Corpoica
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
www.corpoica.org.co

DIAGNÓSTICO DE FERTILIDAD DE SUELOS Y DE DISPONIBILIDAD Y CALIDAD DE FORRAJES DEL MUNICIPIO DE MONTERREY, DEPARTAMENTO DE CASANARE

Diagnóstico de fertilidad de suelos y de disponibilidad y calidad de forrajes del municipio de Monterrey, departamento de Casanare

Pedraza Rafael[1] ; Pichimata Maria Angélica[2]

[1]Lider de Laboratorio Corpoica Centro de Investigación Tibaitatá - rpedraza@corpoica.org.co - Mosquera, Cundinamarca.
[2]Coordinador Nacional de Laboratorios de Servicios Corpoica Centro de Investigación Tibaitatá - mapichimata@corpoica.org.co - Mosquera, Cundinamarca.

Monterrey, Casanare. Colombia

Pedraza, Rafael y Pichimata, Maria Angélica / Diagnóstico de fertilidad de suelos y de disponibilidad y calidad de forrajes del Municipio de Monterrey, departamento de Casanare. Casanare (Colombia): CORPOICA, 2013. 31 p.

Palabras Clave:

PLANTAS FORRAJERAS, FERTILIDAD DEL SUELO, MUESTREO DEL SUELO, PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS SUELO, TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, ALIMENTACION DE LOS ANIMALES. CASANARE-COLOMBIA

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
Línea de atención al cliente: 018000121515
atencionalcliente@corpoica.org.co
www.corpoica.org.co

ISBN: 978-958-740-175-2
CA:
CUI:
Primera edición: Diciembre de 2013
Tiraje: 1.000
Diseño / Diagramación: Jorge E. Guzmán Mira

Impreso en Colombia
Printed in Colombia

CONTENIDO

Alcance del convenio **4**

Introducción **5**

1. Importancia de los análisis de laboratorio en la producción agropecuaria **5**

2. Importancia del muestreo en campo y la forma adecuada de tomar las muestras **6**

2.1. Toma de una muestra de suelos disturbada para análisis de fertilidad química de suelos 7

2.2. Toma de una muestra de suelos no disturbada para el análisis físico de suelos 10

2.3. Toma de muestra de forraje para el análisis de calidad y de disponibilidad 12

3. Métodos analíticos de laboratorio para suelos y forrajes **14**

3.1. Métodos de análisis químico de suelo 14

3.2. Métodos de análisis físico de suelo 15

3.3. Métodos de análisis bromatológico de forrajes 15

4. Fertilidad de los suelos del municipio de Monterrey **16**

5. Propiedades físicas de los suelos del municipio de Monterrey **20**

6. Calidad y disponibilidad de forrajes del municipio de Monterrey **25**

6.1. Composición bromatológica 25

6.2. Composición de elementos minerales 26

6.3. Capacidad de carga de los predios 28

7. Mapas temáticos de la fertilidad de los suelos y de la calidad de los forrajes del municipio de Monterrey **29**

Bibliografía **31**

Alcance del convenio

A finales de diciembre de 2013 se realizó un convenio de cooperación entre la Alcaldía de Monterrey y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, con el objetivo de aunar esfuerzos para realizar la caracterización edáfica (propiedades físicas y químicas del suelo) y bromatológica (disponibilidad y calidad de forrajes) a nivel rural, como instrumento de apoyo a los procesos de planificación de los pequeños y medianos productores del municipio de Monterrey, departamento de Casanare.

Inicialmente se tuvo un tiempo estipulado de seis meses para el desarrollo del convenio, pero por motivos climáticos que no permitieron tomar en el tiempo programado las muestras en campo, se prorrogó hasta el 31 de noviembre de 2013.

El alcance del convenio comprendió el desarrollo de la caracterización edáfica y bromatológica a nivel rural, de conformidad con los siguientes componentes:

I. Componente preliminar

Taller de capacitación inicial de cuatro horas, dirigido a productores y a personal técnico, sobre la importancia de los análisis de suelos y bromatológicos, de las metodologías de laboratorios, de la toma de muestras en campo y de los resultados esperados.

II. Componente de campo

Consistió en la colecta de muestras por parte de los técnicos capacitados, acompañados por los productores, y el envío de estas al laboratorio.

III. Componente de análisis y sistematización de la información

a. Procesamiento de 220 muestras de suelo para los análisis químico y físico.
b. Procesar 132 muestras de forrajes para el análisis bromatológico completo (análisis proximal más análisis de la pared celular).
c. Procesar 88 muestras de forrajes para el análisis bromatológico básico (análisis proximal).
d. Espacialización de los resultados en un mapa temático de suelos y un mapa temático de la calidad de forrajes.

IV. Componente de socialización de resultados

a. Taller de divulgación de resultados con una intensidad de cuatro horas.
b. Cartilla de divulgación de los resultados del proyecto.

Introducción

En la producción agrícola, una de las preguntas que más urge contestar es: ¿qué hacer para tener una alta productividad? Es decir, mantener una alta producción por área; de esta pregunta se desprenden aspectos agronómicos de importancia, tales como el efecto de plagas, enfermedades, clima, riego y nutrición sobre la productividad y la calidad del cultivo.

En esta cartilla se habla del efecto de la nutrición sobre la productividad y la calidad del cultivo, calidad enfocada a las pasturas para la alimentación ganadera. Cuando se trata el tema de la nutrición es necesario conocer qué elementos nutrientes son importantes para la producción y calidad del cultivo, y si se le deben aplicar nutrientes y en qué cantidad. Y en el caso de las pasturas surge la siguiente pregunta: ¿el pasto que se tiene establecido en la finca es capaz de aportar los nutrientes para que el animal crezca y se desarrolle bien?

Para responder a estas preguntas se han establecido herramientas que permiten conocer esos aspectos. El análisis del suelo permite conocer si el suelo es capaz de aportar nutrientes al cultivo y cuáles nutrientes. El análisis elemental de nutrientes es una herramienta que permite establecer qué nutrientes requiere el cultivo, el balance de lo que tiene el suelo, lo que requiere el cultivo y la respuesta a la aplicación de nutrientes, lo que permite predecir la cantidad de nutrientes a aportar al cultivo.

Por su parte, el análisis de calidad y disponibilidad de forrajes indica si el forraje que se tiene establecido en la finca es suficiente o insuficiente para que el animal se nutra adecuadamente.

A continuación se muestra: 1. la importancia de la realización de los análisis de suelos y bromatológicos, 2. cómo se toma adecuadamente una muestra representativa de suelos o forrajes, y 3. la interpretación de los resultados obtenidos y el manejo general para el mejoramiento de la productividad del cultivo de pastos u otros.

1. Importancia de los análisis de laboratorio en la producción agropecuaria

En la producción agrícola de los pequeños e incluso de los medianos productores se realizan el manejo de insectos, de enfermedades y de la nutrición, basados en conocimientos empíricos que no obstante son de gran importancia para la producción agrícola, pero muchas veces no son suficientes para alcanzar producciones rentables. Los agricultores y ganaderos, muchas veces al consultar por el costo de los análisis, aquejan el alto costo, sin llegar a proyectar el beneficio que se puede obtener al corto, al mediano y al largo plazo.

Si bien un historial de análisis de suelos y forrajes, y un historial de registros (de la producción, del manejo y de la presencia de insectos plaga, enfermedades y condiciones climáticas) son la herramienta más robusta para planear el manejo en la producción agrícola, un análisis de suelos o forrajes es la partida para comenzar a tecnificar la producción.

Un análisis de la fertilidad química o física de suelos bien realizado desde la toma en campo, el análisis de laboratorio y su interpretación, permite evaluar químicamente la disponibilidad de nutrientes para el cultivo, las posibles deficiencias o toxicidades o físicamente conocer las propiedades estructurales e hidrodinámicas del suelo y con esto determinar si el fertilizante a aplicar puede o no tener respuesta en el cultivo o definir necesidades de riego o momentos adecuados para realizar la labranza. Permite, además, identificar problemas por compactación o daño estructural. Al diagnosticar como está el suelo química o físicamente, se puede proyectar el manejo para mejorar la producción o disminuir costos en los fertilizantes, entre otros beneficios.

Muchas veces se aplican altas cantidades de un nutriente sin conocer si en el suelo los niveles son altos o bajos, o se aplican fertilizantes en suelos compactos en los que se le dificulta a la planta la absorción y en los que, principalmente, debería enfocarse en la descompactación del suelo para permitir un desarrollo óptimo de raíces y lograr una adecuada absorción de los nutrientes por parte del cultivo.

El análisis de calidad de forrajes identifica el aporte de nutrientes por parte del forraje y la exigencia de suplementar, si es necesario, con sales, ensilajes u otros materiales para este propósito. La concentración de nutrientes y en sí la calidad del forraje es un reflejo del estado de la fertilidad del suelo y de sus características físicas y biológicas, con un efecto marcado por las condiciones climáticas imperantes. Esto significa que aunque en el suelo exista un elemento en una condición óptima, en el forraje puede que no sea así por el efecto del clima; un ejemplo clásico es la absorción del calcio por los cultivos, que en condiciones de alta humedad relativa o baja temperatura (días fríos) disminuye, llegando a presentar síntomas de deficiencia en los frutos de los cultivos.

