropicales del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, 118 p.

Stobbs T. 1976. Milk production per cow and per hectare from tropical pastures. *In*: Seminario Internacional de Ganadería Tropical. Producción de Forrajés. Acapulco, México, pp. 129-146.

Superintendencia de Servicios Sanitarios, FEDELECHE. 2006. Guía de recomendaciones manejo de Purines de Lechería. https://www.odepa.gob.cl/odepaweb/servicios-informacion/Lacteos/Guia_de_recomendaciones_manejo_de_purines.pdf (Consultado el 04/02/2020).

Tejos, R. 2014. Alternativa de manejo de pastos nativos e introducidos en sabanas inundables de Venezuela. *In*: Logros y desafíos de la ganadería doble propósito, pp. 264-273.

Temple, J. 2019. La agricultura y ganadería ecológicas son peores para el cambio climático. MIT Technology Review. <https://www.technologyreview.es/s/11567/la-agricultura-y-ganaderia-ecologicas-son-peores-para-el-cambio-climatico>. (Consultado el 03/02/2020).

Toll Vera, J., G. Martín, M. Fernández, M. Nicosia y J. Cisint. 2011. Determinación de potencial tetanigénico en pasturas cultivadas subtropicales, sobre suelos salinos y no salinos. Avances en la producción vegetal y animal del NOA, 2009-2011. Capítulo Sanidad Animal, pp.402-407.

Valle A. 2008. Bioclimatología tropical. Vacuno. Maracay, Venezuela, 509 p. ISBN 978-980-12-2640-6.

Williamson G. and Payne, W. 1975. La ganadería en regiones tropicales. Editorial Blume, Primera Edición, México, 468 p.



Conocer los requerimientos nutricionales de las plantas forrajeras y las ventajas de su fertilización, requieren en primera instancia determinar cuáles son los factores que influyen e interactúan entre ellos para mantener el equilibrio del ecosistema. Los pastos son altamente demandantes en nutrientes del suelo, y de no aplicarse correctivos, los mismos no expresarán su potencial, más aún, cuando se ejerce una alta presión de pastoreo. La fertilización en sí es costosa, pero en este libro se plantean diversas alternativas que pueden ser abordadas por productores y técnicos.