2. Importancia del muestreo en campo y la forma adecuada de tomar las muestras

Uno de los aspectos más importantes al evaluar las propiedades químicas y físicas de un suelo, así como la calidad y disponibilidad de forrajes, es la toma de la muestra en campo, porque al laboratorio se lleva una porción de la muestra en campo que normalmente es un kilogramo de suelo o un kilogramo de forraje que puede representar una hectárea o varias hectáreas; esto implica que un error de muestreo puede multiplicarse en cientos o en miles, por ejemplo, si se toma la muestra con una pala que ha sido usada para mezclar fertilizantes o cemento u otros materiales que pueden contaminar la muestra, por ejemplo, puede aumentar el contenido de calcio en el suelo de 1 a 2 $cmol_{(c)}/kg$, lo que significa un error de 8000 kilogramos en una hectárea de suelo con densidad aparente de $1g/cm^3$ a una profundidad de 20 cm.

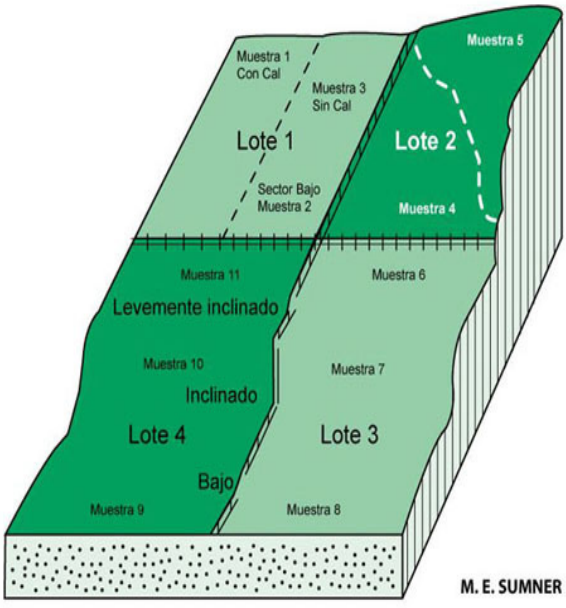
El tomar adecuadamente una muestra en campo permite obtener resultados acordes reales del terreno, y las interpretaciones y recomendaciones que se hagan podrán tener un efecto benéfico en la sostenibilidad de la fertilidad del suelo y en la producción de los cultivos.

A continuación se describe detalladamente cómo se debe tomar una muestra de suelos para análisis de fertilidad química y de algunos parámetros físicos, cómo se debe tomar una muestra no disturbada de suelo para el análisis físico y cómo se toma una muestra adecuada de forraje para el análisis de calidad y de disponibilidad, que representen adecuadamente el terreno evaluado.

2.1. Toma de una muestra de suelos disturbada para análisis de fertilidad química de suelos

Lo primero que debe hacerse en la finca es dividirla en áreas homogéneas, es decir, en las que sus características químicas y físicas no cambien abruptamente; un área homogénea se escoge teniendo en cuenta el cultivo establecido en ese momento, la aplicación de fertilizantes o enmiendas, el color y la textura del suelo y el tipo de relieve (plano, ondulado, pendiente). En la Figura 1 se muestra un ejemplo de homogenización en cuatro áreas de terreno:

Figura 1. Selección de áreas homogéneas en la finca

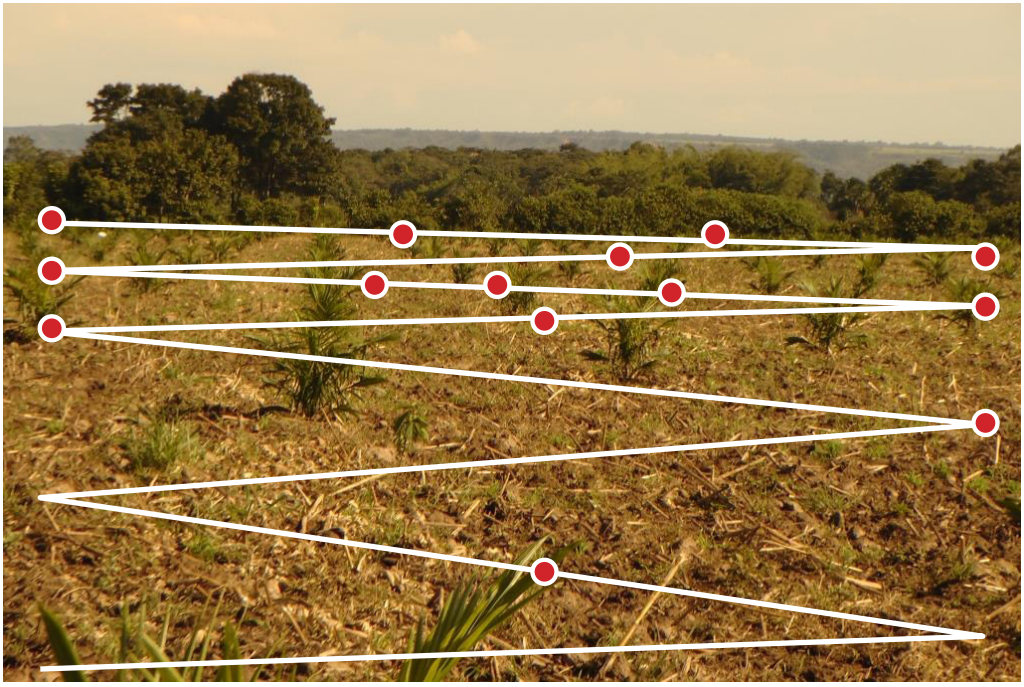


Fuente: Malcom E Sumner. 2001. Diagnóstico de los requerimientos de fertilización en cultivos extensivos. Informaciones Agronómicas N°44 julio 2001. 8-14 p. consultado en: http://www.ipni.net.

Posterior a la selección del área homogénea de terreno se procede a establecer el recorrido del terreno. El establecimiento del recorrido puede ser en zeta, en zigzag, en equis u otro recorrido que represente muy bien el terreno. Se debe tener en cuenta que el recorrido debe realizarse lejos de lagos, cercas, edificaciones, saladeros, ríos, caños, caminos o cualquier sitio diferente a las condiciones del terreno que puedan afectar el análisis y la interpretación de los resultados.

El establecimiento del recorrido es muy importante porque de él depende que la muestra sea representativa del terreno; tal vez en terrenos pequeños, un muestreo en equis sea suficiente para representar el terreno, pero en cambio si se tiene un terreno grande y largo, tal vez sea mejor utilizar un recorrido en zigzag. La Figura 2 muestra el recorrido en zigzag, que presenta los puntos en los que se debe tomar la muestra:

Figura 2. El recorrido en zigzag muestra los puntos en los que se debe tomar la muestra



Fuente: Alcaldía de Monterrey Departamento de Casanare, 2013.

Otro aspecto fundamental a tener en cuenta es el tipo de cultivo, si es herbáceo o leñoso, porque de esto depende la profundidad a la cual se debe tomar la muestra. En suelos donde se va establecer un cultivo de pastos, la profundidad de muestreo debería ser de 15 cm, aproximadamente; si es de hortalizas y otros cultivos anuales, la profundidad puede estar entre los 20 a 25 cm, mientras que para cultivos leñosos como frutales y maderables la profundidad debe ser mayor a 30 cm, dependiendo de

la especie; la profundidad escogida depende también de dónde se ubica el mayor volumen de raicillas absorbentes, que generalmente se encuentra en los primeros centímetros del suelo.

Luego de haber seleccionado el área homogénea de terreno, el recorrido y la profundidad, se procede a tomar la muestra compuesta de suelo, que significa que la muestra que se envía al laboratorio está conformada por varias submuestras tomadas en campo. Normalmente, lo recomendable es tomar de 10 a 15 submuestras por hectárea. A continuación se muestra cómo se debe tomar la muestra con pala:

Lo primero que se debe hacer es limpiar el terreno, quitando la capa vegetal con un azadón o una pala limpia para evitar que se contamine la muestra de suelo. Lo segundo es hacer un hoyo en el suelo, de acuerdo con la profundidad escogida. Tercero, de la pared del hoyo se debe tomar la muestra con la pala. Cuarto, a la muestra tomada se le eliminan los bordes para evitar contaminación en la muestra. Quinto, la muestra se coloca en un recipiente limpio (balde) (Figura 3). Sexto, se mezclan todas las muestras.

Figura 3. Toma de muestra de suelo con pala

Fuente. Laboratorio de servicios. CORPOICA TIBAITATA, 2013

Para el muestreo con barreno holandés (Figura 4) no es necesario limpiar el terreno, lo que permite realizar la labor más eficientemente, Normalmente, se toma el barreno, se entierra hasta 5 cm en la superficie con el objetivo de retirar la capa vegetal, posteriormente, se vuelve a enterrar el barreno hasta la profundidad deseada, se saca el barreno y la muestra se deposita en el balde limpio.

Figura 4. Toma de muestra de suelo con barreno holandés

Fuente. Laboratorio de servicios. CORPOICA TIBAITATA, 2013

Las submuestras colocadas en el balde se mezclan hasta que resulten homogéneas y de allí se toma aproximadamente un kilo de muestra, que se deposita preferiblemente en doble bolsa (entre bolsa y bolsa se anota la identificación: nombre de la finca, nombre del propietario, dirección, teléfono, cultivo a establecer, problemas del lote, etc.) y se lleva al laboratorio.

2.2. Toma de una muestra de suelos no disturbada para el análisis físico de suelos

Para determinar algunos de los parámetros físicos del suelo se requiere que la muestra sea tomada sin disturbar, es decir, que se mantenga el suelo tal cual como está en el terreno. La densidad es un parámetro que determina el peso del suelo con sus espacios porosos (macro, meso y microporos), en un volumen determinado; si se toma una muestra disturbada de suelo se afecta el volumen de los poros que se encuentra en el suelo, por lo tanto, se hace difícil determinar la densidad aparente.

Normalmente, una muestra no disturbada se toma en un anillo de volumen conocido y su colecta en campo debe ser cuidadosa; cualquier afectación sobre el volumen, como por ejemplo, compactar la muestra, afectará las determinaciones de laboratorio. Como es una muestra no disturbada de suelo no se puede hacer un muestreo compuesto, como en el numeral 2.1, por esto es muy importante seleccionar dentro del lote a muestrear, el sector más homogéneo y representativo.

Después de seleccionar el sitio dentro del terreno en el que se va a tomar la muestra, el área se limpia para eliminar la capa vegetal; se debe asegurar que al limpiar el terreno, el suelo queda totalmente horizontal para permitir una adecuada toma de la muestra. Luego se entierra un tubo de PVC (Figura 5) o el barreno ***up-land*** (Figura 6), de acuerdo con la profundidad escogida, como ya se mencionó antes.

Figura 5. Toma de muestra de suelo no disturbada con un tubo de PVC

Fuente. Laboratorio de servicios. CORPOICA TIBAITATA, 2013

En el caso del tubo de PVC, se marca con una flecha o alguna indicación que identifique cuál es la parte superficial y cuál es la más profunda de la muestra, y se lleva al laboratorio. En el caso del barreno ***up-land***, se desarma y se colecta el anillo, se protege con una gasa para que el suelo no se salga del anillo, se guarda en un recipiente que asegure que la muestra se mantenga sin disturbar, se identifica y se lleva a laboratorio.

Figura 6. Toma de muestra de suelo no disturbada con barreno *up-land*

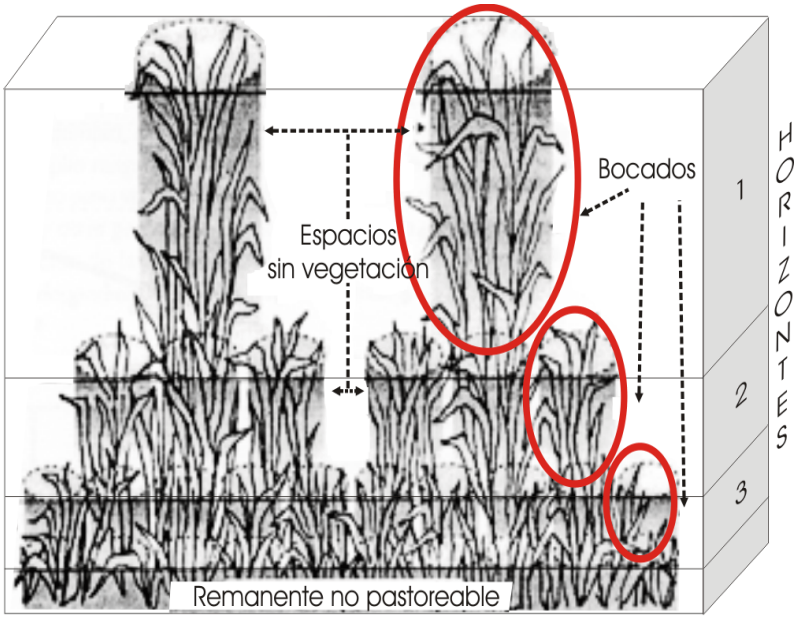
Fuente. Laboratorio de servicios. CORPOICA TIBAITATA, 2013

2.3. Toma de muestra de forraje para el análisis de calidad y de disponibilidad

Normalmente, la muestra de disponibilidad y calidad de forrajes se toman por separado, la primera con un cuadro de muestreo (se puede hacer con tubo de PVC de una pulgada o de madera), generalmente de 0,5m x 0,5m, que es lanzado en el terreno varias veces (mínimo unas 4 o 5), tratando de cubrir todo el terreno (algo similar a lo del establecimiento del recorrido, en el numeral 2.1) y se toma la muestra de todo el cuadro, se pesa en fresco, se toma una porción pesada y se lleva al laboratorio para ser secada a 60 ºC. La muestra de calidad normalmente se toma haciendo un recorrido en zigzag, zeta o equis en el lote, se hace con la mano, simulando lo que puede coger un animal, que come a gusto y generalmente escoge los brotes más tiernos; en una pradera productiva el animal no come a ras del suelo sino que deja un remanente.

Para el caso del municipio de Monterrey se mezclaron las dos técnicas de muestreo para obtener pruebas con una sola selección y determinar la calidad y la disponibilidad del forraje. Se tomó un cuadro de 0,5m x 0,5m, se lanzó varias veces en el terreno aleatoriamente (Figura 6), tratando de representar la biomasa del lote, y en el sitio donde cae el cuadro se toma todo el forraje con la mano (Figura 7), simulando el bocado que puede tomar el animal, pero dejando un remanente, es decir, no se arrancó a ras. Todo el material colectado se pesó en fresco y de allí se tomó cerca de 500 g de peso fresco y se enviaron al laboratorio, donde se determinaron el peso fresco y los parámetros de calidad.

Figura 7. Bocados de pasto que consume el animal por preferencia



Fuente: Pardo, O.

3. Métodos analíticos de laboratorio para suelos y forrajes

3.1. Métodos de análisis químico de suelo

Los métodos de análisis químico de suelo tienen dos fases muy importantes, una es la extracción: esta fase es en la cual el suelo se pone en contacto con una solución diseñada para extraer un nutriente disponible específico; la otra fase es la de cuantificación, en la que se toma el extracto que se obtuvo con la solución y se cuantifica la cantidad del elemento nutriente. La mayoría de los métodos analíticos recibe su nombre por el tipo de solución extractora que se usa o del autor que diseñó la solución extractora. Algo muy importante que se debe tener en cuenta es que cada método tiene su interpretación y no se puede generalizar para otros métodos. Por tal motivo, antes de mirar los niveles de nutrientes en un resultado de análisis, se deben observar cuáles son los métodos utilizados.

Los métodos más utilizados y sus niveles para el análisis químico se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Métodos más comunes y niveles críticos de las determinaciones del análisis químico de suelo

Determinación	Método	Niveles críticos		
		Bajo	Medio	Alto
Materia orgánica clima cálido (%)	Walkey & Black	<2	2 - 3	>3
Fósforo disponible (mg/kg)	Bray II	<20	20 - 40	>40
Azufre disponible (mg/kg)	Fosfato monobásico	<10	10 - 20	>20
Calcio intercambiable ($cmol_{(c)}$/kg)	Acetato de amonio 1N pH 7.0	<3	3 - 6	>6
Magnesio intercambiable ($cmol_{(c)}$/kg)		<1,5	1,5 – 2,5	>2,5
Potasio intercambiable ($cmol_{(c)}$/kg)		<0,2	0,2 – 0,4	>0,4
Capacidad de intercambio catiónico (CIC) ($cmol_{(c)}$/kg)		<10	10-20	>20
Sodio intercambiable ($cmol_{(c)}$/kg)		-	-	>1
Hierro disponible (mg/kg)	Olsen modificado	<25	25-50	>50
Manganeso disponible (mg/kg)		<5,0	5,0-10,0	>10,0
Zinc disponible (mg/kg)		<1,5	1,5-3,0	>3,0
Cobre disponible (mg/kg)		<1,0	1,0-3,0	>3,0
Boro disponible (mg/kg)	Fosfato monobásico	<0,2	0,2-0,4	>0,4
pH	Potenciométrico	-	-	-

3.2. Métodos de análisis físico de suelo

Los parámetros que se incluyen a continuación son aquellos que pueden ayudar a evaluar si un suelo es capaz de aportar nutrientes a los cultivos o ayudar a entender qué problemas pueden dificultar la toma de nutrientes.

Tabla 2. Métodos analíticos de parámetros físicos de suelo

Determinación analítica	Método
Textura (fracción de arena, limo, arcilla)	Bouyoucos
Densidad aparente	Cilindro de volumen conocido
Densidad real	Picnómetro
Retención de humedad a varias tensiones	Ollas de presión
Estabilidad estructural	Yoder

3.3. Métodos de análisis bromatológico de forrajes

Los parámetros que se miden para conocer la calidad de un forraje son aquellos que indican la concentración de nutrientes de la pastura, su digestibilidad para el ganado y si es necesario suplementar los nutrientes para que el ganado esté bien nutrido. A continuación se mencionan los parámetros que usualmente se usan para determinar la calidad de los forrajes:

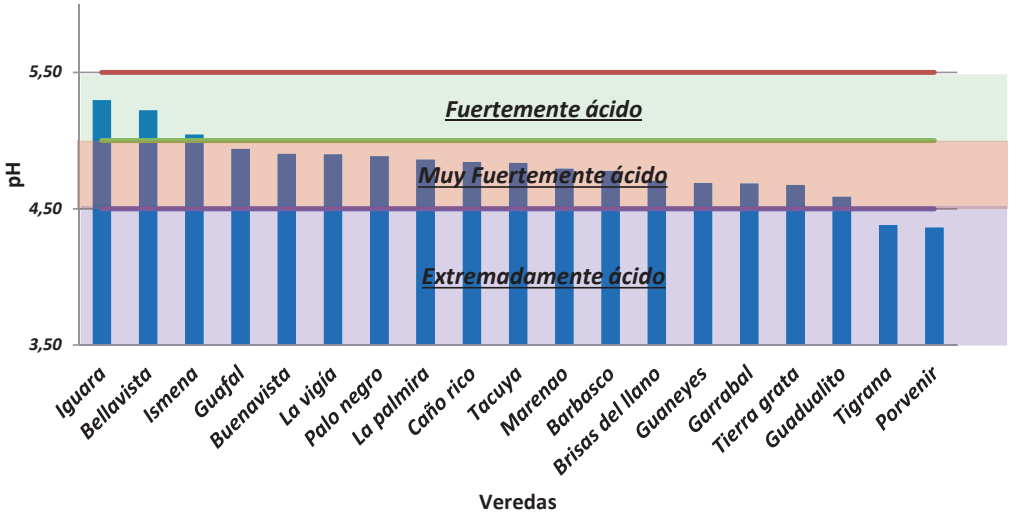
Tabla 3. Métodos analíticos para determinar la calidad de un forraje

Determinación analítica	Método
Cenizas	AOAC 942.05
Proteína cruda	AOAC 960.52; AOAC 2001.11 modificado
Extracto etéreo (grasa)	AOAC 2005.06
Fibra en detergente ácido	AOAC 2002.04
Fibra en detergente neutro	AOAC 973.18
Celulosa	AOAC 973.8
Lignina	AOAC 973.18
Hemicelulosa	AOAC 2002.04; AOAC 973.8
Materia seca	ISO 6496; NTC 4888
Minerales: calcio, magnesio, potasio, hierro, cobre, cobalto, molibdeno.	Digestión ácida (HNO_3:H_2O_2) Cuantificación por espectrometría de emisión por plasma.
Minerales: fósforo, azufre	Digestión ácida (HNO_3:H_2O_2) Cuantificación por espectrofotometría

4. Fertilidad de los suelos del municipio de Monterrey

Al realizar los análisis de laboratorio y la interpretación de los resultados, se obtuvo que los suelos del municipio de Monterrey son ácidos, que van desde fuertemente ácidos en las veredas de Iguara y Bellavista, hasta extremadamente ácidos en las veredas Tigrana y Porvenir, como se mencionó anteriormente, en general con altas saturaciones de aluminio (mayores a 15 %) en la fase de cambio, lo que normalmente puede ocasionar el desplazamiento de las bases de cambio de calcio, magnesio y potasio.

Figura 8. Distribución de los valores promedio de pH en los suelos de las veredas del municipio de Monterrey



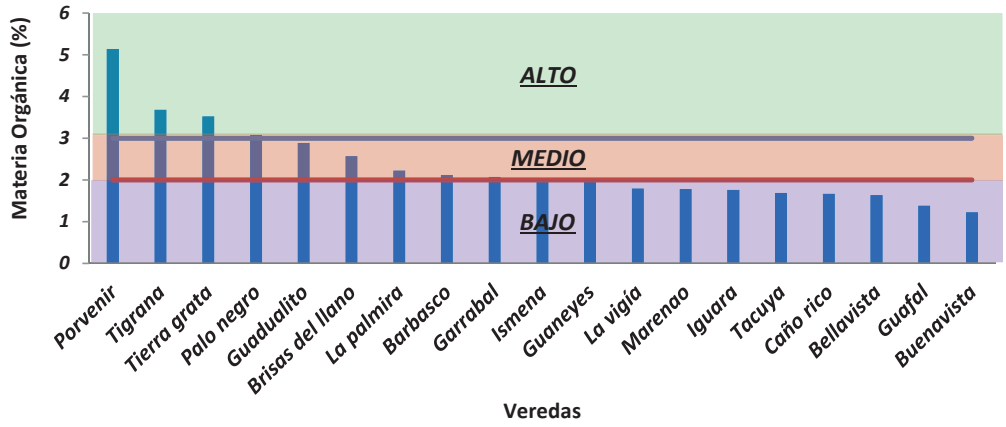
El pH es uno de los parámetros más importantes en la dinámica de los nutrientes, ya que afecta su disponibilidad para las plantas. Los pH ácidos del municipio indican una baja disponibilidad de los nutrientes calcio, magnesio y potasio, por el desplazamiento de estos debido a las altas saturaciones de aluminio; otro nutriente que disminuye su disponibilidad es el fósforo, que se compleja con el aluminio y el hierro formando compuestos de muy baja solubilidad.

Una manera de ir corrigiendo los problemas de acidez es el uso de cales; se debe tener en cuenta que con el uso de enmiendas calcáreas disminuye la acidez, pero el pH del suelo no cambia fácilmente debido al poder ***buffer*** del suelo; el contenido de la materia orgánica aumenta el poder buffer del suelo, como se verá más adelante en las veredas Tierra grata y Porvenir, que tienen de adecuados a altos contenidos de materia orgánica, por lo que es más difícil de cambiar el pH de sus suelos.

En el mercado existen diversas fuentes de cales que pueden ser usadas para corregir acidez y entre las más comunes están: la cal agrícola, la cal dolomita, la cal apagada, el óxido de magnesio y las rocas fosfóricas. Dentro de los planes de enmienda se estudia integralmente el análisis de suelo y de acuerdo con él se sugiere la enmienda más apropiada, por ejemplo, en suelos desaturados con desbalances de calcio, magnesio y/o fósforo se pueden usar mezclas de cal dolomita y roca fosfórica que aportan a futuro, calcio, magnesio y fósforo, además de corregir la acidez.

Para el caso de la materia orgánica (Figura 9), se presentan sitios con moderado a alto porcentaje de materia orgánica; los suelos ubicados en las veredas Porvenir, Tierra grata, Guaneyes y Tigrana presentan porcentajes altos de materia orgánica, mientras que las demás veredas muestreadas presentan moderados niveles de materia orgánica.

Figura 9. **Distribución de los valores de materia orgánica en suelos de las veredas del municipio de Monterrey**



La materia orgánica es, al igual que el pH, uno de los parámetros más importantes en el suelo, pues agrega las partículas del suelo, lo cual ayuda a formar su estructura y genera capacidad de intercambio catiónico en el suelo; se puede observar que las veredas con mayor porcentaje de materia orgánica también tienen el mayor nivel de capacidad de intercambio catiónico.

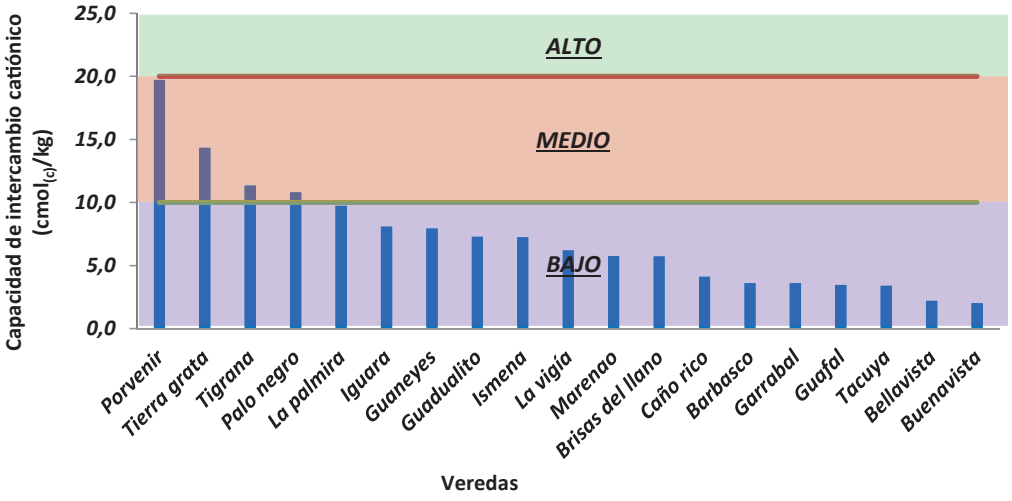
Para muchos cultivos, la materia orgánica es un indicador de la disponibilidad de nitrógeno y se considera que los bajos niveles de materia orgánica implican bajos niveles de nitrógeno en el suelo disponible para las plantas; pero no en todos los casos es así, porque en lugares en los que hay mucha acumulación de materia orgánica (en clima frío o en suelos al bordes de lagos), hay una baja mineralización y una bajo aporte de nutrientes y de nitrógeno para las plantas.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es igual de importante que la materia orgánica y el pH, porque determina la capacidad del suelo para retener débilmente nu-

trientes para las plantas; se puede asemejar a tener un almacén de reservas: si el almacén es pequeño, no podrá almacenar muchos nutrientes, pero si es un almacén grande podrá contener una mayor cantidad de nutrientes. Lo anterior significa que la CIC, igual que la materia orgánica y el pH, expresa la fertilidad de un suelo. Si un suelo tiene una alta CIC, buenos contenidos de materia orgánica y pH ligeramente ácido, entonces se puede decir que el suelo es fértil químicamente.

Como se observa en la Figura 10, la CIC del municipio de Monterrey está entre moderado a bajo; la concentración más alta, como se mencionó antes, coincide con aquellos suelos que presentan porcentajes adecuados a altos de materia orgánica; a excepción de las veredas Porvenir, Tierra grata Guaneyes y Tigrana, las demás veredas en promedio presentan una baja CIC. Lo que revela que lo suelos tengan una baja CIC, como se mencionó antes, es que tienen una baja retención de nutrientes catiónicos; entonces, una estrategia de manejo es fraccionar las fertilizaciones, teniendo en cuenta las condiciones climáticas, para evitar el lavado excesivo de nutrientes. La aplicación repetida de materia orgánica estabilizada (compost) o de ácidos húmicos puede llegar a aumentar la CIC del suelo.

Figura 10. Distribución de los valores de la Capacidad de Intercambio Catiónico en suelos de las veredas del municipio de Monterrey



La materia orgánica, el pH y la CIC indican que los suelos de Monterrey tienen una moderada a baja fertilidad; los suelos fértiles se encuentran en las veredas Porvenir, Guaneyes, Tierra grata e Iguara, aunque Porvenir y Tigrana presentan adecuados contenidos de materia orgánica y moderado CIC, tiene restricción por acidez.

Los demás parámetros medidos son elementos nutrientes como fósforo, azufre, calcio, magnesio, hierro, zinc, cobre y boro. Calcio, magnesio y potasio se encuentran en nive-

les moderados a bajos, debido al pH y a la saturación de aluminio, que los desplaza de la fase intercambiable, permitiendo su lavado del perfil del suelo. Los contenidos de fósforo y azufre, en promedio se encuentran en niveles de moderados a bajos en el suelo. Se encontraron 17 muestras con concentraciones de fósforo por encima de 50 mg/kg (niveles altos, poco usuales en la región), en cultivos establecidos de café, plátano, yuca, naranja, piña y pastos, lo que revela que el nivel del fósforo es debido, posiblemente, a la aplicación de fertilizantes; se podría disminuir su uso, de acuerdo con el nivel encontrado específicamente en cada lote.

En general, en los suelos del municipio de Monterrey es necesario hacer manejos que busquen disminuir la saturación de aluminio y aplicar repetidamente compost. Además de esto y de acuerdo con los análisis de suelo específicos de cada lote, se recomienda aportar calcio, magnesio, potasio, fósforo, azufre, zinc y boro, según la concentración reportada de cada uno en el análisis de suelo.

5. Propiedades físicas de los suelos del municipio de Monterrey

Las propiedades físicas de los suelos son útiles para determinar épocas y frecuencias de riego, condiciones adecuadas de terreno para realizar labranza e indirectamente permiten evaluar si el suelo es capaz de aportar nutrientes y agua a la planta; suelos con problemas de compactación o con problemas estructurales no permiten una adecuada absorción de los nutrientes. La textura, por ejemplo, puede ser una herramienta útil a la hora de decidir las frecuencias de aplicación de nutrientes y riego; por ejemplo, suelos de texturas arenosas son más susceptibles a lavado de nutrientes.

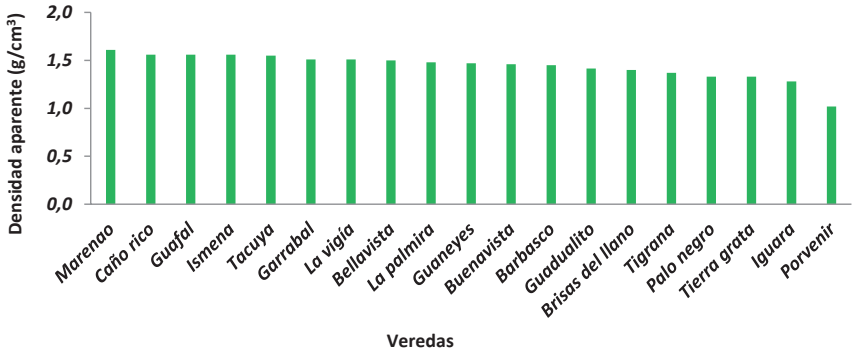
En el municipio de Monterrey, la densidad aparente es alta (mayor a 1g/cm^3); al relacionar esta característica con los porcentajes de materia orgánica se evidencia que suelos con bajos contenidos de materia orgánica tienen, en promedio, densidades más altas. Como se observó anteriormente, la materia orgánica de las veredas Porvenir, Tierra grata, Tigrana y Palo negro es de moderada a alta, y la densidad aparente es más baja, en promedio, que en el resto de veredas (Figura 11). La única excepción es la vereda Iguara, que presenta un bajo porcentaje de materia orgánica, con una densidad aparente de 1,28 g/cm^3.

Se observa que los suelos destinados principalmente a la agricultura como cultivos de tomate, café, etc., presentan mayor contenido de materia orgánica, como es de esperarse, menor densidad aparente, por ende mayor porosidad total y corresponden principalmente a suelos francos. Sin embargo, se observa una tendencia en los suelos destinados a la ganadería y a cultivos permanentes como el de la palma de aceite una degradación de las propiedades físicas, alcanzando densidades aparentes muy altas hasta de 1,9 gr/cm3, bajas porosidades totales hasta del 25% para este mismo suelo; es decir, aparentemente, corresponden a suelos muy compactados. Por lo tanto, es recomendable implementar alternativas de recuperación de las propiedades físicas en estos suelos degradados para mejorar la capacidad de circulación del aire y almacenamiento del agua como por ejemplo la incorporación de materia orgánica y uso de renovadores de praderas en el caso de los pastos, para los cultivos de palma es importante usar implementos que aflojen el suelo sin voltearlo

Al relacionar la densidad real y la densidad aparente se puede obtener la porosidad total; esta propiedad indica el espacio poroso total (macro, meso y microporos) que tiene el suelo; entre mayor sea el espacio poroso, mayor es la posibilidad de retención de agua en los mesoporos, para que las plantas la tomen, y de aire en los macroporos, para que las raíces puedan respirar. La proporción de macro, meso y microporos está relacionada directamente con el contenido de materia orgánica, la textura, la estructura del suelo y la compactación. La textura es una propiedad del suelo y no se puede modificar; se podría decir casi lo mismo para la materia orgánica, pues es difícil aumentar el contenido de carbono orgánico estable en el suelo; pero la estructura del suelo con mal manejo de labranza puede dañarse y afectar la distribución de poros y, consecuentemente, la absorción de agua y aire por las

plantas. Suelos compactados presentan una mayor proporción de microporos que macro y mesoporos, lo que ocasiona la retención de humedad, pero que la planta no la puede tomar, porque debe hacer una fuerza de tensión muy alta para absorber el agua.

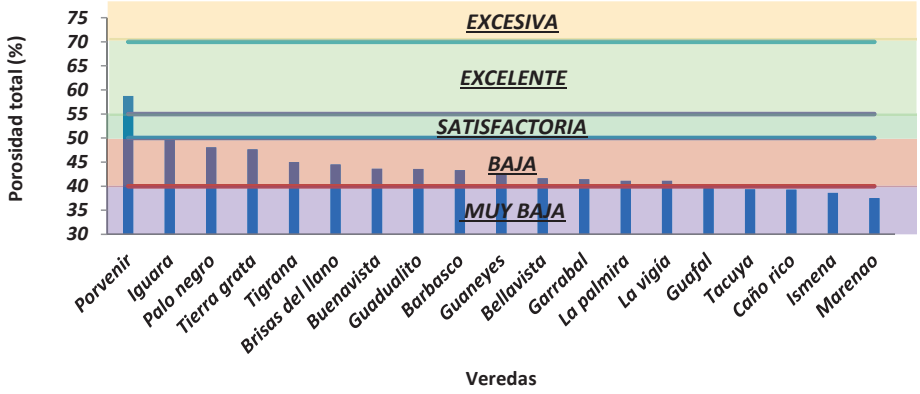
Figura 11. Distribución de la densidad aparente en las veredas del municipio de Monterrey



Entonces, aunque la porosidad total sea adecuada, tiene que propenderse por mantener una adecuada estructura y evitar la compactación del suelo, para que haya una adecuada disponibilidad de agua y nutrientes.

La porosidad total en el municipio de Monterrey va en general de baja a muy baja (Figura 12), posiblemente a consecuencia de los contenidos de arcilla, de la alta densidad aparente y de los bajos contenidos de materia orgánica. La porosidad total se puede con el tiempo mejorar si se incorporan residuos vegetales con una alta relación carbono/nitrógeno, es decir, residuos vegetales maduros, casi leñosos; esa incorporación buscará la mejora en el espacio poroso, pero no será un aportador de nutrientes a la planta.

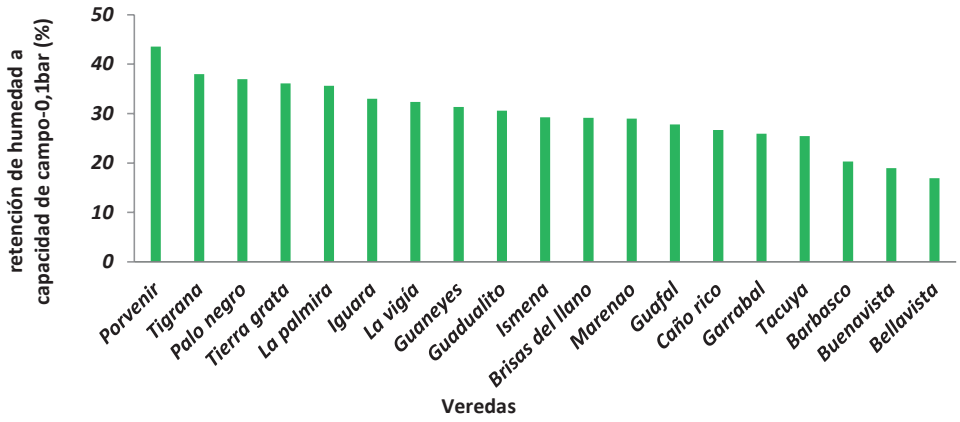
Figura 12. Distribución de la porosidad total en las veredas del municipio de Monterrey



Los suelos de la vereda Porvenir tienen una excelente porosidad, debido al porcentaje alto de materia orgánica estable, lo que ha permitido, en la formación de esos suelos, una buena agregación de partículas del suelo, generando así una adecuada porosidad.

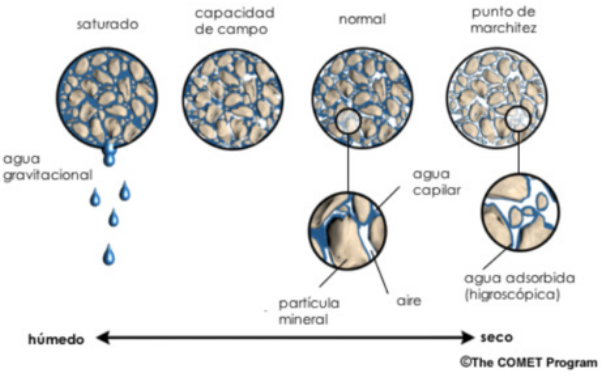
Una propiedad física muy útil es la retención de humedad del suelo a capacidad de campo, que es el contenido de humedad en el suelo antes de saturarse completamente de agua, es decir, el agua está contenida solamente en los meso y microporos del suelo, mientras que los macroporos contienen el aire (Figura 14). El agua contenida a capacidad de campo en los mesoporos es el agua disponible para las plantas. Se observa en la Figura 13 que la vereda con mejor retención de humedad a capacidad de campo es Porvenir, que supera el 40 %.

Figura 13. Distribución de los valores de retención de humedad a capacidad de campo en los suelos de las veredas del municipio de Monterrey



Una forma práctica de determinar en la finca el estado de humedad del suelo a capacidad de campo es tomar una porción del suelo y apretarla con la mano: si el suelo está húmedo, pero al apretarlo no suelta agua, es un suelo que se puede decir que está cercano al estado de humedad de capacidad de campo, e indica que existe agua disponible para la absorción de nutrientes por parte del cultivo y que hay aire para que las raíces respiren.

Figura 14. Estados de humedad del suelo



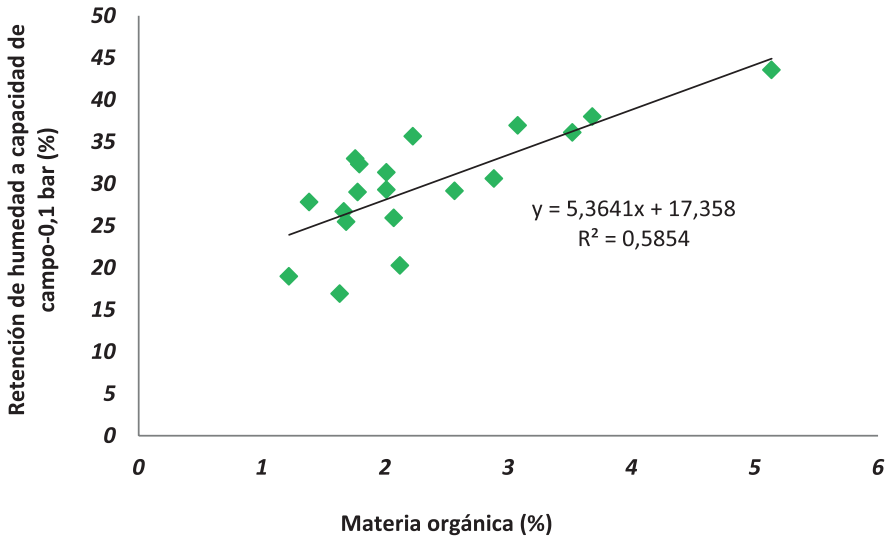
Fuente: The COMET Program.

La retención de humedad a capacidad de campo en el municipio de Monterrey está en promedio entre el 17 al 44 %. Las veredas que tienen una mayor retención de humedad a capacidad de campo son: Porvenir, Tigrana, Palo Negro y Tierra grata; como se ha mencionado antes, estas veredas tiene contenidos altos a adecuados de materia orgánica, lo que mejora la agregación del suelo, la porosidad total (macro, meso y micro poros) y, por ende, la retención de humedad a capacidad de campo.

La capacidad de campo puede servir como herramienta para la planificación del riego y aquí se puede presentar el mismo ejemplo que se utilizó para explicar la CIC. La capacidad de campo es el almacén del agua útil para la planta, que si no tiene una alta capacidad, lo que se debe hacer es llenarlo varias veces para suplir la necesidad de agua de la planta; en cambio, si el almacén tiene una alta capacidad, se podrá llenar menos veces para resolver la demanda de agua de la planta. Es decir, que suelos con una baja retención de humedad a capacidad de campo, deben regarse con menos volumen de agua, pero más frecuentemente que un suelo con mayor retención de humedad a capacidad de campo.

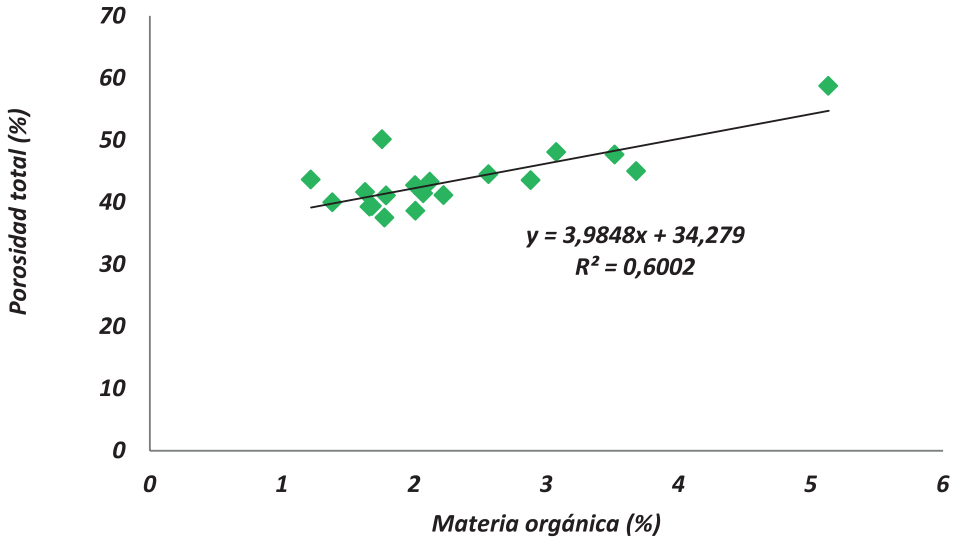
Si se relaciona la retención de humedad a capacidad de campo y la porosidad total con el porcentaje de materia orgánica del suelo (Figura 15), se puede observar que existe una tendencia lineal positiva entre las variables, es decir, entre mayor sea el porcentaje de materia orgánica en los suelos de las veredas del municipio de Monterrey, mayor será la retención de humedad a capacidad de campo y también la porosidad total.

Figura 15. Relación entre la capacidad de campo y el porcentaje de materia orgánica del suelo del municipio de Monterrey



Por lo anterior, se debe propender por mantener los porcentajes de materia orgánica; si se hacen malos manejos de labranza, puede presentarse la remoción de los primeros centímetros del suelo y con esto también la pérdida de la materia orgánica, además, si existen malos manejos de labranza, se pierde la estructura del suelo y la proporción de poros, disminuyendo así la retención de agua disponible para las plantas.

Figura 16. Relación entre la porosidad total y el porcentaje de materia orgánica del suelo del municipio de Monterrey



6. Calidad y disponibilidad de forrajes del municipio de Monterrey

6.1. Composición bromatológica

La composición bromatológica (materia seca, cenizas, fibra en detergente ácido, fibra en detergente neutro, hemicelulosa, lignina y celulosa) es variable para los forrajes de los diferentes predios muestreados, pero estuvo dentro de los valores esperados, si se tiene en cuenta la baja fertilización, la edad de establecidos los forrajes y la excesiva carga animal en algunos de los predios.

El alto porcentaje de materia seca encontrado en los forrajes analizados es una evidencia de pasturas con altos tiempos de descanso y de la avanzada edad de establecidos. Solo el 10 % de los 220 predios analizados está dentro del promedio ideal que se busca para la alimentación óptima de bovinos de diferentes sistemas de producción.

Se presentan deficiencias de proteína en el forraje para los diferentes sistemas de producción que se manejan en la región, en especial para los de engorde de ganado, pues el 55,1 % de los predios en estudio no alcanza a suplir las necesidades fisiológicas mínimas de proteína en este tipo de explotaciones.

La fibra en detergente ácido, FDA, de las muestras tomadas en los 220 predios, estuvo entre el 27,9 y 59,5 %. En el 60 % de los predios analizados, los forrajes superan el máximo recomendable que se busca (38 %), para la balanceada alimentación de los bovinos (Tabla 4). Estos valores encontrados pueden afectar directamente la digestibilidad de los polisacáridos fibrosos en todas las etapas de producción ganadera.

Tabla 4. Composición bromatológica promedia de forrajes en 220 predios del municipio de Monterrey, Casanare

Parámetro	Promedio análisis (%)	Promedio ideal (%)
Materia seca	22,80	Máximo 18,5
Proteína	10,00	Mínimo 12,9
Fibra en detergente neutro	66,03	Mínimo 68
Fibra en detergente ácido	40,28	Máximo 38
Grasa (extracto etéreo)	1,9	Mínimo 2,6
Hemicelulosa	27,36	Mínimo 25
Lignina	3,0	Máximo 4
Celulosa	36,25	Mínimo 25

Los valores de fibra en detergente neutro, FDN, determinados indican la excesiva maduración del forraje. En la Tabla 4 se puede observar que en promedio estos valores están por debajo del nivel mínimo (38 %) necesario para equilibrar las relaciones energéticas

y la digestibilidad del alimento. Solo el 33 % de los predios tuvo valores adecuados de este parámetro.

La grasa o extracto etéreo en los forrajes analizados para los 220 predios muestreados se encuentra, en promedio, por debajo de los valores óptimos. Solo el 7 % de los predios muestreados presenta valores de grasa en niveles adecuados para el balance nutricional de los bovinos.

Los porcentajes de celulosa, hemicelulosa, y lignina están dentro de los rangos adecuados, pero se pueden ver afectados en la medida de la edad y los tiempos de descanso que manejan cada una de las producciones.

6.2. Composición de elementos minerales

Las deficiencias de minerales en el ganado han sido reportadas en casi todas las regiones del mundo; los minerales más críticos para suministrar a los rumiantes en pastoreo son: calcio, fósforo, sodio, cobalto, cobre, yodo, selenio y zinc. Conforme crece el forraje y se madura, la mayoría de los elementos bajan en concentración por efecto de la dilución cuando el forraje gana biomasa, especialmente cobre, cobalto, hierro, selenio, zinc y molibdeno.

Tabla 5. Composición promedio de elementos minerales en forrajes de 220 predios del municipio de Monterrey

Elemento	Resultado
Fósforo (P) %	0,27
Potasio (K) %	1,53
Calcio (Ca) %	0,38
Magnesio (Mg) %	0,25
Sodio (Na) %	0,24
Azufre (S) %	0,22
Hierro (Fe) mg/Kg	269,01
Cobre (Cu) mg/Kg	8,30
Manganeso (Mn) mg/Kg	42,27
Zinc (Zn) mg/Kg	68,53
Molibdeno (Mo) mg/Kg	0,55
Cobalto (Co) mg/Kg	0,33

En general, los forrajes analizados en Monterrey presentan niveles de elementos esenciales y secundarios adecuados para la dieta de los bovinos, sin embargo, es necesaria la adición de estos en la dieta, para ayudar a metabolizar y regular el exceso de algunos de los elementos que se pueden encontrar altos en los forrajes.

Tabla 6. Requerimientos de minerales del ganado de carne

Elemento	Resultado			
	Vacas lactantes	Vacas preñadas	Ganado levante	Nivel máximo
Calcio (Ca) %	0,45	0,3	0,45	2,0
Fósforo (P) %	0,20	0,20	0,30	1,0
Potasio (K) %	0,70	0,60	0,60	3,0
Magnesio (Mg) %	0,20	0,12	0,10	0,4
Sodio (Na) %	0,10	0,08	0,08	-
Azufre (S) %	0,15	0,15	0,15	0,4
Cobre (Cu) mg/kg	10	10	10	100
Selenio (Se)mg/kg	0,2	0,2	0,2	2
Cobalto (Co) mg/kg	0,1	0,1	0,1	10
Molibdeno (Mo) mg/kg	-	-	-	5
Zinc (Zn) mg/kg	40	30	30	500
Hierro (Fe) mg/kg	50	50	50	1000
Manganeso (Mn) mg/kg	40	20	20	1000

La concentración de hierro (Fe), potasio (K) y magnesio (Mg) en más del 95 % de los forrajes analizados se encuentra en una condición adecuada, es decir, igual o mayor a los valores óptimos (50 mg/kg, 0,6 % y 0,1 % para hierro, potasio y magnesio, respectivamente, Tabla 6). El 80 y el 72 % de los forrajes presentan valores adecuados de zinc y fósforo (30 mg/kg y 0,21% de zinc y fósforo, respectivamente, Tabla 6).

Los elementos que se encontraron en deficiencia en la mayoría de las muestras fueron cobre, calcio y azufre con 76, 66 y 42 % de los forrajes muestreados con concentración deficiente de estos elementos.

De acuerdo con lo anterior, se hace necesaria la suplementación principalmente con cobre, calcio y azufre, vía oral, pues la nutrición es más eficiente. Los minerales no solo son fundamentales en el metabolismo animal, sino que también juegan un papel importante en el ambiente ruminal, pues mejoran la digestibilidad y aprovechamiento del forraje. La suplementación vía oral normalmente se realiza por medio de mezclas de sales minerales sólidas o líquidas.

6.3. Capacidad de carga de los predios

La carga animal se define como el número de animales de cierta categoría que pastorean por unidad de superficie en un tiempo determinado. Es decir, la carga animal es el número de ***Unidades animal***, UA, por hectárea en un periodo específico. Por ejemplo, 30 vacas de 450 kg en promedio, en un potrero de 20 ha, equivale a una carga animal de 1,5 unidades animal por ha, en el momento de la observación, porque hay 30 UA (cada vaca de 450 kg es una unidad animal) en 20 ha, y 30/20 = 1,5.

Tabla 7. Principales trastornos ocasionados por la deficiencia de minerales

Elemento	Tipo de trastorno por deficiencia
Fósforo (P)	Bajos porcentajes de preñez.
	En los rodeos deficientes de P, las vacas con cría no vuelven a preñarse, tienen un ternero cada dos años, con lo que los porcentajes de preñez y destete son de un 45 - 48 %.
	Reducción de la velocidad de crecimiento en la recría.
	Disminución de la producción láctea.
Magnesio (Mg)	Tetania hipomagnesémica (trastornos de excitabilidad muscular) con un 4 % de mortandad de rodeos afectados.
	Síndrome de vaca caída.
Sodio (Na)	Rápida pérdida de peso vivo.
	Disminución de la producción de leche.
Calcio (Ca)	Disminución del ritmo de crecimiento y engorde en la cría.
	Retención placentaria.
	Fiebre de la leche.
	Distocias.
	Reducción de la producción de leche.
Cobre (Cu)	Disminuye la tasa de crecimiento.
	Reducción de la fertilidad, por demora o supresión del estro.
	Deprime el sistema inmune (mayor predisposición a queratoconjuntivitis y mastitis).
Zinc (Zn)	Perjudica el crecimiento de los terneros.
	Disminuye la espermatogénesis de los toros.
	Favorece las enfermedades de la piel, la presencia de problemas pódales y una mayor incidencia de mastitis.
Selenio (Se)	Retención de placenta.
	Mastitis.
	Ovarios quísticos.
	Metritis, fertilidad.
	Trastornos del metabolismo muscular.

Tabla 8. Promedios generales de carga animal por hectárea de acuerdo con el sistema de producción reportado por cada propietario

Sistema	Animales por hectárea
Ceba	0,62
Doble propósito	0,95
Cría	1,56
Leche	0,96

Para el cálculo de carga animal por hectárea se utilizó un peso vivo de 400 kg para animales enfocados a producciones doble propósito; en producciones de ceba final de bovinos se tomó un peso vivo de 450 kg, en cría, de 280 kg, y de 400 kg en la producción especializada de leche. Se determinó como consumo de forraje el 12 % de peso vivo y con esto se obtuvo la carga animal por hectárea.

En el caso de los predios estudiados tienen una carga animal baja por hectárea para las necesidades del mercado local, lo que los hace poco competitivos a nivel nacional. Por esto sería recomendable incluir la producción de ensilajes, de pastos de corte y la renovación de praderas. Además de esto y de acuerdo con los análisis de suelos, se deben implementar manejos dirigidos al aumento de la producción de biomasa y calidad del forraje, con el objetivo de subir la carga animal en los lotes.

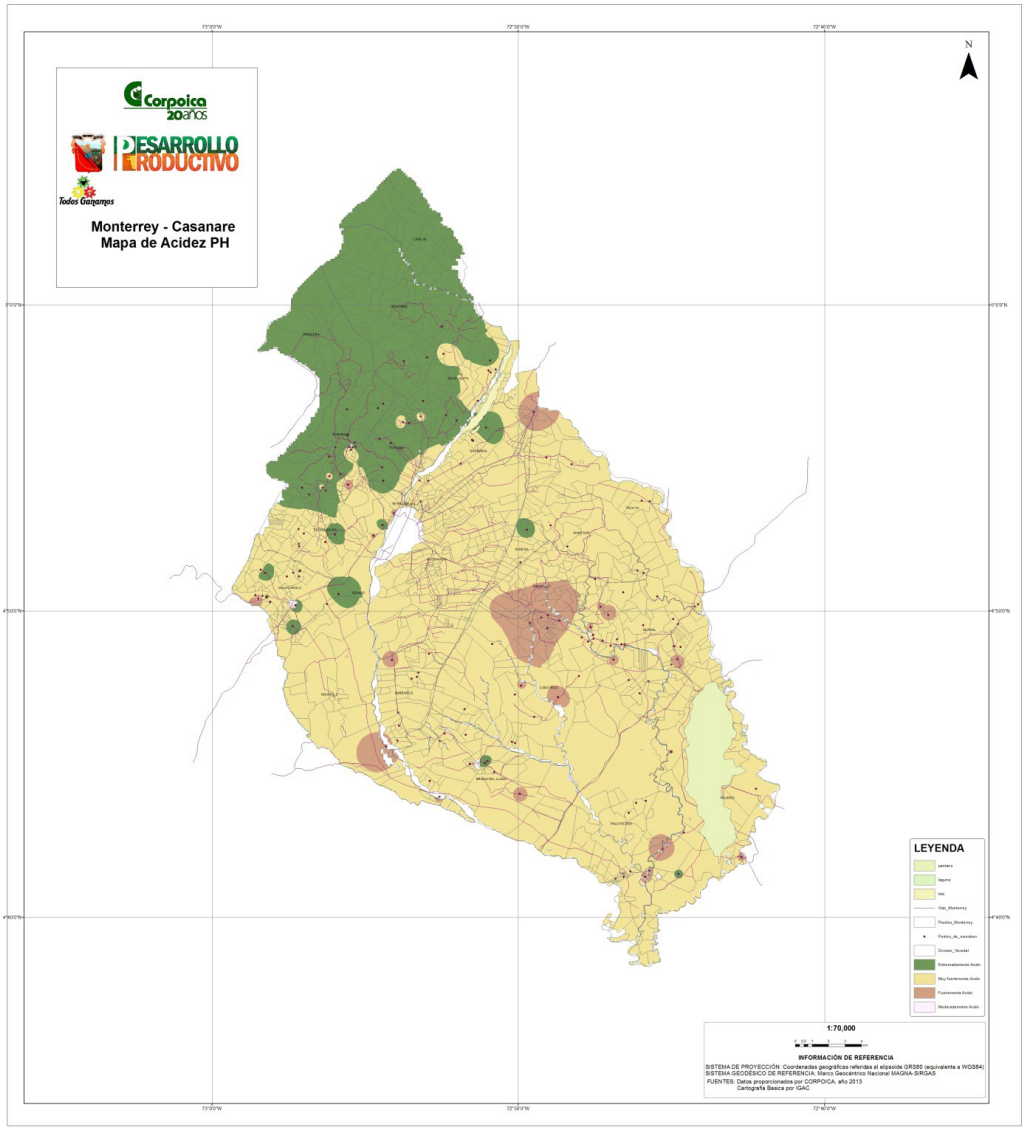
7. Mapas temáticos de la fertilidad de los suelos y de la calidad de los forrajes del municipio de Monterrey

Se realizaron mapas temáticos para mostrar las características químicas (pH, materia orgánica (MO), Capacidad de intercambio catiónico (CIC), fósforo (P) y zinc (Zn)) y físicas de los suelos (porosidad total y densidad aparente (DA)), que permiten determinar el grado de fertilidad del suelo, evidenciar problemas de acidez o de porosidad del suelo. Además, también se realizaron mapas de la calidad de los forrajes (materia seca, proteína cruda, FDA, FDN, extracto etéreo y los elementos minerales fósforo (P) y calcio (Ca)).

A partir de los puntos georreferenciados con GPS se realizó una interpolación de los puntos mediante IDW (Inverse Distance Weighted), conocida como ***Distancia inversa ponderada***, con el fin de predecir los valores de una variable, en cualquier lugar del espacio muestral (en este caso el municipio de Monterrey) y donde la variable no ha sido medida. Esta interpolación se hizo usando el programa ***Arcgis 10.0***, su paquete de extensión de análisis espacial llamado ***Spatial Analyst***, en el que se interpola una superficie ***raster*** a partir de puntos.

Cada mapa contiene la división predial, ríos, carreteras y asentamientos urbanos, y muestran la distribución espacial de los parámetros mencionados en el primer párrafo, de acuerdo con niveles comúnmente usados para su valoración. Los mapas están disponibles en un CD para consulta digital llamado ***Mapas temáticos de fertilidad de suelos y calidad de forrajes del municipio de Monterrey***. A manera de ejemplo se expone el mapa temático de fertilidad de suelo para el parámetro de pH (Figura 17).

Figura 17. Mapa de fertilidad de suelo, espacialización del pH en el municipio de Monterrey



Bibliografía

aoac International Setting Global Standards. http://www.aoac.org/imis15_prod/AOAC/Home/AOAC_Member/Default.aspx?hkey=8fc2171a-6051-4e64-a928-5c47dfa25797

Bohn, H.; McNeal, B.; O'Connor, G. (2001). Soil Chemistry. Third Edition. John Wiley & Song, INC. New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Toronto, Singapore. 307 p.

Burbano, H.; Silva, F. (2010). Ciencia del suelo, principios básicos. Sociedad de la Ciencia del Suelo. Editora Guadalupe. 594 p.

Comeford, J. Minerals for beef cows. Penn State Extention. College of Agricultural Sciences. Recuperado de http://extension.psu.edu/animals/beef/articles/minerals-for-beef-cows. Consultado el 24 de octubre de 2013.

Fernández, A. (2008). Requerimientos para bovinos de carne. eea inta Bordenave. Recuperado de www.produccion-animal.com.ar. Consultado el 24 de octubre de 2013.

Fox, D.; Juárez, F.; Pell, A. y Lanna, D. (2004). Predicción de requerimientos nutricionales de los bovinos en condiciones tropicales. Recuperado de http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Requerimientos_de_Proteina_en_Sistema_Cornell.pdf. Consultado el 23 de octubre de 2013. 21 p.

Holliday, D.; Trenkel, M. (1992). World fertilizer user manual. Germany: International Fertilizer Industry Association. 632 p.

ICA. (1992). Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de Asistencia Técnica No. 25. Centro de Investigación Tibaitatá. Mosquera, Colombia: Produmedios. 64 p.

IGAC. (2006). Métodos analíticos de laboratorios de suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Departamento Administrativo Nacional de Estadística, dane. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia. 674 p.

Malagón, D. y Montenegro, H. (1990). Propiedades físicas del suelo. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia: igac. 813 p.

Porta, J.; López-Acevedo, M. y Roquero, C. (1993). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa. 807 p.

Spósito, G. (2008). The Chemistry of Soil. Second Edition. Oxford University. United State. 329 p.

Vergara, J. (2010). ¿Cómo medir la carga animal y el índice de Agostadero? Reproducción animal, S.A. de C.V. Recuperado de http://www.reproduccionanimal.com.mx. Consultado el 23 de octubre de 2013. 4 p.

Producción editorial:
Diagramación, impresión y encuadernación

produmedios
Producción de Medios de Comunicación

www.produmedios.org
Tel: 893 7710

MinAgricultura
Ministerio de Agricultura
y Desarrollo Rural

PROSPERIDAD
PARA TODOS

Corpoica
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

DESARROLLO
PRODUCTIVO

BAC

Correo: bac@corpoica.org.co
Teléfono: (57 1) 4 227300 ext. 1257 o 1274
Skype: biblioteca.agropecuaria

www.corpoica.org.co

9 789587 401752